

«ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ»

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Παναγιώτης Τσαρούχας

«ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Επικ. Καθ. Γ. Λυμπερόπουλος

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1999



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

Αριθ. Εισ.: 79311
Ημερ. Εισ.: 18-06-2004
Δωρεά: _____
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
658.5
Τ2Α

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072588

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη διπλωματική εργασία του μεταπτυχιακού προγράμματος. Εκπονήθηκε στον τομέα Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης υπό την επίβλεψη του Επικ. Καθ. Γ. Λυμπερόπουλου, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ουσιώδη βοήθεια και συνεργασία που μου προσέφερε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ

	Σελ.
Εισαγωγή.....	1
Κ ε φ α λ α ι ο 1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
1.1. Εισαγωγικά.....	3
1.2. Τύποι συστημάτων παραγωγής.....	4
1.2.1. Γραμμές ροής και μηχανουργεία.....	4
1.2.2. Αυτόματες γραμμές μεταφοράς.....	5
1.2.3. Ευέλικτες γραμμές μεταφοράς.....	5
1.2.4. Ευέλικτα συστήματα παραγωγής.....	6
1.2.5. Ευέλικτα συστήματα συναρμολόγησης.....	6
1.2.6. Συστήματα πολλαπλών κελιών.....	6
1.2.7. Συστήματα διαχείρισης υλικών.....	7
Κ ε φ α λ α ι ο 2. ΒΑΣΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ	
2.1. Η ανάγκη για επιστήμη στη παραγωγή.....	8
2.2. Ορισμοί και παράμετροι.....	9
2.2.1. Ορισμοί.....	9
2.2.2. Παράμετροι.....	12
2.3. Νόμος του Little.....	12
2.4. Η μέτρηση της συμφόρησης.....	13
Κ ε φ α λ α ι ο 3. ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	
3.1. Εισαγωγικά.....	16
3.2. Προβολή σχεδιασμού και λειτουργίας της αυτόματης γραμμής μεταφοράς.....	19
3.3. Η φύση του σταματήματος γραμμής.....	22
Κ ε φ α λ α ι ο 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ	
4.1. Εισαγωγικά.....	24
4.2. Διαδικασίες και μηχανήματα για την παραγωγή κρουασάν.....	26
4.2.1. Παρασκευή της ζύμης.....	27
4.2.2. Βουτύρωμα της ζύμης.....	28
4.2.3. Άνοιγμα – δίπλωμα - τελικό άνοιγμα φύλλου.....	28

4.2.4. Κοπή και διαμόρφωση.....	29
4.2.5. Ωρίμανση.....	29
4.2.6. Ψήσιμο.....	30
4.2.7. Συσκευασία.....	30
4.3. Λεπτομερής περιγραφή συστήματος.....	31
4.4. Διάγραμμα ροής.....	33
4.5. Αριθμητικός υπολογισμός.....	34
Κ ε φ ά λ α ι ο 5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ	
5.1. Ορολογία.....	38
5.1.1. Ζυμωτήριο.....	39
5.1.2. Λαμινατόριο – Κρουασανομηχανή.....	41
5.1.3. Θάλαμος ωρίμανσης.....	44
5.1.4. Φούρνος ψησίματος.....	45
5.1.5. Συσκευασία.....	46
5.2. Τεχνική επίλυσης του προβλήματος.....	50
5.3. Υπολογισμός του ρυθμού βλάβης και επισκευής της μηχανής.....	51
5.3.1 Γενική μορφή.....	51
5.3.2. Υπολογισμός ρ_1, τ_1 του λαμινατορίου.....	52
5.3.3. Υπολογισμός ρ_2, τ_2 του θαλάμου ωρίμανσης.....	53
5.4. Υπολογισμός των $Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}, \lambda_1, \lambda_2$	53
5.5. Υπολογισμός των C_1, C_2	54
5.6. Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	59
5.6.1. Απόσβεση κεφαλαίου.....	61
Συμπεράσματα.....	62
Παράρτημα Ι-Σχέδια και φωτογραφίες μηχανημάτων	
Παράρτημα ΙΙ-Μηνιαίες αποδόσεις γραμμής	
Παράρτημα ΙΙΙ-Επίλυση μαθηματικού μοντέλου	
Βιβλιογραφία	

Εισαγωγή

Η ύπαρξη μηχανημάτων στις βιομηχανικές διεργασίες, δίνει ένα μεγάλο άνοιγμα στην αγορά και ταυτόχρονα βοηθάει στην ταχύτητα παραγωγής των προϊόντων. Τα μηχανήματα μπορούν να κάνουν την επεξεργασία μόνα τους, αλλά παράλληλα χρειάζονται και τον ανθρώπινο παράγοντα, για το χειρισμό και τη σωστή λειτουργία τους. Έτσι η παρουσία των εργατών είναι απαραίτητη, μόνο που πρέπει να εξοικειωθούν με αυτά, για την καλύτερη απόδοσή τους.

Η βιομηχανία τροφίμων είναι ένας κλάδος της βιομηχανίας ο οποίος εμφανίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια με σημαντικές επενδύσεις και προοπτικές. Η διαδικασία παραγωγής των προϊόντων της παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες. Για όλα τα αρτοσκευάσματα και ειδικά το κρουασάν, είναι τέτοια η φύση του προϊόντος, που αναγκάζει όλες τις εταιρείες, να ακολουθούν την ίδια διαδικασία παραγωγής. Το ότι χρησιμοποιούν όλοι μηχανήματα, δε σημαίνει και πως όλοι παράγουν την ίδια ποιότητα κρουασάν.

Η επιτυχία του ``καλού προϊόντος`` οφείλεται σε δύο βασικούς παράγοντες :
α) στη συνταγή, δίνοντας μία ξεχωριστή γεύση στο προϊόν, όπου οι περισσότεροι όμως τις κρατούν μυστικές και β) στη σωστή λειτουργία των μηχανημάτων.

Η παραγωγική διαδικασία του κρουασάν, απαιτεί να μη σταματάει η γραμμή παραγωγής για κανένα λόγο (βλάβη), διότι αυτόματα δημιουργούνται ποιοτικά προβλήματα (φούσκωμα ζύμης κ.λ.π.). Αποτέλεσμα της κατάστασης αυτής είναι να μη μπορούν να λειτουργήσουν σωστά τα μηχανήματα από τη μία και από την άλλη πλευρά, το προϊόν που παράγεται να είναι ακατάλληλο για τον καταναλωτή. Γι' αυτό, στόχος μας είναι ο συνεχής και σωστός τρόπος λειτουργίας των μηχανημάτων.

Η γραμμή παραγωγής κρουασάν, είναι μία αυτόματη γραμμή μεταφοράς, που αποτελείται από πέντε (5) σταθμούς εργασίας σε σειρά . Όλοι οι σταθμοί εργασίας έχουν μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας και μόνο ο σταθμός του λαμινατορίου, λόγω των συνεχών προβλημάτων (βλαβών) που παρουσιάζει, έχει σχετικά χαμηλή αξιοπιστία .

Αυτό μειώνει κατά ένα μεγάλο ποσοστό, την αξιοπιστία της γραμμής και κατ' επέκταση την παραγωγικότητά της.

Η προτεινόμενη λύση για την βελτιστοποίηση της λειτουργικής συμπεριφοράς της εγκατάστασης, γίνεται τοποθετώντας έναν ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης, μεταξύ του λαμινατορίου και του θαλάμου ωρίμανσης. Έτσι, όταν το λαμινατόριο είναι σταματημένο λόγω βλάβης, ο θάλαμος ωρίμανσης μπορεί να τροφοδοτείται από το χώρο αποθήκευσης, μέχρι να επισκευαστεί το λαμινατόριο. Με αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιούμε τη μείωση της παραγωγής, από την αποτυχία των εξαρτημάτων του λαμινατορίου, αλλά και του ζυμωτηρίου, που βρίσκεται πριν απ' αυτόν.

1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Τα συστήματα παραγωγής αποτελούνται από μηχανές και σταθμούς εργασίας όπου εργασίες όπως μηχανουργικές κατεργασίες, συναρμολόγηση, έλεγχος κλπ γίνονται σε πρώτες ύλες, εξαρτήματα και συναρμολογημένα ενδιάμεσα προϊόντα για να δημιουργηθούν τελικά προϊόντα παραδοτέα σε πελάτες. Σημαντικά συστατικά οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής είναι και οι συσκευές διαχείρισης και αποθήκευσης υλικών που μεταφέρουν τεμάχια από τον ένα σταθμό εργασίας στον άλλο, εξασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα εξαρτημάτων για συναρμολόγηση, και κρατάνε και αποθηκεύουν τεμάχια μέχρι να φορτωθούν σε μηχανές ή σταθμούς εργασίας για επεξεργασία. Οι εργασίες στις μηχανές μπορεί να γίνονται από ανθρώπινους χειριστές ή να είναι αυτοματοποιημένες.

Στο παρόν κείμενο η έμφαση δίνεται σε συστήματα παραγωγής διακριτών τεμαχίων όπου κάθε τεμάχιο που παράγεται είναι ξεχωριστό. Τέτοια συστήματα είναι συνηθισμένα στις βιομηχανίες παραγωγής μηχανολογικών, ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών προϊόντων (για παράδειγμα, αυτοκίνητα, ψυγεία, ολοκληρωμένα κυκλώματα). Συστήματα παραγωγής συνεχούς ροής που παράγουν ρευστά προϊόντα όπως αυτά που συναντώνται στις χημικές και μεταλλουργικές βιομηχανίες (για παράδειγμα, διυλιστήρια πετρελαίου) δεν θα εξεταστούν, αν και μερικές φορές σε αυτές τις βιομηχανίες τα ρευστά επεξεργάζονται σε ξεχωριστές παρτίδες ή πακέτα, και αν μία τέτοια παρτίδα λαμβάνεται σαν μονάδα παραγωγής, τότε το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί ότι επεξεργάζεται διακριτά τεμάχια. Για ευκολία εις το εξής θα ονομάζουμε *εργασία* κάθε διακριτό τεμάχιο, είτε είναι πρώτη ύλη, είτε εξάρτημα, είτε συναρμολογημένο ενδιάμεσο προϊόν κάποιου τελικού προϊόντος.

Αν και κάθε εργασία είναι ξεχωριστή, διαφορετικές εργασίες μπορεί να έχουν παρεμφερείς απαιτήσεις επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μίας γραμμής παραγωγής φιαλών, όπου όλες οι φιάλες κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο και το μόνο που αλλάζει είναι η μήτρα κάθε φιάλης. Σε αυτή την περίπτωση απλοποιείται ο σχεδιασμός και η λειτουργία του συστήματος. Αν όμως το σύστημα επεξεργάζεται πολλούς διαφορετικούς τύπους εργασιών, όπως για παράδειγμα στην

περίπτωση ενός μηχανουργείου που κατασκευάζει εξειδικευμένα προϊόντα για διαφορετικούς πελάτες, τότε ο έλεγχός του τείνει να είναι πιο πολύπλοκος. Συνεπώς, η ποικιλία των τύπων των εργασιών που παράγονται από ένα σύστημα παραγωγής έχει σημαντικό αντίκτυπο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του συστήματος. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής είναι ο όγκος των εργασιών που παράγει το σύστημα. Την ποικιλία των τύπων εργασιών του συστήματος την ονομάζουμε *πεδίο* του συστήματος, και τον συνολικό όγκο των εργασιών τον ονομάζουμε *κλίμακα* του συστήματος.

1.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.2.1 Γραμμές Ροής και Μηχανουργεία

Μέχρι πρόσφατα τα συστήματα παραγωγής είχαν εξελιχτεί έτσι ώστε να δίνουν βάρος είτε στο πεδίο είτε στην κλίμακα. Οι δύο παραδοσιακοί τύποι οργάνωσης συστημάτων παραγωγής είναι το *μηχανουργείο* και η *γραμμή ροής*. Το μηχανουργείο περιέχει μία ποικιλία διαφορετικών μηχανών μερικές από τις οποίες μπορούν να επεξεργαστούν εργασίες διαφορετικού τύπου, αν και αυτό μπορεί να απαιτεί κάποιο χρόνο προετοιμασίας ή αλλαγής ανάμεσα σε εργασίες διαφορετικού τύπου. Η διαχείριση των υλικών είναι τέτοια που να επιτρέπει σε διαφορετικές εργασίες να επισκέπτονται διαφορετικές μηχανές με διαφορετική σειρά. Το μηχανουργείο έχει δυνατότητα εκτεταμένου πεδίου, όμως η δυσκολία του ελέγχου της διακίνησης των εργασιών και της αλλαγής των μηχανών περιορίζει τη ικανότητά του να παράγει μεγάλους όγκους αποτελεσματικά και οικονομικά. Η γραμμή ροής απαιτεί από όλες τις εργασίες να επισκέπτονται μηχανές και σταθμούς εργασίας με την ίδια σειρά, απλοποιώντας έτσι την διαχείριση των υλικών αλλά περιορίζοντας δραστικά τον πεδίο του συστήματος παραγωγής. Η απλή διαχείριση των υλικών σε συνδυασμό με το περιορισμένο πεδίο διευκολύνει τον έλεγχο της ροής των εργασιών επιτρέποντας έτσι την παραγωγή μεγάλων όγκων οικονομικά.

1.2.2 Αυτόματες Γραμμές Μεταφοράς

Σε πολλές γραμμές ροής, με τον αυξανόμενο όγκο των εργασιών, γίνεται επιθυμητό να αυτοματοποιηθούν μεμονωμένες μηχανές και να αντικατασταθούν ανθρώπινοι χειριστές με αυτόματες συσκευές και μηχανές. Η *αυτόματη γραμμή μεταφοράς* προχωράει ένα βήμα παραπέρα από την αυτοματοποίηση των μηχανών και των μέσων διαχείρισης υλικών ανάμεσα στις μηχανές και συνδέει όλες τις μηχανές έτσι ώστε να ξεκινάνε τις εργασίες τους ταυτόχρονα και έτσι ώστε η μεταφορά των υλικών να είναι συγχρονισμένη. Με αυτόν τον τρόπο οι εργασίες σε εξέλιξη είναι λίγες και μπορεί να επιτευχθεί υψηλή παραγωγικότητα. Έτσι η αυτόματη γραμμή μεταφοράς μπορεί να χαρακτηριστεί από μεγάλη κλίμακα αλλά πολύ στενό πεδίο γιατί η αλλαγή του στησίματός της από ένα προϊόν για το άλλο μπορεί να είναι αργή και δαπανηρή.

1.2.3 Ευέλικτες Γραμμές Μεταφοράς

Όταν άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι αυτόματες γραμμές μεταφοράς στη δεκαετία του 1950 οι οδηγίες εκτέλεσης των εργασιών προς τις μηχανές περιεχόντουσαν σε μηχανικές συσκευές αποθήκευσης πληροφοριών (π.χ. εκκεντροφόρους). Αυτό ονομαζόταν «σκληρή αυτοματοποίηση». Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών συσκευών αποθήκευσης και επεξεργασίας πληροφοριών σε συνδυασμό με τον ψηφιακό έλεγχο (μετατροπή ψηφιακών πληροφοριών σε πραγματική κίνηση εργαλείων) η αλλαγή των οδηγιών εκτέλεσης των εργασιών προς τις μηχανές έγινε απλούστερη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη αυτόματων *ευέλικτων γραμμών μεταφοράς* και *ευέλικτων γραμμών ροής*, ανάλογα με το αν παρέμενε η συγχρονισμένη κίνηση των εργασιών. Επειδή στις ευέλικτες γραμμές ροής η μεταφορά των εργασιών δεν είναι συγχρονισμένη είναι σημαντικό να υπάρχει κάποιος χώρος αποθήκευσης ανάμεσα στις μηχανές. Οι ευέλικτες γραμμές παραγωγής και οι ευέλικτες γραμμές ροής έχουν ευρύτερο πεδίο από τις αυτόματες γραμμές μεταφοράς αφού μπορούν να παράγουν παραλλαγές ενός προϊόντος. Παρόλα αυτά, μπορεί να εξακολουθεί να χρειάζεται η αλλαγή εργαλείων μεταξύ εργασιών, εκτός αν η διαφοροποίηση μεταξύ των εργασιών είναι πολύ μικρή. Έτσι λοιπόν το δυναμικό της κλίμακας τείνει να είναι μικρότερο από αυτό των αυτόματων γραμμών μεταφοράς.

1.2.4 Ευέλικτα Συστήματα Παραγωγής

Οι γραμμές μεταφοράς βασικά είναι αυτόματες γραμμές ροής, συνεπώς όλες οι εργασίες πρέπει να επισκεφτούν όλες τις μηχανές με την ίδια σειρά. Αν ψηφιακά ελεγχόμενες μηχανές συνδυαστούν με ένα σύστημα διαχείρισης υλικών που να επιτρέπει σε διαφορετικές εργασίες να επισκέπτονται μηχανές με διαφορετική σειρά, τότε το προκύπτον σύστημα είναι γνωστό ως *ευέλικτο σύστημα παραγωγής*. Ένα ευέλικτο σύστημα παραγωγής είναι ουσιαστικά ένα αυτοματοποιημένο μηχανουργείο. Έχει αρκετά ευρύ πεδίο και αρκετά υψηλό δυναμικό κλίμακας αν και το σταθερό κόστος που συνδέεται με τον ψηφιακό έλεγχο της μεταφοράς των εργασιών και την ψηφιακή καθοδήγηση μηχανών σημαίνει ότι τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής δεν συμφέρουν οικονομικά σε χαμηλούς ρυθμούς παραγωγής.

1.2.5 Ευέλικτα Συστήματα Συναρμολόγησης

Οι εργασίες συναρμολόγησης δεν προσφέρονται για φειδωλή αυτοματοποίηση. Ξεκινώντας με τους βιομηχανικούς κλάδους του ενδύματος και της υποδηματοποιίας στις αρχές της δεκαετίας του '80, αναγνωρίστηκε ότι *ευέλικτα συστήματα συναρμολόγησης* με αυτόματη μεταφορά εργασιών σε σταθμούς συναρμολόγησης, επιθεώρησης και ελέγχου, που συχνά συνδέονται και με συστήματα αυτόματης αναγνώρισης εργασιών, οδηγούν σε σημαντική βελτίωση της ροής και του ελέγχου των εργασιών σε συστήματα συναρμολόγησης που παράγουν μία ποικιλία προϊόντων, αν και πολλές ατομικές εργασίες εξακολουθούν να διεκπεραιώνονται από ανθρώπινους χειριστές.

1.2.6 Συστήματα Πολλαπλών Κελιών

Συνήθως η εισαγωγή της αυτοματοποίησης των μηχανών, των σταθμών εργασίας και της διαχείρισης υλικών σε συστήματα παραγωγής προχωράει σε στάδια. Κάθε τμήμα του συνολικού συστήματος που αυτοματοποιείται δημιουργεί μία *νήσο*

αυτοματοποίησης. Έτσι το συνολικό σύστημα αποτελείται από αρκετές ξεχωριστές νήσους αυτοματοποίησης. Σε πολλές περιπτώσεις αυτές οι νήσοι μπορεί τελικά να συνενωθούν σε ένα στενά συνδεδεμένο ολοκληρωμένο σύστημα. Όμως η ανάγκη επίτευξης ενός συστήματος παραγωγής με αρκετά ευρύ πεδίο κάνει τα στενά συνδεδεμένα συστήματα λιγότερο επιθυμητά γιατί μπορεί να μην έχουν αρκετή ευελιξία. Μια εναλλακτική πορεία ανάπτυξης είναι να θεωρηθεί το συνολικό σύστημα σαν ένα κυψελοειδές σύστημα παραγωγής φτιαγμένο από κελιά παραγωγής το καθένα με συγκεκριμένες ικανότητες ως προς τη λειτουργία, την κλίμακα και το πεδίο του. Η σύνδεση μεταξύ των κελιών δεν είναι υποχρεωτικά στενή και η ικανότητα και η διάταξη των κελιών μπορεί να αλλάζει καθώς εξελίσσονται οι απαιτήσεις της παραγωγής με την πάροδο του χρόνου.

1.2.7 Συστήματα Διαχείρισης Υλικών

Εκτός από τις μηχανές και τους σταθμούς εργασίας ένα βασικό συστατικό του συστήματος παραγωγής είναι το *σύστημα διαχείρισης υλικών*. Εκτός από το να συνδέει μηχανές, το σύστημα διαχείρισης υλικών παίζει το ρόλο του προσωρινού χώρου αποθήκευσης υλικών, και συνδέει εγκαταστάσεις αποθήκευσης ή αποθηκευτικούς χώρους με το σύστημα παραγωγής.

Στο κεφάλαιο 3 θα επικεντρωθούμε στις αυτόματες γραμμές μεταφοράς γιατί σε αυτές εμπίπτει και η γραμμή παραγωγής κρουσάν που αποτελεί το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

2. ΒΑΣΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ

2.1 Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στις ημέρες μας υπάρχει τεράστια σύγχυση στους μηχανικούς παραγωγής που καθημερινά βομβαρδίζονται από βιβλία, εκπαιδευτικά σεμινάρια, πακέτα λογισμικού, βιντεοκασέτες κλπ, που μνηστεύουν ανταγωνιστικές φιλοσοφίες και εργαλεία για την παραγωγή. Η σύγχυση αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη μίας *επιστήμης της παραγωγής*. Σε αντίθεση με το αντικείμενο του πολιτικού μηχανικού που στηρίζεται στους βασικούς, νόμους της στατικής και της δυναμικής, του ηλεκτρολόγου μηχανικού που στηρίζεται στη βασική θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, το αντικείμενο του μηχανικού παραγωγής δεν έχει πραγματική θεωρητική βάση.

Πώς μπορεί η επιστήμη να βοηθήσει αυτή την κατάσταση; Σίγουρα όχι με το να αναχθεί η παραγωγή σε έναν αριθμό βασικών εξισώσεων του εργοστασίου. Ο λόγος γι αυτό είναι ότι τα εργοστάσια, σε αντίθεση με φυσικά συστήματα, εμπλέκουν ανθρώπους, και η ανθρώπινη συμπεριφορά είναι σχεδόν αδύνατο να αναχθεί σε μία ομάδα βασικών εξισώσεων. Έτσι η οργάνωση παραγωγής θα παραμείνει μόνο μερικώς υποκείμενη στη μαθηματική ανάλυση.

Η βασικότερη δεξιότητα ενός μηχανικού παραγωγής είναι η *εμβριθής διαίσθηση* για την φυσική κι ανθρώπινη συμπεριφορά ενός συστήματος παραγωγής που του επιτρέπει να λαμβάνει καλές αποφάσεις χωρίς καμία ανάλυση και να αναγνωρίζει περιπτώσεις στις οποίες πραγματικά αξίζει να γίνει ανάλυση. Μία επιστήμη της παραγωγής θα μπορούσε να παράσχει μία στέρεα βάση γι αυτού του είδους την διαίσθηση αναγνωρίζοντας και κατηγοριοποιώντας τις βασικές τάσεις συμπεριφοράς σε ένα εργοστάσιο. Για παράδειγμα, πώς συνδέεται ο ρυθμός παραγωγής με τον αριθμό των ενδιάμεσων προϊόντων; Πώς επηρεάζεται ο αριθμός των ενδιάμεσων προϊόντων από προβλήματα μεταβλητότητας ή ποιότητας; Πώς συνεισφέρουν οι βλάβες των μηχανών στη μεταβλητότητα; Συχνά μπορούμε να περιγράψουμε τέτοιες σχέσεις με μαθηματικές εξισώσεις που, αν και απέχουν από ένα πλήρη χαρακτηρισμό του εργοστασίου, είναι πάρα πολύ χρήσιμες για το χτίσιμο της αντίληψης.

Μία δεύτερη πολύτιμη δεξιότητα ενός μηχανικού παραγωγής είναι ικανότητά του στη *σύνθεση* πληροφοριών από διάφορες όψεις του συστήματος για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Μία τελευταία δεξιότητα ενός μηχανικού παραγωγής, χωρίς την οποία ούτε η αντίληψη ούτε η σύνθεση είναι δυνατές, είναι η γνώση ορισμένων βασικών αρχών της επιχειρησιακής έρευνας και ειδικότερα στη στατιστική, στις προβλέψεις χρονολογικών σειρών, στο μαθηματικό προγραμματισμό και στη θεωρία ουρών αναμονής.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Για να μελετήσουμε την βασική δυναμική των εργοστασίων, θα εστιάζουμε την προσοχή μας στις γραμμές ροής ή γραμμές παραγωγής γιατί οι γραμμές αυτές:

1. Αποτελούν το σύνδεσμο μεταξύ ξεχωριστών διαδικασιών και του συνολικού εργοστασίου και
2. Αντιπροσωπεύουν την απλούστερη μορφή ενός σημαντικού φαινομένου: την αλληλεπίδραση συνεχόμενων σταδίων παραγωγής και την αποσύνθεσή τους μέσω ενδιάμεσων μονάδων προσωρινής αποθήκευσης.

Στην συνέχεια καθορίζουμε μια ακριβή ορολογία που θα χρειαστούμε, προειδοποιώντας όμως ότι αλλού μπορεί να χρησιμοποιούνται οι ίδιοι όροι με διαφορετική σημασία ή διαφορετικοί όροι για πράγματα με την ίδια σημασία.

2.2.1 Ορισμοί

Ένας **σταθμός εργασίας (*workstation*)** είναι η συλλογή μίας ή περισσότερων μηχανών ή σταθμών χειρονακτικής εργασίας που εκτελούν τις ίδιες εργασίες. Σε **χωροταξικές διατάξεις προσανατολισμένες στις διαδικασίες (*process-oriented layouts*)** οι σταθμοί εργασίας είναι διατεταγμένοι σύμφωνα με τη λειτουργία που εκτελούν (π.χ., όλες οι μηχανές λείανσης βρίσκονται στο Τμήμα Λείανσης). Σε **χωροταξικές διατάξεις προσανατολισμένες στα προϊόντα (*product-oriented layouts*)** οι σταθμοί εργασίας είναι διατεταγμένοι σε γραμμές που κατασκευάζουν

συγκεκριμένα προϊόντα (π.χ. μία μηχανή λείανσης ανήκει σε μία συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής).

Ένα **τεμάχιο (part)** είναι ένα κομμάτι πρώτης ύλης, ένα εξάρτημα, ένα συναρμολογημένο ενδιάμεσο προϊόν ή τελικό προϊόν που δέχεται επεξεργασία στους σταθμούς εργασίας. Οι **πρώτες ύλες (raw material)** είναι τεμάχια που αγοράζονται εκτός εργοστασίου (π.χ. στοκ μεταλλικών ράβδων). Τα **εξαρτήματα (components)** είναι ξεχωριστά κομμάτια που μοντάρονται σε πιο πολύπλοκα προϊόντα (π.χ. γρανάζια). Τα **συναρμολογημένα ενδιάμεσα προϊόντα (subassemblies)** είναι συναρμολογημένες μονάδες που μοντάρονται σε ακόμα πιο πολύπλοκα προϊόντα (π.χ. κιβώτια ταχυτήτων). Τα **συναρμολογημένα τελικά προϊόντα (assemblies)** είναι ολοκληρωμένα συναρμολογημένα προϊόντα ή τελικά είδη (π.χ. αυτοκίνητα).

Ένα **τελικό είδος (end item)** είναι ένα τεμάχιο που πωλείται απευθείας στον πελάτη και μπορεί να είναι ή να μην είναι συναρμολογημένο προϊόν. Η σχέση μεταξύ των τελικών ειδών και των συστατικών τους (πρώτες ύλες, εξαρτήματα και συναρμολογημένα ενδιάμεσα προϊόντα) δίνεται από τον **κατάλογο υλικών (bill of material)**.

Ένα **αναλώσιμο (consumable)** είναι ένα υλικό όπως ένα χημικό, αέριο, λιπαντικό, κτλ. που χρησιμοποιείται σε σταθμούς εργασίας αλλά δεν αποτελεί μέρος των προϊόντων που πωλούνται.

Μία **διαδρομή (routing)** είναι μια αλληλουχία σταθμών εργασίας από τις οποίες περνάει ένα τεμάχιο.

Μία **παραγγελία (order)** είναι μια αίτηση ενός πελάτη για ένα συγκεκριμένο κωδικό προϊόντος σε μία συγκεκριμένη ποσότητα και ημερομηνία παράδοσης.

Μια **εργασία (job)** είναι ένα σύνολο υλικών που διανύουν διαδρομές μέσα από σταθμούς εργασίας μεταφέροντας τις σχετικές πληροφορίες τους (μηχανολογικά σχέδια, κατάλογος υλικών, κτλ.). Αν και η έναρξη κάθε εργασίας προκαλείται από μία πραγματική παραγγελία ή από την πρόβλεψη μίας παραγγελίας, συχνά δεν υπάρχει ακριβής αντιστοιχία μεταξύ εργασιών και παραγγελιών. Αυτό συμβαίνει επειδή 1) οι εργασίες μετρώνται σαν συγκεκριμένα τεμάχια και όχι σαν το σύνολο των τεμαχίων που αποτελούν ένα συναρμολογημένο προϊόν που αντιστοιχεί σε κάποια παραγγελία (π.χ. μία εργασία που αποτελείται από δύο ίδιες ρόδες ποδηλάτου μπορεί να μην αντιστοιχεί στην παραγγελία του ίδιου ποδηλάτου) και 2) ο αριθμός των τεμαχίων σε μία εργασία μπορεί να εξαρτάται από παράγοντες που έχουν να κάνουν με την

αποδοτικότητα της παραγωγής (π.χ. μία εργασία που αποτελείται από 10 τεμάχια μπορεί να αντιστοιχεί σε δύο παραγγελίες των 5 τεμαχίων που έχουν ομαδοποιηθεί για οικονομικούς λόγους).

Η **παροχή** (*throughput* ή **TH**) είναι η μέση εξαγόμενη ποσότητα της παραγωγικής διαδικασίας (σε επίπεδο μηχανής, σταθμού εργασίας, γραμμής παραγωγής, εργοστασίου) ανά χρονική μονάδα (π.χ. τεμάχια ανά ώρα). Καμιά φορά αναφέρεται και ως **ρυθμός παροχής** (*throughput rate*).

Η **ικανότητα παραγωγής** (*production capacity*) είναι το ανώτατο όριο του ρυθμού παροχής.

Το **απόθεμα πρώτων υλών** (*raw material inventory*) είναι το σημείο αποθήκευσης πρώτων υλών στην αρχή μίας διαδρομής παραγωγής έστω κι αν αυτές οι πρώτες ύλες έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία.

Το **απόθεμα τελειωμένων προϊόντων** (*finished goods inventory* ή **FGI**) είναι το σημείο όπου αποθηκεύονται τα τελικά είδη πριν σταλούν στον πελάτη.

Οι **εργασίες σε εξέλιξη** (*work in process* ή **WIP**) είναι το συνολικό απόθεμα μεταξύ των αρχικών και τελικών σημείων της διαδρομής ενός προϊόντος. Επειδή οι διαδρομές ξεκινάνε και καταλήγουν σε σημεία αποθήκευσης, το WIP είναι όλα τα προϊόντα ανάμεσα στα σημεία αποθήκευσης.

Ο **χρόνος κύκλου** (*Cycle time* ή **CT**) είναι ο χρόνος από την έναρξη μίας εργασίας στην αρχή της διαδρομής της μέχρι τη άφιξή της σε ένα σημείο αποθέματος στο τέλος της διαδρομής της (δηλαδή χρόνος τον οποίο ξοδεύει η εργασία ως WIP). Ο χρόνος κύκλου αναφέρεται και ως **χρόνος ροής** (*flow time*), **χρόνος παροχής** (*throughput time*) και **χρόνος διαμονής** (*sojourn time*).

Η **χρόνος υστέρησης** (*lead time*) είναι ο χρόνος που παρέχεται για την παραγωγή ενός τεμαχίου σε μια διαδρομή ή γραμμή παραγωγής. Σαν τέτοιος είναι μια σταθερά που προσδιορίζεται από τη διοίκηση. Αντίθετα, ο χρόνος κύκλου είναι συνήθως τυχαίος.

Το **επίπεδο εξυπηρέτησης** (*service level*) είναι το ποσοστό των παραγγελιών με χρόνο κύκλου μικρότερο από τον χρόνο υστέρησης.

2.2.2 Παράμετροι

Ο **ρυθμός μπουτλιαρίσματος** (*bottleneck rate* ή r_b) μιας γραμμής παραγωγής είναι ο ρυθμός (τεμάχια ή εργασίες ανά μονάδα χρόνου) του σταθμού εργασίας με την μικρότερη μακροπρόθεσμη ικανότητα παραγωγής. Με το «μακροπρόθεσμη» εννοείται ότι διακοπές λειτουργίες που οφείλονται σε βλάβες της μηχανών, διαλείμματα χειριστών, προβλήματα ποιότητας κτλ, λαμβάνονται υπόψη στον μέσο όρο τους για τον χρονικό ορίζοντα που μελετάται.

Ο **καθαρός χρόνος επεξεργασίας** (*raw process time* ή T_0) μιας γραμμής παραγωγής είναι το άθροισμα των μακροπρόθεσμων μέσων χρόνων επεξεργασίας κάθε σταθμού εργασίας στη γραμμή. Εναλλακτικά, μπορούμε να ορίσουμε τον καθαρό WIP χρόνο επεξεργασίας σαν τον μέσο χρόνο που απαιτεί μία εργασία για να διανύσει την άδεια γραμμή (έτσι ώστε να μην χρειάζεται να περιμένει πουθενά πίσω από άλλες εργασίες).

Το **κρίσιμο WIP** (*critical WIP* ή W_0) μιας γραμμής παραγωγής είναι το επίπεδο WIP για το οποίο μία γραμμή με παραμέτρους r_b και T_0 , χωρίς μεταβλητότητα στους χρόνους επεξεργασίας, επιτυγχάνει την μέγιστη παροχή (r_b) με τον ελάχιστο χρόνο κύκλου (T_0). Το κρίσιμο WIP καθορίζεται ως εξής:

$$W_0 = r_b T_0$$

Ο **συντελεστής συμφόρησης** (*congestion coefficient* ή α) μίας γραμμής παραγωγής είναι ένας συντελεστής χωρίς διαστάσεις που μετράει την συμφόρηση σε μία γραμμή. Στην «καλύτερη» περίπτωση (μικρότερη συμφόρηση), $\alpha = 0$. Στην «πρακτικά χειρότερη» περίπτωση (θα οριστεί αργότερα), $\alpha = 1$, και στην «χειρότερη περίπτωση» (θα οριστεί αργότερα επίσης), $\alpha = W_0$.

2.3 ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ LITTLE

Για κάθε επίπεδο WIP, ο λόγος του WIP προς τον χρόνο κύκλου ισούται με την παροχή. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως ο Νόμος του Little.

$$TH = \frac{WIP}{CT}$$

Ο Νόμος του Little ισχύει για όλες τις γραμμές παραγωγής, και όχι μόνον γι' αυτές με μηδενική μεταβλητότητα. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σε έναν σταθμό εργασίας, μία γραμμή, ή ένα ολόκληρο εργοστάσιο. Παρακάτω, δίνονται μερικές άμεσες χρήσεις του Νόμου του Little.

1. *Υπολογισμός του μήκους ουράς:* Μπορούμε να υπολογίσουμε το αναμενόμενο μήκος ουράς και την απασχόληση (ποσοστό χρόνου απασχόλησης) σε κάθε σταθμό στην γραμμή.
2. *Μείωση χρόνου κύκλου:* Εφόσον ο Νόμος του Little μπορεί να γραφτεί και ως $CT = WIP/TH$, η μείωση του χρόνου κύκλου συνεπάγεται μείωση του WIP, δεδομένης της παροχής. Άρα, οι μεγάλες ουρές υποδηλώνουν ότι υπάρχει χώρος για μείωση του χρόνου κύκλου αλλά και του WIP.
3. *Μέτρηση χρόνου κύκλου:* Η κατευθείαν μέτρηση του χρόνου κύκλου μπορεί να είναι δύσκολη γιατί απαιτεί την καταγραφή των χρόνων εισόδου και εξόδου κάθε τεμαχίου στο σύστημα. Εφόσον παρακολουθείται η παροχή και το WIP, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λόγος WIP/TH για την μέτρηση του χρόνου κύκλου.
4. *Προγραμματισμένο απόθεμα:* Σε πολλά συστήματα, οι εργασίες προγραμματίζονται να τελειώσουν πριν την ημερομηνία παράδοσής τους για να επιτευχθεί ένα ψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών. Όμως, δεδομένης της τάσης για μείωση των αποθεμάτων, οι πελάτες συχνά αρνούνται να δεχτούν ωρρίτερα παραδόσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι εργασίες να περιμένουν υπό μορφή FGI πριν από την αποστολή τους. Αν λοιπόν ο χρόνος προγραμματισμένου αποθέματος είναι n ημέρες, τότε σύμφωνα με τον Νόμο του Little το απόθεμα σε μορφή FGI θα είναι nTH .

2.4 Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Πρωτίτερα, αναφερθήκαμε σε ένα μέτρο της συμφόρησης που ενίοτε ονομάζεται συντελεστής άλφα, ή α . Για να ορίσουμε επακριβώς το α , πρώτα ορίζουμε το c ως μια συνάρτηση του WIP, w , που υποδηλώνει τον μέσο χρόνο κύκλου, δηλαδή $CT = c(w)$. Στην συνέχεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον λόγο του πραγματικού χρόνου κύκλου στο κρίσιμο επίπεδο WIP, $c(W_0)$, προς τον καλύτερο δυνατό χρόνο κύκλου, T_0 , ως δείκτη της συμφόρησης, δηλαδή

$$\frac{c(W_0)}{T_0}$$

Η ιδέα είναι ότι ένα σύστημα με μεγάλη συμφόρηση θα έχει πολύ μακρύ χρόνο κύκλου και συνεπώς υψηλό λόγο. Το σύστημα με την ελάχιστη δυνατή συμφόρηση είναι η λεγόμενη καλύτερη περίπτωση, για την οποία ξέρουμε ότι $c(W_0) = T_0$, συνεπώς ο λόγος είναι 1.

Για να διευκολύνουμε την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων εκτελούμε δύο βήματα κανονικοποίησης. Το πρώτο βήμα εξασφαλίζει ότι $\alpha = 0$ για την καλύτερη περίπτωση, ενώ το δεύτερο βήμα εξασφαλίζει ότι $\alpha = 1$ για την πρακτικά χειρότερη περίπτωση.

Για να αναγκάσουμε το α να είναι μηδέν στην καλύτερη περίπτωση (δηλαδή, όπου $c(W_0) = T_0$), αφαιρούμε ένα από τον λόγο, δηλαδή έχουμε

$$\frac{c(W_0)}{T_0} - 1$$

Στην συνέχεια, για να έχουμε $\alpha = 1$ στην πρακτικά χειρότερη περίπτωση, σημειώνουμε ότι για την πρακτικά χειρότερη περίπτωση ισχύει

$$c(W_0) = T_0 + \frac{W_0 - 1}{r_b},$$

συνεπώς

$$\frac{c(W_0)}{T_0} - 1 = \frac{W_0 - 1}{W_0}$$

Έτσι, αν πολλαπλασιάσουμε τον ήδη τροποποιημένο λόγο με $W_0/W_0 - 1$, θα ισούται με 1 για την πρακτικά χειρότερη περίπτωση. Συνεπώς, ορίζουμε το α ως

$$\alpha = \frac{W_0}{W_0 - 1} \left(\frac{c(W_0)}{T_0} - 1 \right)$$

Έτσι, από τον τρόπο σχεδιασμού του, $\alpha = 0$ στην καλύτερη περίπτωση και $\alpha = 1$ στην πρακτικά χειρότερη περίπτωση. Εφόσον μάλιστα $c(W_0) = W_0 T_0$, στην χειρότερη περίπτωση, συνεπάγεται ότι $\alpha = W_0$, στην χειρότερη περίπτωση. Η παράμετρος α μας δίνει με έναν μόνο αριθμό ένα μέτρο σύγκρισης μιας γραμμής με τις τρεις περιπτώσεις.

Αν το α είναι μεταξύ του 0 και του 1, η γραμμή είναι στην λεγόμενη «καλή περιοχή» μεταξύ της καλύτερης και της πρακτικά χειρότερης περίπτωσης. Αν το α είναι μεγαλύτερο από το 1, η γραμμή είναι στην «κακή περιοχή», όπου υπάρχει χώρος για βελτίωση.

3. ΑΥΤΟΜΑΤΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Η αυτόματη γραμμή μεταφοράς αποτελείται από επιμέρους σταθμούς εργασίας εν σειρά, που ολοκληρώνεται σ' ένα σύστημα γραμμών μεταφοράς και ελέγχου. Κάποια χρονική στιγμή, ο σταθμός εργασίας σταματάει να λειτουργεί, (παθαίνει βλάβη), τότε τα μηχανήματα που αποτελούν το σταθμό ελέγχονται λειτουργικά, προκειμένου να ολοκληρώσουν την εργασία του τεμαχίου που επεξεργάζονται ή τμήμα αυτού. Τα βασικά γνωρίσματα που διακρίνουν τη αυτόματη γραμμή μεταφοράς είναι:

- Αντί να έχουμε τις εργασίες να εκτελούνται σε μία θέση, διαιρούμε τη διαδικασία παραγωγής μεταξύ των σταθμών, ειδικεύοντας τους σε μία ή και περισσότερες υποεργασίες, που σχετίζονται με την τελική εργασία .
- Η μετακίνηση των τεμαχίων μεταξύ των σταθμών γίνεται αυτόματα, χρησιμοποιώντας μηχανικά μέσα .
- Ανεξάρτητα τη φόρτωση - εκφόρτωση των σταθμών, οι εργασίες σε όλους τους σταθμούς γίνονται αυτόματα.

Η πρώτη αυτόματη γραμμή μεταφοράς, αποτελείται από τρεις σταθμούς εργασίας. Πρωτοεμφανίστηκε το 1908 και κατασκεύαζε συνδέσμους για την προσαρμογή ραγών στους σιδηροδρόμους. Αργότερα το 1920 και 1930, δημιουργήθηκε η περιστροφική αυτόματη γραμμή μεταφοράς, που είχε από 6 έως 8 σταθμούς εργασίας.

Παρ' όλο που στα πρώτα της βήματα απέτυχε μία φορά η εν σειρά αυτόματη γραμμή μεταφοράς, το 1924 αναπτύχθηκε και εγκαταστάθηκε από το Morris Motors στην Αγγλία . Αρκετά αργότερα, το 1950, ολοκληρωμένη αυτόματη γραμμή μεταφοράς, από 60 έως 80 σταθμούς εργασίας, εφαρμόστηκε και εξελίχθηκε στην αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς επίσης και σε άλλες βιομηχανίες.

Οι αυτόματες γραμμές μεταφοράς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες περιστροφικές και εν σειρά . Τις εν σειρά μπορούμε να τις χωρίσουμε, σε ευθείες γραμμές παραγωγής και σε κυκλικές γραμμές παραγωγής. Στις ευθείες γραμμές παραγωγής τα προϊόντα (τεμάχια) γλιστρούν πάνω σε ραουλόδρομους. Εφαρμογή

βρίσκουν στις αυτοκινητοβιομηχανίες, όπου η ανάγκη μεταφοράς βαριών κομματιών (τεμαχίων), είναι μεγάλη. Οι κυκλικές γραμμές παραγωγής συνδέουν, την αρχή με το τέλος της γραμμής, απ' όπου ξεκίνησαν.

Η τοποθέτηση των τεμαχίων πάνω σε παλέτες, έχει μερικά πλεονεκτήματα:

- Βελτιώνει την τοποθέτηση των τεμαχίων, γιατί η εφαρμογή είναι πολύ ακριβής και άκαμπτη στην παλέτα, η οποία κινείται από σταθμό σε σταθμό μαζί με το τεμάχιο.
- Βελτιώνει την ακαμψία του τεμαχίου, κατά την επεξεργασία του στη μηχανή.
- Μεγάλη άνεση κινήσεων, διότι χρησιμοποιείται το σταθερό σχήμα παλέτας, αντί κάποιου τεμαχίου με ακανόνιστο σχήμα .

Αντιθέτως όμως, οι παλέτες έχουν υψηλή αρχική τιμή και απαιτούν συντήρηση.

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί μεταφοράς τεμαχίων, από τον ένα σταθμό στον άλλον. Για το σύστημα εν σειρά συνήθως χρησιμοποιείται, η μεταφορά με μπάρα. Μία μακριά ράβδος σπρώχνει τα τεμάχια ταυτόχρονα, από τον ένα σταθμό στον άλλο, επιστρέφοντας πίσω στην αρχική της θέση. Αυτή η μπάρα είναι προγραμματισμένη να εξυπηρετεί ένα μέρος ή μια ομάδα σταθμών, που βρίσκονται σε ευθεία γραμμή παραγωγής.

Για να μπορέσουμε να βάλουμε μία σειρά και να συγχρονίσουμε τις πραγματικές εργασίες του κάθε σταθμού καθώς και τη μετακίνηση των τεμαχίων, από σταθμό σε σταθμό, είναι ανάγκη να έχουμε, ένα κοινό σύστημα ελέγχου, για όλους τους σταθμούς, σε κάθε σκέλος ή τμήμα της γραμμής. Οι διαδικασίες επιτυχίας, βασίζονται σε παράγοντες δικτύου `` εισαγωγής δεδομένων``, από αισθητήρες που βρίσκονται σε όλη τη γραμμή. Η λογική των ελεγκτών, συνήθως πραγματοποιείται, από μικροεπεξεργαστές ή από προγραμματισμένους ελεγκτές. Επίσης, ο έλεγχος στους σταθμούς εργασίας, έχει άμεση σχέση με την ποιότητα της εργασίας σε κάθε σταθμό. Οποιαδήποτε ανωμαλία παρατηρείται, θα πρέπει να διορθώνεται αμέσως, πριν επηρεάσει το προϊόν και αναγκαστούμε να το δεσμεύσουμε σαν ελαττωματικό. Αυτή η σχέση, μεταξύ ελέγχου και παραγωγής, μας οδηγεί στην εξήγηση της έννοιας βελτίωση ποιότητας.

Οι δεσμοί που υπάρχουν μεταξύ όλων των σταθμών, σε ένα τμήμα αυτόματης γραμμής μεταφοράς, είναι τέτοιοι ώστε η μεταφορά, μπορεί να ξεκινήσει μόνο όταν ο πιο αργός σταθμός ολοκληρώσει την εργασία του. Ορίζεται, σαν χρόνος κύκλου ενός τμήματος, ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών μεταφορών τεμαχίων στους σταθμούς εργασίας, δεδομένου ότι όλοι αυτοί οι σταθμοί, δεν παρουσιάζουν βλάβη. Συνεπώς θα μπορούσε να καθοριστεί σαν χρόνος κύκλου, ο μέγιστος χρόνος που απαιτείται για να εκτελέσει μία εργασία ο σταθμός, συν το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά του. Ο χονδρικός ρυθμός παραγωγής του τμήματος, είναι το αντίστροφο του χρόνου κύκλου.

Σχολιάζοντας στο σημείο αυτό, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αν οποιοσδήποτε σταθμός του τμήματος πάθει βλάβη και η εργασία που εκτελεί δεν ολοκληρωθεί, τότε ούτε η μεταφορά γίνεται και υποχρεωτικά όλοι οι σταθμοί του τμήματος σταματούν. Αν κάποιο από τα τμήματα σταματήσει, αυτό με τη σειρά του θα επηρεάσει τη λειτουργία της γραμμής. Αν δεν υπάρχει απόθεμα μεταξύ των τμημάτων, τότε και το υπόλοιπο κομμάτι της γραμμής σταματάει σχεδόν αμέσως.

Ορίζουμε σαν καθαρό ρυθμό παραγωγής, το μέσο όρο τεμαχίων που πραγματικά ολοκληρώνουν την εργασία τους, στη μονάδα του χρόνου. Αυτός πρακτικά θα πρέπει να είναι μικρότερος από το χονδρικό ρυθμό παραγωγής. Ο στόχος για το σχεδιασμό και λειτουργία της αυτόματης γραμμής μεταφοράς, είναι να μας παρέχει μεγάλο ποσοστό αξιοπιστίας και ελαχιστοποίηση του αριθμού βλαβών και επισκευών της μηχανής.

Για να μπορέσουμε να αυξήσουμε την παραγωγικότητα της αυτόματης γραμμής μεταφοράς, μειώνοντας τα σταματήματα, θα πρέπει να παρεμβάλουμε χώρους αποθήκευσης, μεταξύ κάθε δύο συνεχόμενων τμημάτων της γραμμής, επιτρέποντας με αυτό το τρόπο, κάθε τμήμα να λειτουργεί ανεξάρτητα. Ο χώρος αποθήκευσης μπορεί να είναι, ή σε σειρά, ή σε διακλάδωση σε σχέση με τη γραμμή. Ο έλεγχος και η κίνηση των τεμαχίων, μέσα και έξω από το χώρο αποθήκευσης, μπορεί να γίνεται αυτόματα, ή χειροκίνητα. Το αυτόματο σύστημα έχει το πλεονέκτημα, ότι δε χρειάζεται την ανθρώπινη επέμβαση ή πρωτοβουλία.

Η μεταφορά μεταξύ των τμημάτων, μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

Σταθερή μεταφορά: όλες οι εργασίες των τμημάτων της γραμμής είναι συγχρονισμένες έτσι ώστε, ο χρόνος κύκλος της γραμμής, με το χρόνο κύκλο των τμημάτων να είναι ο ίδιος.

Ελεύθερη μεταφορά: το τμήμα της γραμμής ξεκινάει να τροφοδοτεί (μεταφέρει), το συντομότερο, όλους τους σταθμούς του, μέχρι να ολοκληρώσει την εργασία του.

Παράδειγμα (ελεύθερης μεταφοράς): Θεωρούμε δύο τμήματα που χωρίζονται από το χώρο αποθήκευσης και δεν συγχρονίζονται μεταξύ τους. Επίσης έχουν διαφορετικούς ρυθμούς παραγωγής, έτσι ώστε ούτε να γεμίζει αλλά ούτε να αδειάζει ποτέ ο χώρος αποθήκευσης. Η πληρότητα του χώρου αποθήκευσης, δίνει τη δυνατότητα στο πρώτο τμήμα να παράγει με αργό ρυθμό, σε σχέση με το δεύτερο τμήμα, αντίθετα ο άδειος χώρος αποθήκευσης, προωθεί το δεύτερο τμήμα να παράγει αργά, σε σχέση με το πρώτο τμήμα .

3.2 ΠΡΟΒΟΛΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.

Ο κύριος στόχος για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της αυτόματης γραμμής μεταφοράς, είναι η αύξηση της παραγωγικότητας των τεμαχίων, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος ανά τεμάχιο. Το σχετικό κόστος μπορούμε να το θεωρήσουμε, σαν το άθροισμα του αρχικού κόστους (εγκατάστασης), του λειτουργικού κόστους (εργασία, εργαλεία, επισκευή και συντήρηση) και του κόστους αποθέματος των εργασιών σε εξέλιξη. Η γραμμή θα πρέπει να είναι ευέλικτη και ικανή να ανταποκρίνεται στις αλλαγές και τις ανάγκες, της πολύπλοκης και ογκώδους παραγωγής.

Μολονότι συνήθως είναι αρκετά εύκολο να προσδιορίσουμε τα κόστη που σχετίζονται με το σχεδιασμό της αυτόματης γραμμής μεταφοράς, είναι πολύ δύσκολο από την άλλη, να προβλέψουμε τις επιπτώσεις που έχει στο ρυθμό παραγωγής, από τις αλλαγές του σχεδιασμού και της λειτουργίας του συστήματος.

Προσπαθώντας να αυξήσουμε το ρυθμό παραγωγής, προτείνουμε τέσσερις τρόπους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν:

- 1. Μείωση του χρόνου κύκλου (αυξάνοντας το χονδρικό ρυθμό παραγωγής).** Μείωση του χρόνου κύκλου, σημαίνει μείωση του χρόνου μεταφοράς των τεμαχίων, από τον ένα σταθμό εργασίας στον επόμενο και

μείωση του χρόνου που εκτελείται η εργασία . Προσοχή, όλες οι αναφορές γίνονται στον πιο αργό σταθμό, ενώ οι άλλοι σταθμοί χρειάζεται να έχουν χρόνο κύκλο λίγο γρηγορότερο, από τον επόμενο σταθμό.

2. **Μείωση της συχνότητας τυχαίων γεγονότων, λόγω βλάβης.** Η μείωση της συχνότητας τυχαίων γεγονότων, χαμένου χρόνου από βλάβες, πραγματοποιείται αυξάνοντας την αξιοπιστία της μηχανής, βελτιστοποιώντας δηλαδή τα μηχανικά μέρη και εξαρτήματα, που την αποτελούν. Επίσης είναι αναγκαία η παρακολούθηση και ο έλεγχος, των λειτουργιών της γραμμής.
3. **Μείωση της διάρκειας του χρόνου βλάβης.** Η μείωση της διάρκειας του χρόνου βλάβης, είναι ένα βασικό ζήτημα που αντιμετωπίζεται με την κατάλληλη διοίκηση και τις πρακτικές λειτουργίας, αντί το σχεδιασμό της γραμμής. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε, ότι για να μπορέσουμε να εγγυηθούμε το καλύτερο αποτέλεσμα, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα προηγμένων επισκευών.
4. **Μείωση της επίδρασης αποτυχίας στη γραμμή.** Ο δεσμός μεταξύ των σταθμών εργασίας μαζί με το μηχανισμό μεταφοράς των τμημάτων και ο δεσμός μεταξύ των τμημάτων που αποτελούν τη γραμμή, μας δηλώνει ότι, η επίδραση αποτυχίας από κάθε ένα εξάρτημα μπορεί να είναι μεγάλη. Δεν είναι πάντοτε ανάγκη να συμβαίνει στα μηχανήματα των σταθμών, αλλά θα μπορούσε να είναι στη μεταφορά, στο υδραυλικό σύστημα, στη λίπανση, στο σύστημα της ψύξης, ή και στο σύστημα ελέγχου. Όλα αυτά όμως επιδρούν στην απόδοση της γραμμής.

Δυστυχώς, η βελτίωση, ενός από τους τέσσερις τρόπους, έχει αρνητικά αποτελέσματα για κάποιον άλλον. Για παράδειγμα, η μείωση του χρόνου κύκλου, αυξάνοντας την ταχύτητα της μηχανής, έχει αύξηση του ρυθμού φθοράς, των εξαρτημάτων και εργαλείων της μηχανής και έτσι αυξάνεται η συχνότητα περιστατικών λόγω βλάβης.

Επειδή επιδιώκουμε να βελτιστοποιήσουμε την απόδοση της γραμμής, είναι πολύ σημαντικό να εξετάσουμε κάθε μία από τις τέσσερις αυτές προσεγγίσεις. Οι τρεις πρώτες είναι βασικές και καθορίζουν ένα καλό και λειτουργικό τρόπο διοίκησης. Η τέταρτη και τελευταία απαιτεί ένα σύστημα με προοπτικές, το οποίο θα αναλύσουμε.

Για να μπορέσουμε να ελαχιστοποιήσουμε τη μείωση της παραγωγής από την αποτυχία (βλάβη) των εξαρτημάτων της μηχανής, υπάρχουν κάποιες σχεδιαστικές επιλογές, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν:

Χώρος αποθήκευσης: υπάρχουν αρκετοί τρόποι ενσωμάτωσης του χώρου αποθήκευσης, μεταξύ δύο τμημάτων της αυτόματης γραμμής μεταφοράς. Οι αυτόματοι χώροι αποθήκευσης, αποτελούνται από μεταφορικές ταινίες, ανελκυστήρες, ραουλόδρομους και σιλό. Στους χειροκίνητους χώρους αποθήκευσης, η μεταφορά γίνεται με ράουλα, ή ράγα, με κοντέινερ ή απλά πάνω στο δάπεδο. Η παλετοποίηση των τεμαχίων πρέπει να γίνεται στο χώρο αποθήκευσης, με ή χωρίς τις παλέτες τους. Συνήθως δεν είναι εφικτό, ο χώρος αποθήκευσης να μην έχει παλέτες, διότι η μετακίνηση του μισοτελειωμένου τεμαχίου από τη μία ορισμένη θέση και παλέτα σε μια άλλη θέση και παλέτα για την επόμενη εργασία, οδηγεί σε σφάλμα, από τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των παλετών. Το υψηλό κόστος της παλέτας, αποκλείει τις μεγάλες ποσότητες για την παλετοποίηση των τεμαχίων, στο χώρο αποθήκευσης.

Περιττοί σταθμοί: Οι περιττοί σταθμοί μπορεί να προέρχονται, από τους εφεδρικούς σταθμούς που βρίσκονται σε αδράνεια, όταν όλοι οι σταθμοί της γραμμής, λειτουργούν σωστά. Αυτό όμως δικαιολογεί γιατί είναι τόσο πολυδάπανο, εκτός αν ο εφεδρικός σταθμός, είναι ημιαυτόματος ή χειροκίνητος. Εναλλακτικά ένας περιττός σταθμός, μπορεί να συμπεριλαμβάνει, δύο σταθμούς με την ίδια παραγωγικότητα. Θα μπορούσε επίσης η διάταξη να σχεδιαστεί έτσι ώστε, όταν ο ένας σταθμός είναι εκτός λειτουργίας, τα τεμάχια μπορούν να εξέρχονται του προηγούμενου σταθμού και να τοποθετούνται διατηρημένα στον επόμενο σταθμό ή σε ένα χώρο δίπλα σ' αυτόν, μέχρι να επισκευαστεί η βλάβη.

Διασταύρωση διαδρομών : Η διασταύρωση διαδρομών, είναι ειδική περίπτωση των περιττών σταθμών, όπου πλήρη τμήματα από παράλληλες γραμμές μεταφοράς, δρουν σαν εφεδρεία προς τον έναν ή ως προς τον άλλον.

Ο σχεδιασμός της γραμμής απαιτεί μελέτη, για καθένα απ' αυτούς τους λόγους. Επίσης θα πρέπει να εξετάσουμε, με μεγάλη προσοχή, τις διαστάσεις και το μέγεθος του χώρου αποθήκευσης, τη θέση που θα το τοποθετήσουμε, τον αριθμό και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των περιττών σταθμών. Γεγονός είναι ότι το σύστημα λειτουργεί τυχαία, μέσα σ' ένα τυχαίο περιβάλλον, όπου η πρόβλεψη, για τον καθαρό ρυθμό παραγωγής, είναι δύσκολη.

3.3 Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ.

Για την ανάλυση του πραγματικού μοντέλου της αυτόματης γραμμής μεταφοράς, είναι ανάγκη να μελετήσουμε τη φύση του σταματήματος της γραμμής μεταφοράς. Υπάρχει αρκετή βιβλιογραφία που αναφέρεται στους χρόνους βλαβών της αυτόματης γραμμής μεταφοράς. Μερικές βασίζονται στην ανάλυση και καταγραφή των χαμένων χρόνων της γραμμής, που προέρχονται από τη λειτουργία της γραμμής, ή από το προσωπικό συντήρησης. Άλλες βασίζονται σε παρατηρήσεις από έμπειρους μηχανικούς βιομηχανίας. Αυτές οι τεχνικές μελέτες προσδοκούμε να είναι ακριβείς και περισσότερο αξιόπιστες, απ' αυτές που βασίζονται στις καταγραφές των χειριστών της γραμμής. Συνήθως οι περισσότερες αυτόματες γραμμές μεταφοράς λειτουργούν με τρεις βάρδιες, 24 ώρες την ημέρα, επτά ημέρες την εβδομάδα . Έτσι το κόστος για συνεχή παρακολούθηση της γραμμής, προκειμένου να γίνει η τεχνική μελέτη, είναι σχετικά μικρό. Προσφάτως εγκατεστημένες γραμμές, χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς υπολογιστές για τον έλεγχό τους και για να παρακολουθούν συνέχεια την απόδοση της γραμμής. Με αυτό το τρόπο, έχουμε την αυτόματη καταχώρηση του ιστορικού χρόνων βλάβης, τη θέση που έγινε και τα αίτια που προκάλεσαν την αποτυχία στο σύστημα . Η συσσώρευση των στοιχείων αυτών, στο μέλλον θα μας δώσει πληροφορίες, που θα σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα της φύσης του σταματήματος της γραμμής.

Προσπαθώντας να κατανοήσουμε τα σταματήματα της γραμμής, είναι απαραίτητο να ταξινομήσουμε αυτά ως εξής:

Έκταση: Κατά πόσο το σύνολο της γραμμής, οι ομάδες σταθμών, ή ο ατομικός σταθμός, είναι άμεσα προσβεβλημένα, από το σταμάτημα .

Παράδειγμα σταματήματος: Ο μηχανισμός μεταφοράς αποτυχαίνει, επηρεάζοντας μία ομάδα σταθμών, η φθορά του εργαλείου, ή το σπάσιμο αυτού, επιδρά πάνω στο συγκεκριμένο σταθμό.

Αίτια: Κατά πόσο το σταμάτημα, είναι είτε το ένα, είτε το άλλο από τα ακόλουθα:

Λειτουργικά εξαρτημένο: Μπορεί να συμβεί όταν ο σταθμός ή το τμήμα, είναι μία ξεχωριστή διαδικασία .

Χρονικά εξαρτημένο: Μπορεί να συμβεί ανά πάσα στιγμή, στη γραμμή που λειτουργεί, ακόμη και όταν δεν είναι μία ξεχωριστή διαδικασία .

Αποτέλεσμα: Κατά πόσο το σταμάτημα απαιτεί , από το μέρος της διαδικασίας, τη στιγμή που σταματάει το τεμάχιο, να απομακρυνθεί από τη γραμμή για να ξαναδουλεутεί, μετά την επισκευή της μηχανής, ή να πεταχθεί. Αυτό είναι σχετικά ασυνήθιστο, στη λειτουργία της μηχανής, αλλά μπορεί να θεωρηθεί αποτέλεσμα της αποτυχίας, αφού το τεμάχιο δεν έχει ολοκληρώσει ακόμη τον κύκλο εργασίας του.

Σκοπός της ταξινόμησης, είναι η ολοκλήρωση της εργασίας, αφού πρώτα γίνει η επισκευή: (1) η εργασία μπορεί να σταματήσει τη διαδικασία της, μέχρι το σημείο εξάλειψης της αποτυχίας (βλάβης), ή (2) η εργασία πρέπει να ξεκινήσει πάλι από την αρχή του σταθμού που υπέστη τη βλάβη.

Ανεξάρτητα από τις επιλογές που θέτουμε, είναι λογικό να συμπεριλαμβάνεται κάθε extra χρόνος, πέρα από τον κανονικό χρόνο διαδικασίας, στο χρόνο επισκευής.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Τα πρώτα κρουασάν παρασκευάστηκαν στην Αυστρία το 1697, μετά από τη νικηφόρα μάχη των Αυστριακών κατά των Τούρκων. Για τον επινίκιο της μάχης αυτής, ο προσωπικός σεφ του Λεοπόλδου του Α', δημιούργησε ένα διαφορετικό έδεσμα και μάλιστα στο σχήμα του "μεσοφέγγαρου".

Μετά από χρόνια το γνώρισαν οι Γάλλοι, οι οποίοι του έδωσαν το όνομα κρουασάν και το εντάξανε στις Γαλλικές σπεσιαλιτέ. Σιγά - σιγά διαδόθηκε και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Στην Ελλάδα άρχισε να εμφανίζεται δειλά στα τέλη της δεκαετίας του '60 και μέχρι το 1983 λίγα ήταν εκείνα τα εργαστήρια ζαχαροπλαστικής τα οποία έφτιαχναν γαλλικό κρουασάν. Παράλληλα, αρκετές εταιρείες πρώτων υλών και μηχανολογικού εξοπλισμού είδαν το ενδιαφέρον των καταναλωτών και άρχισαν να παρασκευάζουν και να εισάγουν μαργαρίνη, βούτυρο και μηχανήματα ειδικά για κρουασάν, ενώ δεν έλειψαν και οι εισαγωγές έτοιμων γαλλικών κρουασάν.

Σήμερα πλέον, το κρουασάν το βρίσκουμε παντού. Σε ζαχαροπλαστεία, σε αρτοποιεία, σε ξενοδοχεία, ενώ οι κρουασαντερί ξεφυτρώνουν στους δρόμους σαν τα μανιτάρια. Δημιουργήθηκαν έτσι, πολλές ποικιλίες και πολλές παραλλαγές και εκτός από το σκέτο κρουασάν, υπάρχουν κρουασάν με σοκολάτα, με μαρμελάδα φρούτων, αμυγδάλου, με κρέμα πατισερί, καθώς και με αλμυρές γεμίσεις.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούμε για την παρασκευή του κρουασάν φαίνονται στην πιο κάτω τυπική συνταγή του γαλλικού κρουασάν των 60gr. (ψημένο) ανά τεμάχιο. Συστατικά :

αλεύρι	45,39%
νερό	21,05%
βούτυρο ή μαργαρίνη	30,00%
μαγιά	2,68%

ζάχαρη 0,88%.

Αλεύρι: Το αλεύρι που χρησιμοποιείται για κρουασάν πρέπει να είναι δυνατό, να έχει γλουτένη, κατ' ελάχιστο περίπου 30%. Να γίνεται η ζύμη ελαστική και να μη σπάει. Αν το αλεύρι είναι αδύνατο, τότε το πλάσιμο σε φύλλο είναι εύκολο, αλλά το τελικό προϊόν θα είναι κατώτερο ποιοτικά . Αν όμως το αλεύρι είναι πολύ δυνατό, τότε το πλάσιμο σε φύλλο είναι πιο δύσκολο και απαιτεί περισσότερο χρόνο, οπότε και πάλι θα έχουμε σαν αποτέλεσμα, την ακανόνιστη φόρμα του τελικού προϊόντος, που δε θα θρυμματίζεται εύκολα στο μάσημα γιατί θα είναι μαλακό. Το τελικό φούσκωμα του προϊόντος, εξαρτάται από την ανάπτυξη της γλουτένης. Το πολύ αδύνατο αλεύρι έχει μικρή ποσότητα γλουτένης, είναι ανεπαρκές και έτσι έχουμε λίγο φούσκωμα .

Βούτυρο: Το βούτυρο του κρουασάν είναι ένα από τα εξειδικευμένα βούτυρα της σειράς των συμπυκνωμένων βουτύρων ειδικά για τη ζαχαροπλαστική. Πριν από εικοσιπέντε περίπου χρόνια, στην Ευρώπη (και στην Ελλάδα πριν από δώδεκα περίπου χρόνια) δεν υπήρχαν βούτυρα συμπυκνωμένα - εξειδικευμένα . Αφ' ενός είχαμε το φρέσκο βούτυρο με 18% υγρασία και αφ' ετέρου το Butter oil συμπυκνωμένο βούτυρο, με πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, λόγω έλλειψης υγρασίας. Το βούτυρο στο κρουασάν παράγεται αποκλειστικά από την κρέμα και το βούτυρο γάλακτος πρώτης ποιότητας στο οποίο δεν έχει προστεθεί καμία ουσία . Το βούτυρο κρουασάν είναι ένα από τα δυσκολότερα στην παραγωγή του συμπυκνωμένου βουτύρου. Παράγεται όπως όλα τα συμπυκνωμένα βούτυρα με αφαίρεση του νερού και των στερεών γάλακτος, ώστε να έχουμε καθαρό βούτυρο 99,9%. Το βούτυρο αυτό έχει τη δυνατότητα, να δίνει στο κρουασάν γεύση και χρώμα ,χωρίς να χρειάζεται να προσθέσουμε στη ζύμη γάλα, αυγά και βελτιωτικό, καθώς και αύξηση του όγκου του τελικού προϊόντος κατά 16% περίπου. Οι παρασκευαστές κρουασάν, δείχνουν ιδιαίτερη προτίμηση, στη χρήση της μαργαρίνης, που δίνει στο τελικό προϊόν ευχάριστη γεύση, μεγάλη διόγκωση, σταθερή ποιότητα και είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα κοστολογικά.

Νερό: Το νερό είναι απαραίτητο για το σχηματισμό της ζύμης, την απελευθέρωση των πρωτεϊνών από την γλουτένη και κάνει μία ζύμη με σωστή πλαστικότητα . Οι ζύμες που πρόκειται να ξεκουραστούν κατά το βράδυ θέλουν λιγότερο νερό, γιατί η μεγάλης διάρκειας ξεκούραση κάνει μεγαλύτερη

ομοιογενοποίηση. Επίσης η ζύμη πρέπει να έχει την ίδια σκληρότητα που έχει και το λίπος (βούτυρο ή μαργαρίνη). Δηλαδή αν το ζυμάρι είναι πολύ μαλακότερο του λίπους, τότε το λίπος κατά την επεξεργασία της σφολιάτας θα σπάσει τη συνοχή της ζύμης. Αν πάλι η ζύμη είναι πολύ σκληρή, τότε το δούλεμα θα είναι πολύ δύσκολο στη μηχανή. Γεγονός είναι ότι η ποιότητα του ζυμαριού (μαλακό ή σκληρό), εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, γι' αυτό συνιστάται παγωμένο νερό για το καλοκαίρι .

Πριν την παραλαβή των πρώτων υλών παίρνονται δείγματα και γίνονται αναλύσεις στο χημείο, για να διαπιστωθεί αν πλορούν τις προβλεπόμενες προδιαγραφές.

4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΡΟΥΑΣΑΝ.

Για την παραγωγή προϊόντων κρουασάν ακολουθούνται οι εξής διαδικασίες:

- Παρασκευή της ζύμης.
- Βουτύρωμα της ζύμης (τοποθέτηση του λίπους εντός της ζύμης).
- Άνοιγμα , δίπλωμα και τελικό άνοιγμα του φύλλου.
- Κοπή και διαμόρφωση των διαφόρων προϊόντων.
- Ωρίμανση.
- Ψήσιμο.
- Συσκευασία .

Για να επιτευχθεί καλή και σταθερή ποιότητα των προϊόντων κρουασάν, είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται, κυρίως του αλεύρου και του λίπους.

Είναι επίσης πολύ σημαντικό η ζύμη και το λίπος στη διαδικασία άνοιγμα - διπλώματα, να έχουν την ίδια σκληρότητα . Αν η ζύμη είναι πιο μαλακή, το λίπος έχει τη τάση να σπάζει τα στρώματα της ζύμης. Αν η ζύμη είναι πολύ σκληρή, θα υπάρχει δυσκολία στο άνοιγμα του φύλλου. Μεγάλη σημασία έχει επίσης η ποσότητα του νερού στη ζύμη και η θερμοκρασία του η οποία πρέπει να είναι χαμηλή και να ελέγχεται με ανάλογο ψυκτικό συγκρότημα .

Τέλος σημαντικό ρόλο για το βαθμό διόγκωσης και την ομοιομορφία , έχουν ο χρόνος ανάπαυσης της ζύμης μεταξύ των διαφόρων φάσεων της παραγωγικής διαδικασίας, ο έλεγχος της θερμοκρασίας του χώρου στον οποίο τοποθετείται η ζύμη για ανάπαυση, ο έλεγχος της θερμοκρασίας του χώρου μέσα στον οποίο γίνεται η διαδικασία κοπής και διαμόρφωσης των τελικών προϊόντων και ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά την ωρίμανση, καθώς και τη σωστή θερμοκρασία του φούρνου κατά το ψήσιμο. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για τις διαδικασίες παραγωγής προϊόντων κρουασάν και ο βαθμός αυτοματισμού, εξαρτάται από το ύψος της επιθυμητής παραγωγής.

Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των διαδικασιών που εμπλέκονται στην παρασκευή του κρουασάν.

4.2.1 Παρασκευή της ζύμης

Η ζύμη του κρουασάν χρειάζεται εντατικό ζύωμα για να αποκτήσει ομοιομορφία και ελαστικότητα . Η χρήση παγωμένου νερού το καλοκαίρι είναι απαραίτητη.

- Για παραγωγή ζύμης 50 έως 200 κιλά την ημέρα , είναι επαρκές ένα ταχυζυμωτήριο 50 κιλών με σπείρα ή βραχίονες.
- Για παραγωγή ζύμης 200 έως 500 κιλά την ώρα , χρειάζεται ένα ταχυζυμωτήριο 80 έως 150 κιλών.
- Για μεγαλύτερη παραγωγή ζύμης, προτείνουμε ταχυζυμωτήριο 150 έως 300 κιλών, με σύστημα ανατροπής (σχήμα 1,2).

4.2.2 Βουτύρωμα της ζύμης

Η ανατροπή με τη σειρά της τροφοδοτεί τη ζύμη στο συγκρότημα, που βασίζεται σε συνδυασμό extruder ζύμης και extruder λίπους (φωτ. 1). Σε αυτό το στάδιο έχουμε το άνοιγμα της ζύμης για να τοποθετηθεί στη μέση το βούτυρο ή η μαργαρίνη, εν συνεχεία σκεπάζεται με δεύτερη στρώση ζύμη και με μεταφορική ταινία

με τους κατάλληλους αυτοματισμούς, τροφοδοτεί αυτόματο συγκρότημα παραγωγής φύλλου σφολιάτας.

4.2.3 Άνοιγμα - Διπλώματα - Τελικό άνοιγμα φύλλου

Η τελική δομή των προϊόντων σφολιάτας εξαρτάται απόλυτα από τη διαδικασία του ανοίγματος - διπλώματος. Οι πλάκες ζύμης - λίπους ανοίγονται σε φύλλο, διπλώνονται και ανοίγονται ξανά και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου σχηματιστεί πολυάριθμη σειρά στρωμάτων.

Τα διπλώματα γίνονται σε 3 ή σε 4 στρώματα . Είναι πολύ εύκολο να υπολογιστούν τα στρώματα που θα έχει το τελικό φύλλο της σφολιάτας .

Κατά το άνοιγμα του φύλλου (μείωση του πάχους), είναι πολύ σημαντικό, η πίεση που ασκείται από τους κυλίνδρους διαμόρφωσης, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Αν ασκείται μεγάλη πίεση, για να ελαττωθεί ο χρόνος του ανοίγματος, γίνεται ανάμειξη των στρωμάτων ζύμης - λίπους και η δομή δεν είναι σωστή, με συνέπεια ανομοιόμορφοι διάγκωση του τελικού προϊόντος. Το κλασικό μηχάνημα που χρησιμοποιείται για το άνοιγμα του φύλλου σφολιάτας, είναι η σφολιατομηχανή. Σφολιατομηχανές υπάρχουν από τις απλές με κινούμενους ιμάντες, που η φορά τους αλλάζει με χειρισμό με το χέρι ή με ποδόπληκτρο και το πάχος του φύλλου ρυθμίζεται με χειρομοχλό, έως τις υπεραυτόματες με ηλεκτρικά συστήματα για τον ακριβή έλεγχο του πάχους και έως 20 προγράμματα λειτουργίας.

Οι μικρές και μεσαίες βιοτεχνίες σφολιάτας χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες σφολιατομηχανές διαφόρων τύπων για το άνοιγμα - δίπλωμα . Οι μεγάλες βιοτεχνίες προϊόντων σφολιάτας και κρουασάν χρησιμοποιούν συγκροτήματα με πολλαπλές κεφαλές για διαδοχικές μειώσεις του πάχους του φύλλου της σφολιάτας (φωτ. 3), σε συνδυασμό με μεταφορικούς ιμάντες και διάφορες άλλες διατάξεις κατά περίπτωση. Τα διπλώματα γίνονται με το χέρι ή αυτόματα .

Τελικά το φύλλο της σφολιάτας, είτε τυλίγεται σε ρολά που στη συνέχεια τροφοδοτούν τα συγκροτήματα κοπής και διαμόρφωσης, είτε οδηγείται σε κάποιο αυτόματο συγκρότημα κοπής και διαμόρφωσης.

4.2.4 Κοπή και Διαμόρφωση

Στις μικρές βιοτεχνίες η κοπή του φύλλου της σφολιάτας, γίνεται χειροκίνητα με διάφορα εργαλεία και η διαμόρφωση με το χέρι. Οι μεσαίες και μεγάλες βιοτεχνίες χρησιμοποιούν ημιαυτόματα και αυτόματα συγκροτήματα κοπής - διαμόρφωσης, με αποδόσεις που φτάνουν αρκετές χιλιάδες κομμάτια την ώρα. Για τη βιομηχανική παραγωγή προϊόντος σφολιάτας κατασκευάζονται ειδικά αυτόματα συγκροτήματα προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες προδιαγραφές του προϊόντος.

Η σχηματική διάταξη ενός υπεραυτόματου συγκροτήματος φαίνεται στο σχήμα 3.

4.2.5 Ωρίμανση

Για τη σωστή ωρίμανση των προϊόντων που παράγονται σε βιοτεχνία ή βιομηχανία, είναι απαραίτητα ο έλεγχος της θερμοκρασίας (συνήθως 38 °C έως 40 °C) και της σχετικής υγρασίας (80%) μέσα στο θάλαμο ωρίμανσης (στόφα). Η θερμοκρασία πρέπει να ελέγχεται με θερμοστάτη και η υγρασία ανεξάρτητα, με υγραστάτη. Για μία ομοιόμορφη διανομή της θερμότητας είναι απαραίτητη η βιασμένη κυκλοφορία του αέρα ανάμεσα στα προϊόντα. Οι θερμοθάλαμοι για τις μικρές βιοτεχνίες μπορεί να είναι με ράφια που δέχονται τις λαμαρίνες με τα προϊόντα. Για τις μεσαίες και μεγάλες βιοτεχνίες, μπορεί να δέχονται καρότσια με τις λαμαρίνες ή να είναι συνεχούς ροής (αυτόματοι). Η χωρητικότητα των θερμοθαλάμων σε προϊόντα πρέπει να είναι τουλάχιστον τριπλάσια, από τη χωρητικότητα των φούρνων, ώστε να γίνεται η ωρίμανση με κανονικό ρυθμό.

4.2.6 Ψήσιμο

Η θερμοκρασία του φούρνου για να ψηθούν σωστά τα προϊόντα της σφολιάτας, πρέπει να είναι από 220 έως 250 °C. Αν ο φούρνος έχει χαμηλή θερμοκρασία, το λίπος που ενσωματώνεται στη ζύμη κατά το βουτύρωμα, βγαίνει από τα προϊόντα (τρέχει) και τα προϊόντα δεν έχουν την κανονική διόγκωση. Οι φούρνοι με κυκλοφορία αέρα (σχ. 4) δίνουν καλά αποτελέσματα, αρκεί να έχουν την κατάλληλη

θερμική ισχύ και σωστή κυκλοφορία αέρα. Το μέγεθος του κατάλληλου φούρνου και ο αριθμός των απαιτούμενων φούρνων, για κάθε παραγωγική μονάδα, καθορίζεται με απλό υπολογισμό, σύμφωνα με την επιθυμητή παραγωγή. Ο πιο οικονομικός τρόπος θέρμανσης των φούρνων για βιοτεχνίες είναι με καυστήρα πετρελαίου, όπου η καμινάδα για τα καυσαέρια είναι απαραίτητη. Η θέρμανση με ηλεκτρική ενέργεια έχει το υψηλότερο κόστος. Στις μεγάλες βιοτεχνίες και βιομηχανίες η θέρμανση γίνεται με φυσικό αέριο, που δίνει αρκετά χαμηλό κόστος.

4.2.7 Συσκευασία

Η συσκευασία είναι το τελευταίο κομμάτι της γραμμής παραγωγής (σχ. 5). Τα προϊόντα πρέπει να συσκευάζονται για την ασφάλεια και τη συντήρησή τους. Βοηθάει σημαντικά στην προώθηση των πωλήσεων του προϊόντος και στηρίζει κατά ένα μεγάλο ποσοστό την επιτυχία της εταιρείας .

Η καλή συσκευασία και η σωστή εμφάνιση του προϊόντος προδιαθέτει τον καταναλωτή να το αγοράσει. Σε συνδυασμό βέβαια με την καλή ποιότητα του προϊόντος, ο καταναλωτής συνεχίζει να το αγοράζει.

4.3 ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

Το αλεύρι φτάνει στο χώρο του εργοστασίου, μέσα σε βυτιοφόρο αυτοκίνητα . Αμέσως ενημερώνεται το χημείο του εργοστασίου, το οποίο στέλνει τον υπεύθυνο χημικό, να πάρει δείγμα από την παρτίδα του αλεύρου, που έφτασε στο εργοστάσιο. Στη συνέχεια γίνεται ο εργαστηριακός έλεγχος, τα αποτελέσματα του οποίου, θα μας οδηγήσουν στην παραλαβή, (δηλαδή η ποιότητα είναι μέσα στις προβλεπόμενες προδιαγραφές της εταιρείας), ή όχι του βυτιοφόρου. Σε περίπτωση που η ανάλυση του δείγματος αλεύρου, δώσει αποτέλεσμα έξω από τις προβλεπόμενες προδιαγραφές, τότε ενημερώνεται ο τεχνολογικός διευθυντής του εργοστασίου. Αυτός αφού ελέγξει τις αναλύσεις του χημείου και επιβεβαιώσει την κατάσταση, επιστρέφει

το βυτιοφόρο στον προμηθευτή του (αλευροβιομηχανία), ενημερώνοντας αυτόν και τη διεύθυνση του εργοστασίου. Τις περισσότερες φορές όμως η ποιότητα του αλεύρου είναι η σωστή και παραλαμβάνεται. Η μεταφορά του αλεύρου γίνεται από την αντλία αέρος χαμηλής πίεσης, περίπου 1 bar, που έχει το ίδιο το βυτιοφόρο, μέσα στο σιλό. Η χωρητικότητα του σιλό είναι 40tn. Το αλεύρι με τη σειρά του μεταφέρεται αυτόματα στον κάδο ζύμης του míxer. Ένας αντίστοιχος αυτοματισμός, γίνεται και με το νερό της ζύμης. Τα πρόσθετα υλικά που απαιτεί η συνταγή (ζάχαρη, μαγιά), επειδή οι ποσότητες είναι πολύ μικρές, τις βάζει χειροκίνητα ο εργαζόμενος στο ζυμωτήριο (ζυμωτής). Ο χρόνος ζύμωσης διαρκεί 20 min., με χρόνο προετοιμασίας συνταγής 5 min. Μετά την ολοκλήρωση του ζυμώματος, ο ζυμωτής μεταφέρει τον κάδο στην ανατροπή για να τροφοδοτήσει τη ζύμη στο χώρο λαμιναρίσματος.

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει το βουτύρωμα της ζύμης, άνοιγμα - δίπλωμα και τελικό άνοιγμα του φύλλου, κοπή και διαμόρφωση του προϊόντος (κρουασανομηχανή φωτ. 6). Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα και το μόνο που απαιτεί είναι την παρουσία ενός χειριστού, που παρακολουθεί και ελέγχει τα μηχανήματα στο χώρο λαμιναρίσματος. Σε αυτό το χώρο αποθηκεύονται μικρές ποσότητες βουτύρου (των 100 kg.), όπου ο χειριστής τροφοδοτεί το εξτρουόντερ βουτύρου (φωτ. 1).

Στην έξοδο της κρουασανομηχανής, υπάρχει ένας εργάτης που ελέγχει τη σωστή μορφή του κρουασάν και την τοποθέτησή του μέσα στις λαμαρίνες. Στη συνέχεια αυτόματα οι λαμαρίνες τοποθετούνται σε καρότσια που με τη σειρά τους μπαίνουν στο χώρο ωρίμανσης. Εκεί παραμένουν για ένα χρονικό διάστημα, μέχρι να αποκτήσει το προϊόν το σωστό μέγεθος.

Το ψήσιμο του προϊόντος γίνεται αυτόματα. Τα καρότσια βγαίνουν από το θάλαμο ωρίμανσης και οι λαμαρίνες διατάσσονται στη σειρά για να μπουν στο φούρνο. Ο φούρνος αποτελείται από μεταλλική μεταφορική ταινία, που κινείται με την ταχύτητα της γραμμής. Θεωρούμε σαν χρόνο ψησίματος, το χρόνο από την είσοδο του προϊόντος στο φούρνο, μέχρι την έξοδό του από αυτόν (15 min.).

Μετά το ψήσιμο το προϊόν περνάει στην τελική διαδικασία της συσκευασίας. Ένας πολύ καλά εκπαιδευμένος χειριστής, ελέγχει συνέχεια τις συσκευαστικές μηχανές και παρακολουθεί το κλείσιμο του φακέλου (το κλείσιμο πρέπει να είναι αεροστεγές). Ο χώρος συσκευασίας περιλαμβάνει δύο μηχανές, που η κάθε μηχανή έχει δυνατότητα παραγωγής 100 τεμάχια ανά λεπτό. Συνεπώς η συνολική

δυνατότητα παραγωγής είναι 2 μηχανές ανά 100 τεμ. / min. = 200 τεμ./ min. επί 60 min. / h.= 12000 τεμ./ h .

Το τελικό προϊόν οδηγείται με μεταφορική ταινία .Δίπλα από την ταινία υπάρχουν τέσσερις εργάτριες που χειροκίνητα τοποθετούν το προϊόν σε χαρτοκιβώτια, αυτά με τη σειρά τους τοποθετούνται πάνω σε μεταφορική ταινία και παραλαμβάνονται από έναν εργάτη που χτίζει την παλέτα και τη μεταφέρει έξω από το χώρο παραγωγής, στην αποθήκη ετοιμού προϊόντος. Η όλη διαδικασία απαιτεί και έναν αποθηκάριο, ο οποίο προετοιμάζει και προμηθεύει με πρώτες ύλες το ζυμωτήριο με μαγιά, ζάχαρη, το λαμινατόριο με βούτυρο, τη συσκευασία με πολυπροπυλένια, χαρτοκιβώτια και παλέτες. Επίσης για την καθαριότητα της γραμμής υπεύθυνη είναι η επιμελήτρια η οποία, όπως και οι άλλοι εργαζόμενοι, ελέγχονται από τον προϊστάμενο βάρδιας. Για τη σωστή λειτουργία των μηχανημάτων υπεύθυνοι είναι ο μηχανικός και ο ηλεκτρολόγος βάρδιας.

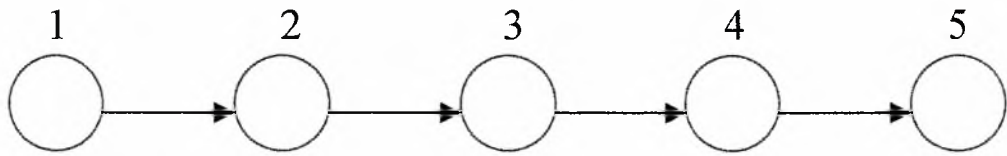
Άρα μία αυτόματη γραμμή παραγωγής κρουασάν, πρέπει να διαθέτει σε εργατικό δυναμικό:

Προϊστάμενος	άτομο 1
ζυμωτήριο	άτομο 1
λαμινατόριο	άτομο 1
έξοδος κρουασανομηχανής	άτομο 1
χώρος ωρίμανσης	άτομο 1
χειριστής συσκευασίας	άτομο 1
γυναίκες συσκευασίας	άτομα 4
παλέτα	άτομο 1
αποθηκάριος	άτομο 1
επιμελήτρια	άτομο 1
μήχανικος	άτομο 1
ηλεκτρολόγος	άτομο 1

ΣΥΝΟΛΟ

άτομα 15.

4.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



Σταθμός εργασίας 1: Ζυμωτήριο

$T_1=25\text{min}$, r_{b1}

Σταθμός εργασίας 2: Λαμινατόριο & σχημα-
τισμός προϊόντος

$T_2=30\text{min}$, r_{b2}

Σταθμός εργασίας 3: Θάλαμος ωρίμανσης

$T_3=220\text{min}$, r_{b3}

Σταθμός εργασίας 4: Φούρνος ψησίματος

$T_4=15\text{min}$, r_{b4}

Σταθμός εργασίας 5: Συσκευασία

$T_5=1\text{min}$, r_{b5}

με

$$T_0=T_1+T_2+T_3+T_4+T_5=291\text{min}$$

4.5 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

Η γραμμή παραγωγής που εξετάζουμε έχει ικανότητα παραγωγής 9.600 τεμάχια ανά ώρα .

Η φύση του προϊόντος απαιτεί όλους τους σταθμούς εργασίας να εργάζονται, με τον ίδιο ρυθμό μπουτλιαρίσματος. Αν υποθέσουμε ότι $r_{b,4} > r_{b,3}$ τότε θα δημιουργούνται κενά μέσα στο φούρνο, με αποτέλεσμα πολλά ποιοτικά προβλήματα. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται αν $r_{b,4} < r_{b,3}$ δηλαδή ο φούρνος, δε μπορεί να απορροφήσει την παραγωγή. Στο ίδιο αποτέλεσμα θα καταλήγαμε αν εξετάζαμε και τους άλλους σταθμούς εργασίας (1-2, 2-3, 3-4).

Άρα $r_{b,1} = r_{b,2} = r_{b,3} = r_{b,4} = 9.600$ τεμάχια ανά ώρα .

Συσκευασία :

Θέλουμε να συσκευάσουμε $9.600 \text{ τεμ./h} \setminus 60\text{min.} = 160 \text{ τεμ./min.}$ Γνωρίζουμε ότι μια συσκευαστική μηχανή μπορεί να παράγει χωρίς προβλήματα (φύρας προϊόντος) 30 τεμ./min. Για να μπορέσω να απορροφήσω την παραγωγή έχω την ανάγκη δύο (2) συσκευαστικών μηχανών, $2 \text{ μηχανές} * 30 \text{ τεμ./min.} = 180 \text{ τεμ./min.}$

$$180 \text{ τεμ./h} * 60\text{min.} = 10.800 \text{ τεμ./h.}$$

Κάθε 1h η συσκευαστική μηχανή σταματάει για αλλαγή χαρτιού και ρύθμιση αυτού, περίπου $3,5 \text{ min.}$ Έτσι έχουμε :

$$2 \text{ μηχανές} * 3,5\text{min.} = 7 \text{ min.}$$

$$7 \text{ min.} * 180 \text{ τεμ./min.} = 1.260 \text{ τεμ.}$$

Δηλαδή κάθε ώρα χάνω παραγωγικά από το σταμάτημα της συσκευασίας 1.260 τεμάχια .

$$10.800 \text{ τεμ./h} - 1.260 \text{ τεμ./h} = 9.540 \text{ τεμ./h.}$$

Άρα $r_{b,5} = 9.600 \text{ τεμ./h.}$

Φούρνος :

Δεδομένο : $r_{b,4}=9.600$ τεμ./h. και $T_4 = 15 \text{ min} = \frac{1}{4} h$

Για κάθε επίπεδο WIP, ο λόγος WIP προς το χρόνο κύκλο, ισούται με την παροχή. Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως ο νόμος του Little:

$$TH = \frac{WIP}{CT}$$

Ο νόμος του Little, ισχύει για όλες τις γραμμές παραγωγής και όχι μόνο γι' αυτές με μηδενική μεταβλητότητα . Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σ' ένα σταθμό εργασίας, μία γραμμή, ή ένα ολόκληρο εργοστάσιο.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε $TH = r_{b,4} = 9.600$ τεμ./h.

$$WIP = TH * CT = 9.600 * \frac{1}{4} * \frac{\text{τεμ}}{h} = 2.400 \text{ τεμ.}$$

Δηλαδή η χωρητικότητα του φούρνου είναι 2.400 τεμάχια .

Χώρος ωρίμανσης:

Για να έχουμε ωρίμανση με κανονικό ρυθμό, θα πρέπει η χωρητικότητα του θερμοθαλάμου σε προϊόντα να είναι:

$$220 \text{ min} * 160 \text{ τεμ/} \text{min} = 35200 \text{ τεμάχια}$$

με $r_{b,3} = 9600$ τεμάχια ανά ώρα και $T_3 = 220 \text{ min}$

Ζυμωτήριο:

Ζητάμε 70gr. κρουασάν ζυμάρι (60gr. κρουασάν ψημένο), έτσι έχουμε:

$$70\text{gr.} * 9600 \text{ τεμάχια} = 672000\text{gr.} = 672\text{kgr.} \text{ ζύμη την ώρα .}$$

Έχοντας $T_1 = 25\text{min.}$ (20min. χρόνος ζυμώματος και 5min. χρόνος προετοιμασίας).

Επειδή η συνταγή απαιτεί 30% βούτυρο, που τοποθετείται στο λαμινατόριο, τότε τα πραγματικά κιλά ζύμης στο ζυμωτήριο είναι:

$$672\text{kgr.} - 155,10\text{kgr.} = 516,90 \text{ kgr.} \text{ ζύμης την ώρα .}$$

Την ποσότητα αυτή έχω τη δυνατότητα να τη μοιράσω σε δύο δόσεις την ώρα, δηλαδή: $516,90\text{kgr.} / 2 = 258,45 \text{ kgr.}$ ζύμης η κάθε δόση.

Λαμινάρισμα και σχηματισμός προϊόντος :

Το λαμινατόριο θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να απορροφάει 516,90 kgr. ζύμης, προσθέτοντας σε αυτό και 155,10kgr. βούτυρο, έχουμε :

$516,90\text{kgr.}$ ζύμης + $155,10\text{kgr.}$ βούτυρο = 672kgr. τελικής ζύμης την ώρα . Αυτό είναι εφικτό έχοντας $r_{b,2} = 9.600$ τεμάχια ανά ώρα . Δεδομένου ότι

$$T_2 = 30 \text{ min} = \frac{1}{2} h \text{ , τότε από το νόμο του Little έχω :}$$

$$TH = \frac{WIP}{CT} \Rightarrow WIP = TH \cdot CT = 9600 * \frac{1}{2} * \frac{\tau_{εμ}}{h} * h = 4800 \text{ τεμάχια}$$

$$4.800 \text{ τεμάχια} * 70\text{gr.} = 336000\text{gr.} = 336\text{kgr.}$$

Δηλαδή στο χώρο του λαμινατορίου, υπάρχουν 336kgr. τελικής ζύμης.

Μέτρηση του συντελεστή συμφόρησης:

Ο συντελεστής ορίζεται ως: $\alpha = \frac{W_0}{W_0 - 1} \left[\frac{C(W_0)}{T_0} - 1 \right]$ με

$C(W_0)$: πραγματικός χρόνος κύκλος στο κρίσιμο επίπεδο WIP.

T_0 : καλύτερος δυνατός χρόνος κύκλος.

Εφαρμόζοντας τον τύπο, για το σταθμό εργασίας 4 (φούρνο ψησίματος) έχουμε:

$$C(W_0) = 15,5 \text{ min}$$

$$T_0 = 15 \text{ min}$$

$$W_0 = 2400 \text{ τεμάχια}$$

$$\text{άρα το } \alpha = \frac{2400}{2400 - 1} \left[\frac{15,5}{15} - 1 \right] = 0,0333$$

Το α είναι μεταξύ του 0 και του 1, βρισκόμαστε μέσα στην καλή περιοχή και επειδή τείνει να πλησιάζει προς το μηδέν, άρα είμαστε στην καλύτερη περίπτωση.

5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

5.1 ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Κάθε σταθμός εργασίας στην γραμμή παραγωγής κρουασάν υφίσταται βλάβες διαφορετικού τύπου.

Για να κατανοήσουμε την ανάλυση βλαβών στη γραμμή παραγωγής κρουασάν θα πρέπει να ορίσουμε για κάθε σταθμό εργασίας j:

λ_{ij} : μέσος ρυθμός βλάβης τύπου i ενώ λειτουργεί ο σταθμός εργασίας j για j=1,2,3,4,5.

r_{ij} : μέσος ρυθμός επισκευής της βλάβης τύπου i ενώ είναι σταματημένος ο σταθμός εργασίας j για j=1,2,3,4,5.

$M.T.T.F. = \frac{1}{\lambda_{ij}}$ (Mean time to failure): μέση τιμή του χρόνου ζωής χωρίς βλάβη ή

μέσος χρόνος μέχρι την πρώτη βλάβη τύπου i του σταθμός εργασίας j.

$M.T.T.R. = \frac{1}{r_{ij}}$ (Mean time to repair): μέση τιμή του χρόνου επισκευής της

βλάβης τύπου i στον σταθμός εργασίας j.

Θεωρούμε ότι η γραμμή παραγωγής λειτουργεί τρίς (3) βάρδιες την ημέρα ,5 ημέρες την εβδομάδα και ο μήνας έχει 22 εργάσιμες ημέρες. Επίσης όλες οι μετρήσεις γίνονται στη γραμμή που παράγει με ρυθμό 9600 τεμάχια ανά ώρα άρα :

1 μήνας=22 εργάσιμες ημέρες * 24 h = 528 εργάσιμες ώρες .

Η διαθεσιμότητα του κάθε σταθμού εργασίας υπολογίζεται από τον τύπο [1] :

$$A_j = \frac{1}{1 + \sum_i^n \frac{\lambda_{ij}}{r_{ij}}} \quad (1)$$

για j=1,2,3,4,5 και i=1,2,3...

Ακολουθούν οι τιμές MTTF και MTTR για όλους τους τύπους βλαβών τους σταθμούς εργασίας.

5.1.1 Ζυμωτήριο (j=1)

A/A	ΒΛΑΒΕΣ	M.T.T.R.	M.T.T.F.
1	Πτώση θερμικού στο σιλό αλεύρου	10 min	528 ώρες
2	Ρύθμιση το φωτοκύτταρο της παγομηχανής	10 min	264 ώρες
3	Έλλειψη freon από την παγομηχανή	2 ώρες	1584 ώρες
4	Αντικατάσταση μειωτήρα στο κάδο ζύμης του Mixer	3 ώρες	792 ώρες
5	Αντικατάσταση σπασμένου μπράτσου στο Mixer	1 ώρα	6336 ώρες
6	Αντικατάσταση ρόδα κίνησης στο Mixer	20 min	6336 ώρες
7	Ρύθμιση τερματικού διακόπτη στο Mixer	15 min	3168 ώρες

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΖΥΜΩΤΗΡΙΟΥ

$$\lambda_1 = 1,89 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_1} = \frac{1}{6} h, \quad \frac{\lambda_1}{r_1} = 3,15 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_2 = 3,78 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_2} = \frac{1}{6} h, \quad \frac{\lambda_2}{r_2} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_3 = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_3} = 2h, \quad \frac{\lambda_3}{r_3} = 1,26 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_4 = 1,26 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_4} = 3h, \quad \frac{\lambda_4}{r_4} = 3,78 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_5 = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_5} = 1h, \quad \frac{\lambda_5}{r_5} = 1,57 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_6 = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_6} = \frac{1}{3}h, \quad \frac{\lambda_6}{r_6} = 5,26 \cdot 10^{-5}$$

$$\lambda_7 = 3,15 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_7} = \frac{1}{4}h, \quad \frac{\lambda_7}{r_7} = 7,89 \cdot 10^{-5}$$

$$\sum_{i=1}^7 \frac{\lambda_{i1}}{r_{i1}} = 6,274 \cdot 10^{-3} \quad \text{με} \quad i=1,2,\dots,7$$

άρα η διαθεσιμότητα του ζυμωτηρίου από τον τύπο (1) είναι :

$$A_1 = \frac{1}{1 + 6,274 \cdot 10^{-3}} = 0,9937$$

5.1.2 Λαμινατόριο - Κρουασανομηχανή (j=2)

A/A	ΒΛΑΒΕΣ	M.T.T.R.	M.T.T.F.
8	Αλλαγή ρουλεμάν στο exdruiter ζύμης του λαμινατορίου	16 ώρες	12672 ώρες
9	Αλλαγή μεταφορικής ταινίας προϊόντος	1,5 ώρες	3168 ώρες
10	Προβληματική λειτουργία πολλαπλών ζύμης	3 ώρες	6336 ώρες
11	Αντλία βουτύρου	3 ώρες	6336 ώρες
12	Μαχαίρια κοπής ζύμης	5 ώρες	6336 ώρες
13	Ρύθμιση μαγνητικών μπουκάλας βουτύρου	10 min	1056 ώρες
14	Αλλαγή inverter στον ηλεκτρολογικό πίνακα	30 min	6336 ώρες
15	Ρύθμιση το φωτοκύτταρο ζύμης	15 min	1584 ώρες
16	Χρονισμός γραμμής	10 min	264 ώρες
17	Ασφαλιστικά των προστατευτικών	10 min	528 ώρες
18	Χρονισμός ιμάντων κίνησης κρουασανομηχανής	1 ώρα	24 ώρες
19	Αλλαγή ιμάντων χρονισμού κρουασανομηχανής	4 ώρες	1584 ώρες
20	Αλλαγή ταινιών τσόχας κρουασανομηχανής	1 ώρες	120 ώρες
21	Τρυγονάκια κρουασανομηχανής	4 ώρες	6336 ώρες
22	Φρακάρισμα λαμαρινών (πλυντήριο λαμαρινών ή στο καρότσι φόρτωσης)	1 ώρα	24 ώρες
23	Σύστημα λαδώματος λαμαρίνας	1 ώρα	24 ώρες

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ
ΛΑΜΙΝΑΤΟΡΙΟΥ-ΚΡΟΥΑΣΑΝΟΜΗΧΑΝΗΣ

$$\lambda_8 = 7,89 \cdot 10^{-5} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_8} = 16h \quad \frac{\lambda_8}{r_8} = 1,26 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_9 = 3,156 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_9} = 1,5h \quad \frac{\lambda_9}{r_9} = 4,73 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{10} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{10}} = 3h \quad \frac{\lambda_{10}}{r_{10}} = 4,73 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{11} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{11}} = 3h \quad \frac{\lambda_{11}}{r_{11}} = 4,73 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{12} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{12}} = 5h \quad \frac{\lambda_{12}}{r_{12}} = 7,89 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{13} = 9,47 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{13}} = \frac{1}{6}h \quad \frac{\lambda_{13}}{r_{13}} = 1,57 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{14} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{14}} = \frac{1}{2}h \quad \frac{\lambda_{14}}{r_{14}} = 7,85 \cdot 10^{-5}$$

$$\lambda_{15} = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{15}} = \frac{1}{4}h \quad \frac{\lambda_{15}}{r_{15}} = 1,57 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{16} = 3,78 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{16}} = \frac{1}{6}h \quad \frac{\lambda_{16}}{r_{16}} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{17} = 1,89 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{17}} = \frac{1}{6} h \quad \frac{\lambda_{17}}{r_{17}} = 3,15 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{18} = 4,16 \cdot 10^{-2} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{18}} = 1 h \quad \frac{\lambda_{18}}{r_{18}} = 4,16 \cdot 10^{-2}$$

$$\lambda_{19} = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{19}} = 4 h \quad \frac{\lambda_{19}}{r_{19}} = 2,52 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{20} = 8,33 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{20}} = 1 h \quad \frac{\lambda_{20}}{r_{20}} = 8,33 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{21} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{21}} = 4 h \quad \frac{\lambda_{21}}{r_{21}} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{22} = 4,16 \cdot 10^{-2} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{22}} = 1 h \quad \frac{\lambda_{22}}{r_{22}} = 4,16 \cdot 10^{-2}$$

$$\lambda_{23} = 4,16 \cdot 10^{-2} \frac{1}{h} , \quad \frac{1}{r_{23}} = 1 h \quad \frac{\lambda_{23}}{r_{23}} = 4,16 \cdot 10^{-2}$$

$$\sum_{i=8}^{23} \frac{\lambda_{i2}}{r_{i2}} = 0,142 \quad \text{με} \quad i=8,9,10 \dots 23$$

άρα η διαθεσιμότητα του λαμινατορίου-κρουασανομηχανής από τον τύπο (1) είναι :

$$A_2 = \frac{1}{1 + 0,142} = 0,876$$

5.1.3 Θάλαμος Ωρίμανσης (j=3)

A/A	ΒΛΑΒΕΣ	M.T.T.R.	M.T.T.F.
24	Ανεμιστήρας	3 ώρες	1584 ώρες
25	Καθαριότητα τα μπέκ από άλατα	30 min	528 ώρες
26	Ρύθμιση θερμοκρασίας	15 min	1056 ώρες

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΜΟΥ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

$$\lambda_{24} = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} \quad , \quad \frac{1}{r_{24}} = 3h \quad \quad \frac{\lambda_{24}}{r_{24}} = 1,89 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{25} = 1,89 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h} \quad , \quad \frac{1}{r_{25}} = \frac{1}{2}h \quad \quad \frac{\lambda_{25}}{r_{25}} = 9,46 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{26} = 9,46 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h} \quad , \quad \frac{1}{r_{26}} = \frac{1}{4}h \quad \quad \frac{\lambda_{26}}{r_{26}} = 2,36 \cdot 10^{-4}$$

$$\sum_{i=24}^{26} \frac{\lambda_{i3}}{r_{r3}} = 3,07 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{άρα } A_3 = \frac{1}{1 + 3,07 \cdot 10^{-3}} = 0,9969$$

5.1.4 Φούρνος Ψησίματος (j=4)

A/A	ΒΛΑΒΕΣ	M.T.T.R.	M.T.T.F.
27	Κόψιμο την συρμάτινη μεταφορική ταινία (χαλί)	8 ώρες	5280 ώρες
28	Αντικατάσταση καδένας κίνησης χαλιού	2 ώρες	3168 ώρες
29	καυστήρες	30 min	1584 ώρες

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΦΟΥΡΝΟΥ ΨΗΣΙΜΑΤΟΣ

$$\lambda_{27} = 1,89 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{27}} = 8h, \quad \frac{\lambda_{27}}{r_{27}} = 1,51 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{28} = 3,15 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{28}} = 2h, \quad \frac{\lambda_{28}}{r_{28}} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{29} = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{29}} = \frac{1}{2}h, \quad \frac{\lambda_{29}}{r_{29}} = 3,15 \cdot 10^{-4}$$

$$\sum_{i=27}^{29} \frac{\lambda_{i4}}{r_{i4}} = 2,45 \cdot 10^{-3}$$

άρα
$$A_4 = \frac{1}{1 + 2,45 \cdot 10^{-3}} = 0,9975$$

5.1.5 Συσκευασία (j=5)

A/A	ΒΛΑΒΕΣ	M.T.T.R.	M.T.T.F.
30	Αλλαγή κινητήρα τροφοδοσίας	1 ώρα	6336 ώρες
31	Αλλαγή καρβουνάκια στα μαχαίρια	20 min	528 ώρες
32	Αλλαγή φωτοκύτταρο	15 min	3168 ώρες
33	Αλλαγή ρουλεμάν θερμοκρασίας (κάτω κόλληση)	8 ώρες	5280 ώρες
34	Συνχρονισμός μάντων κίνησης	15 min	120 ώρες
35	Αλλαγή μαχαίρια κοπής	4 ώρες	6336 ώρες
36	Αλλαγή αντιστάσεων θερμοκρασίας	40 min	3168 ώρες
37	Αλλαγή ταινίας προώθησης προϊόντος	30 min	15845 ώρες

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

$$\lambda_{30} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{30}} = 1h, \quad \frac{\lambda_{30}}{r_{30}} = 1,57 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{31} = 1,89 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{31}} = \frac{1}{3}h, \quad \frac{\lambda_{31}}{r_{31}} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{32} = 3,15 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{32}} = \frac{1}{4}h, \quad \frac{\lambda_{32}}{r_{32}} = 7,89 \cdot 10^{-5}$$

$$\lambda_{33} = 1,89 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{33}} = 8h, \quad \frac{\lambda_{33}}{r_{33}} = 1,51 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{34} = 8,33 \cdot 10^{-3} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{34}} = \frac{1}{4}h, \quad \frac{\lambda_{34}}{r_{34}} = 2,08 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{35} = 1,57 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{35}} = 4h, \quad \frac{\lambda_{35}}{r_{35}} = 6,31 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{36} = 3,15 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{36}} = \frac{4}{6}h, \quad \frac{\lambda_{36}}{r_{36}} = 2,10 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda_{37} = 6,31 \cdot 10^{-4} \frac{1}{h}, \quad \frac{1}{r_{37}} = \frac{1}{2}h, \quad \frac{\lambda_{37}}{r_{37}} = 3,15 \cdot 10^{-4}$$

$$\sum_{i=30}^{37} \frac{\lambda_{i5}}{r_{i5}} = 5,57 \cdot 10^{-3}$$

$$\acute{\alpha}\rho\alpha \quad A_5 = \frac{1}{1 + 5,57 \cdot 10^{-3}} = 0,9944$$

Το σύστημα είναι διαθέσιμο μόνο όταν όλες οι μονάδες του λειτουργούν. Έτσι, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου κάθε μονάδα επιδιορθώνεται όταν έχει βλάβη, η διαθεσιμότητα του συστήματος, για την γραμμή παραγωγής κρουασάν είναι:

- **Βλάβες εξαρτημένες από την λειτουργία** (Operation dependent failures) : Σε αυτήν την περίπτωση μια βλάβη μπορεί να συμβεί μόνον όταν η μηχανή παράγει. Συνεπώς μια βλάβη εξαρτάται από τον αριθμό των κομματιών που έχουν παραχθεί από την τελευταία επισκευή, γνωρίζοντας επίσης ότι [1] :

$$A_j = \frac{r_j}{r_j + \lambda_j} \Rightarrow \frac{1}{A_j} = 1 + \frac{\lambda_j}{r_j} \Rightarrow \frac{1}{A_j} - 1 = \frac{\lambda_j}{r_j} \quad j=1,2..5$$

Τα λ_j και r_j είναι οι ρυθμοί βλαβών και επισκευής κάθε ενός σταθμού εργασίας, άρα:

$$A_{ODF} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^5 \frac{\lambda_j}{r_j}} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^5 \left(\frac{1}{A_j} - 1\right)} = \frac{1}{1 - 5 + \sum_{j=1}^5 \frac{1}{A_j}} = \frac{1}{1 - 5 + 5,1591} = 0,8627$$

δηλαδή η διαθεσιμότητά του είναι 86,27%.

- **Βλάβες εξαρτημένες από το χρόνο** (Time dependent failures) : Σε αυτήν την περίπτωση μια βλάβη μπορεί να συμβεί είτε παράγει είτε δεν παράγει η μηχανή. Συνεπώς μια βλάβη εξαρτάται από τον χρόνο λειτουργίας της τελευταίας επισκευής. Η διαθεσιμότητα για την περίπτωση αυτή είναι :

$$A_{TDF} = \prod_{j=1}^5 A_j$$

δηλαδή $A_{TDF} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5$

$$A_{TDF} = 0,9937 * 0,876 * 0,9969 * 0,9975 * 0,9944 = 0,8607$$

Παρατηρούμε ότι A_{ODF} και A_{TDF} έχουν, για τη περίπτωση που εξετάζουμε, περίπου

την ίδια τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι σταθμοί εργασίας 1,3,4 και 5 έχουν διαθεσιμότητες περίπου στη μονάδα και μόνο ο σταθμός 2 έχει διαθεσιμότητα 0,876.

Σε αυτήν την περίπτωση, ο μόνος σταθμός που παθαίνει βλάβη είναι ο σταθμός 2, ενώ οι βλάβες όλων των άλλων σταθμών είναι αμελητέες. Στην περίπτωση όπου ένας μόνο σταθμός μπορεί να πάθει βλάβη, $A_{ODF} = A_{TDF}$.

Εμείς στη περίπτωσή μας θεωρούμε ότι η διαθεσιμότητα του συστήματος είναι :

$$A_s = A_{ODF} = 0,8627$$

δηλαδή η διαθεσιμότητα του συστήματος είναι 86,27%.

Ανάγοντας αυτό το ποσοστό στην παραγωγική διαδικασία έχουμε :

$$9600 \text{τεμ/ώρα} * 86,27 = 8282 \text{ τεμάχια ανά ώρα.}$$

Παρατηρούμε ότι η πραγματική παραγωγικότητα της γραμμής είναι 8282 τεμ./ώρα.

Επίσης το αποτέλεσμα αυτό μας φανερώνει τον γενικό κανόνα ότι η **αξιοπιστία** (και κατ' επέκταση η διαθεσιμότητα) ενός συστήματος σε σειρά είναι σίγουρα μικρότερη από την ελάχιστη αξιοπιστία (διαθεσιμότητα) των μερών του.

Η μη διαθεσιμότητα U_s , είναι το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα δεν λειτουργεί. Έτσι :

$$A_s + U_s = 1$$

$$\text{άρα} \quad U_s = 1 - 0,8627 = 0,1373$$

δηλαδή η μη διαθεσιμότητα του συστήματος είναι 13,73%.

Στο ίδιο αποτέλεσμα περίπου καταλήγουμε, αν προσθέσουμε τα ποσοστά απόδοσης παραγωγής κάθε μήνα και το διαιρέσουμε με τον αριθμό των μηνών που εξετάζουμε. Έτσι έχουμε για τους μήνες Ιανουάριο 99 – Οκτώβριο 99(Παράρτημα II):

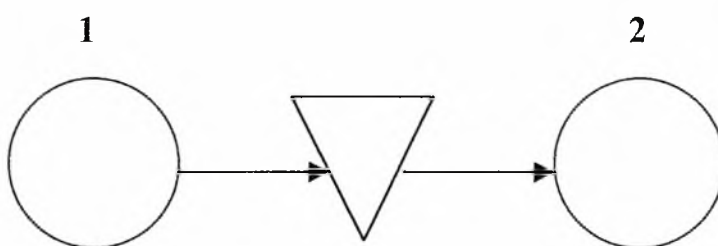
$$82,07+82,18+85,16+84,51+81,97+85,71+83,98+85,56+87,84+84,69=843,69$$

$$843,69/10=84,36$$

Δηλαδή η διαθεσιμότητα της γραμμής πειραματικά είναι 84,36%.

5.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Διαπιστώσαμε ότι στη γραμμή παραγωγής που εξετάζουμε οι σταθμοί εργασίας 1,3,4,5 έχουν αξιοπιστία περίπου 99%. Ο σταθμός εργασίας 2 είναι που παρουσιάζει το πρόβλημα, αφού η αξιοπιστία του είναι 87,6%. Για να αυξήσουμε την πραγματική παραγωγική ικανότητα του λαμινατορίου έχουμε 4 επιλογές (Κεφ.3) . Οι δυο πρώτες επιλογές είναι οικονομικά ασύμφωρες προς το παρόν και απαιτούν σημαντικές αλλαγές στα μηχανήματα. Η τρίτη επιλογή αφορά ένα καλό και λειτουργικό τρόπο' διοίκησης, όπου υφίσταται ήδη στη γραμμή παραγωγής. Προτείνουμε την τέταρτη επιλογή, δηλαδή την τοποθέτηση ενός ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου μεταξύ του λαμινατορίου-κρουασανομηχανής και του θαλάμου ωρίμανσης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σταθμός εργασίας 1: λαμινατόριο-κρουασανομηχανή

Σταθμός εργασίας 2: θάλαμος ωρίμανσης

Αυτός ο χώρος αποθήκευσης θα γεμίζει πιο γρήγορα απ'ότι αδειάζει όταν το λαμινατόριο λειτουργεί, με αποτέλεσμα ο θάλαμος ωρίμανσης να μπορεί να τροφοδοτείτε με τεμάχια για κάποιο χρονικό διάστημα, όσο το λαμινατόριο είναι σε βλάβη. Η βασική παράμετρος του χώρου αποθήκευσης είναι το μέγεθος του (N:αριθμός τεμαχίων). Λόγο της φύσης του προϊόντος ο χώρος αποθήκευσης θα πρέπει να μπορεί να συντηρεί το νωπό προϊόν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα,

ανεξάρτητα και πριν από το χρόνο ωρίμανσης. Η συντήρηση αυτή μπορεί να γίνει εάν ο χώρος αποθήκευσης λειτουργεί σε χαμηλή θερμοκρασία περίπου 5 °C. Συνεπώς πρόκειται για ένα προθάλαμο-ψυγείο.

Στόχος μας είναι να βελτιώσουμε την παραγωγική ικανότητα της γραμμής έτσι ώστε η γραμμή να μπορεί να παράγει κοντά στα 9600 τεμάχια ανά ώρα (αντί των 8282 τεμ/ώρα που παράγει κατά μέσο όρο σήμερα), δηλαδή να προσπαθήσουμε να πλησιάσουμε όσο το δυνατόν το 100% της αξιοπιστίας της γραμμής.

Θεωρούμε ότι οι βλάβες έχουν εκθετική κατανομή, οπότε η λύση του προβλήματός μας έχει την ακόλουθη μορφή [1]:

$$f(x, a_1, a_2) = C_1 e^{-\lambda_1 x} Y_{11}^{a_1} Y_{21}^{a_2} + C_2 e^{-\lambda_2 x} Y_{12}^{a_1} Y_{22}^{a_2} \quad \text{συμβολίζοντας}$$

με

x : χωρητικότητα (σε τεμάχια) του χώρου αποθήκευσης

a_i : την μηχανή i , θεωρώντας "0" την κατάσταση που είναι σταματημένη η μηχανή i και "1" την κατάσταση λειτουργίας της μηχανής i με $i=1,2$.

Με αγνώστους: $Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}, \lambda_1, \lambda_2, C_1, C_2$

Γνωρίζοντας τις τιμές των : $\mu_1=13440$ τεμάχια ανά ώρα (αύξηση 40% σε σχέση με το μ_2), και $\mu_2=9600$ τεμάχια ανά ώρα.

5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΒΛΑΒΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

5.3.1 Γενική μορφή

Έστω μια μηχανή με k διαφορετικού είδους βλάβες, έστω :

λ_i = ρυθμός βλάβης της βλάβης τύπου i όταν η μηχανή παράγει με ρυθμό μ (τεμ/ώρα)

r_i = ρυθμός επισκευής της βλάβης τύπου i με $i=1,2,3,\dots,k$

p = ρυθμός βλάβης της μηχανής

r = ρυθμός επισκευής της μηχανής

Θεωρώ ότι όταν η μηχανή δουλεύει με ρυθμό $\mu' > \mu$ ο ρυθμός βλαβών είναι μεγαλύτερος, δηλαδή η μηχανή παθαίνει βλάβη σε λιγότερο χρόνο απ' ότι αν δούλευε με το ρυθμό μ , έτσι έχουμε:

$$\lambda'_i = \frac{\mu'}{\mu} \lambda_i = \alpha \lambda_i \quad \text{με} \quad \alpha = \frac{\mu'}{\mu} \quad \text{όπου:}$$

λ'_i : ρυθμός βλάβης της βλάβης τύπου i όταν η μηχανή παράγει με ρυθμό μ' (τεμ/ώρα)

Τα p και r υπολογίζονται ως εξής:

$$p = \alpha \sum_{i=1}^k \lambda_i$$

$$\frac{1}{r} = \frac{\alpha}{p} \left(\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i} \right) \Rightarrow \frac{p}{r} = \alpha \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}$$

Συνεπώς η απόδοση (διαθεσιμότητα) της μηχανής όταν είναι απομονωμένη είναι:

$$e = \frac{r}{r+p} \Rightarrow \frac{1}{e} = \frac{r+p}{r} = 1 + \alpha \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}$$

άρα

$$e = \frac{1}{1 + \alpha \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}}$$

δηλαδή, τελικά:

$$p = \alpha \sum_{i=1}^k \lambda_i \quad \text{και} \quad r = \frac{p}{\alpha \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}} = \frac{\alpha \sum_{i=1}^k \lambda_i}{\alpha \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}} = \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{r_i}}$$

5.3.2 Υπολογισμός p_1, r_1 του λαμινατοριού ($\alpha = \mu_1 / \mu_2$)

$$p_1 = \alpha \sum_{i=8}^{23} \lambda_i = 0.14148 \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \quad \text{και} \quad r_1 = \frac{p_1}{\alpha \sum_{i=8}^{23} \frac{\lambda_i}{r_i}} = 0.9963$$

5.3.3 Υπολογισμός p_2, r_2 του θαλάμου ωρίμανσης($\alpha=1$)

$$p_2 = \sum_{i=24}^{26} \lambda_i = 0.003467 \quad \text{και} \quad r_2 = \frac{P_2}{\sum_{i=24}^{26} \frac{\lambda_i}{r_i}} = 1.12931$$

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ $Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}, \lambda_1, \lambda_2$.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε για την λύση του προβλήματος είναι [1]:

$$p_1 Y_{1-r_1} + p_2 Y_{2-r_2} = 0 \quad (2)$$

$$\mu_1 \lambda = (p_1 Y_{1-r_1})(1+Y_1)/Y_1 \quad (3)$$

$$\mu_2 \lambda = (p_2 Y_{2-r_2})(1+Y_2)/Y_2 \quad (4)$$

Από την (2) και (4) απαλείφοντας τους όρους λ και Y_2 , προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση δευτέρου βαθμού ως προς Y_1 :

$$-(\mu_2 - \mu_1) p_1 Y_1^2 + [(\mu_2 - \mu_1)(r_1 + r_2) - (\mu_1 p_1 + \mu_2 p_2)] Y_1 + \mu_2 (r_1 + r_2) = 0 \quad (5)$$

Η (5) μας δίνει δύο λύσεις για το Y_1 τις Y_{11} και Y_{12} . Αντικαταστήνοντας την τιμή Y_{11} στην (2) βρίσκω το Y_{21} και από την (3) βρίσκω το λ_1 . Αντικαταστήνοντας την τιμή Y_{12} στην (2) βρίσκω το Y_{22} και από την (3) βρίσκω το λ_2 . Η (4) είναι για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων που βρήκαμε.

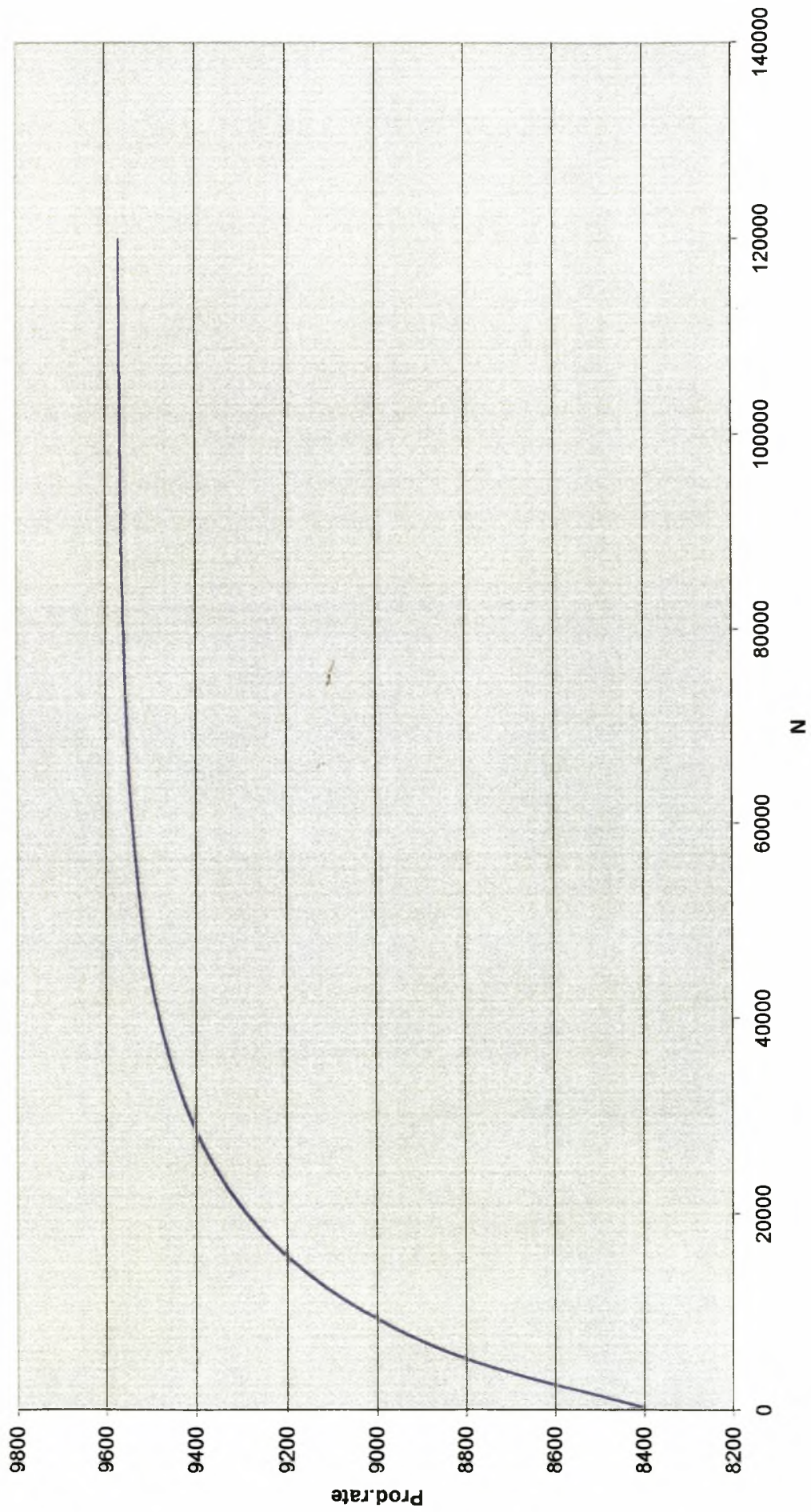
5.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ C_1, C_2

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε είναι [1]:

$$C_1 Y_{11} + C_2 Y_{12} = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{a_1=0}^1 \sum_{a_2=0}^1 \left[\int_0^N f(x, a_1, a_2) dx + p(0, a_1, a_2) + p(N, a_1, a_2) \right] = 1 \quad (7) \quad \text{όπου:}$$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΥΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



N: είναι ο μέγιστος αριθμός τεμαχίων του χώρου αποθήκευσης

P_b: πιθανότητα μπλοκαρίσματος του λαμινατορίου

Prod.rate: ρυθμός παραγωγής του συστήματος δύο σταθμών εργασίας (λαμινατορίου-κρουασανομήχανης με θάλαμο ωρίμανσης) με ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης όταν οι άλλοι σταθμοί λειτουργούν.

WIP: μέσος αριθμός τεμαχίων στο χώρο αποθήκευσης

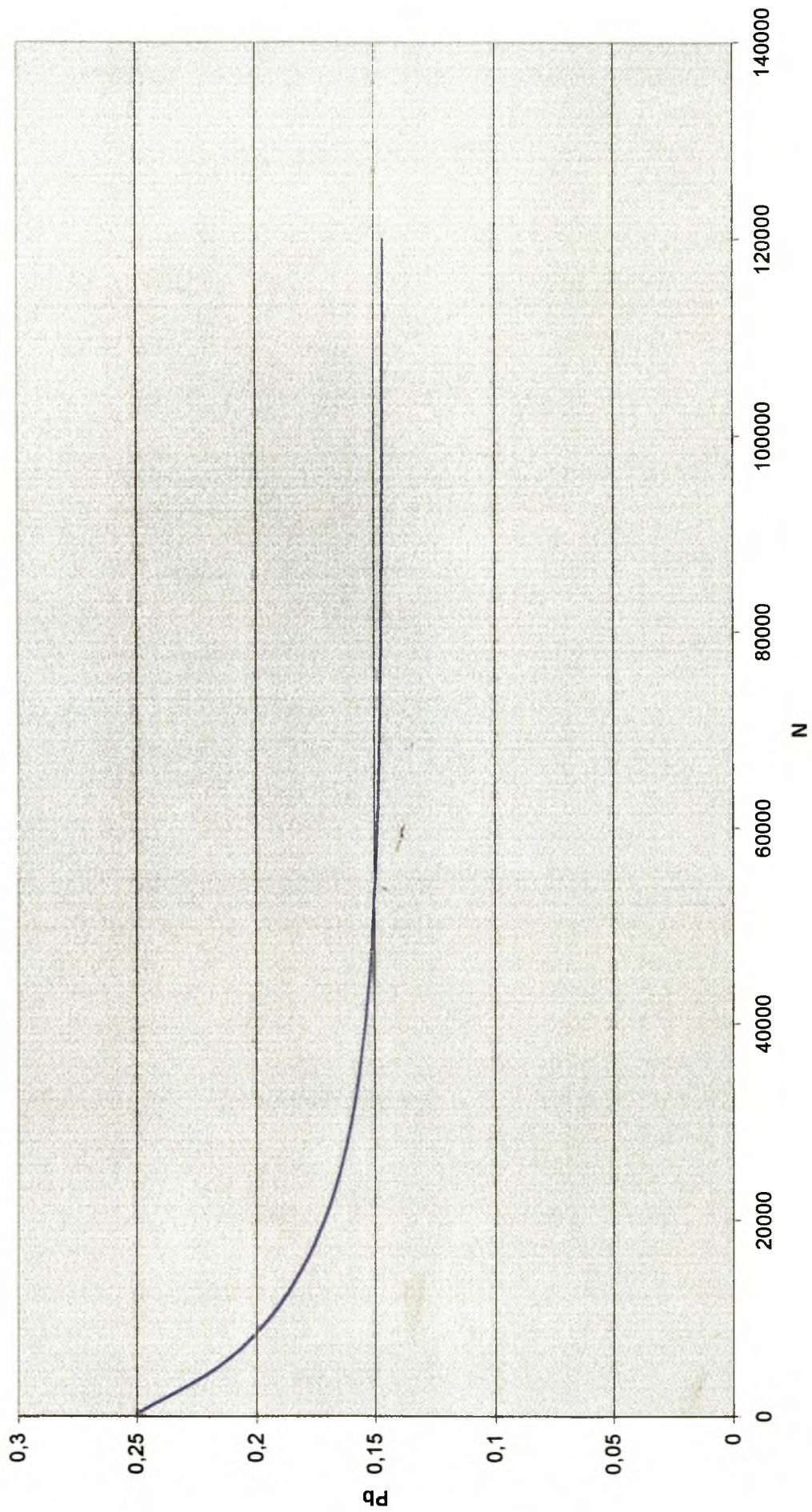
CT: μέσος χρόνος παραμονής ενός τεμαχίου στο χώρο αποθήκευσης (σε ώρες)

Λύνοντας τις εξισώσεις (2),(3),(4),(5),(6) και (7) για διαφορετικές τιμές του N έχουμε τον κάτωθι πίνακα αποτελεσμάτων (Παράρτημα III):

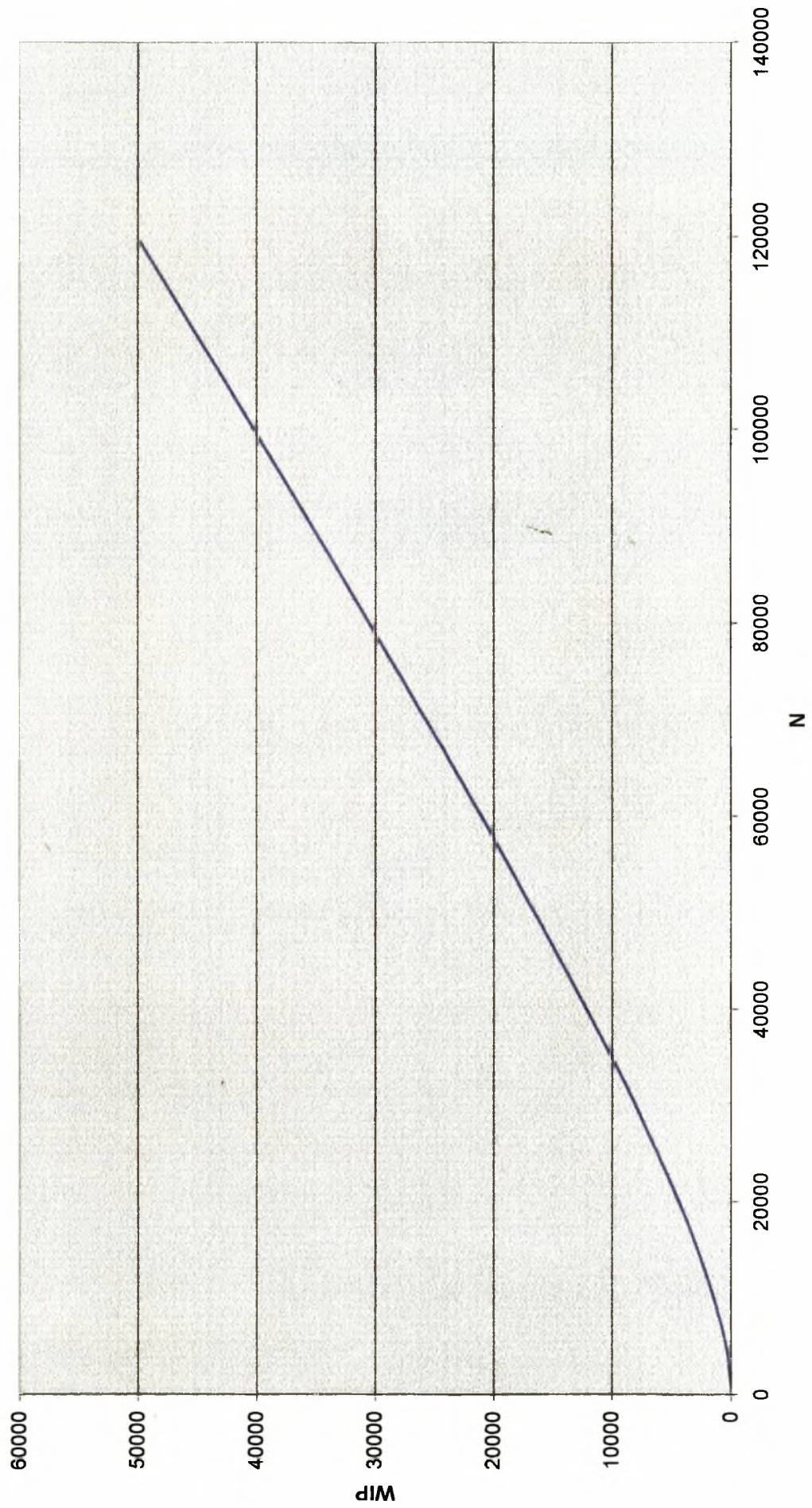
Α\Α	N	P _b	Prod.rate	WIP	CT
1	0	0.252197	8383.73	0.873305	0.00010416
2	5000	0.215950	8790.09	455.4410	0.05181300
3	10000	0.194500	9030.58	1488.620	0.16484200
4	15000	0.180716	9185.11	2860.700	0.31145000
5	20000	0.171386	9289.71	4460.510	0.48015600
6	25000	0.164848	9363.01	6227.100	0.66507500
7	30000	0.160153	9415.64	8122.570	0.86266800
8	35000	0.156724	9454.08	10120.90	1.07053000
9	40000	0.154187	9482.52	12203.00	1.28690000
10	45000	0.152293	9503.76	14354.00	1.51036000
11	50000	0.150869	9519.72	16562.30	1.73979000
12	60000	0.148976	9540.95	21112.70	2.21286000
13	70000	0.147881	9553.23	25794.70	2.70010000
14	90000	0.146867	9564.6	35399.00	3.70104000
15	120000	0.146440	9569.38	50089.50	5.23436000

Ακολουθούν τα διαγράμματα για διαφορετικές τιμές του N σε σχέση P_b, Prod.rate, WIP και CT :

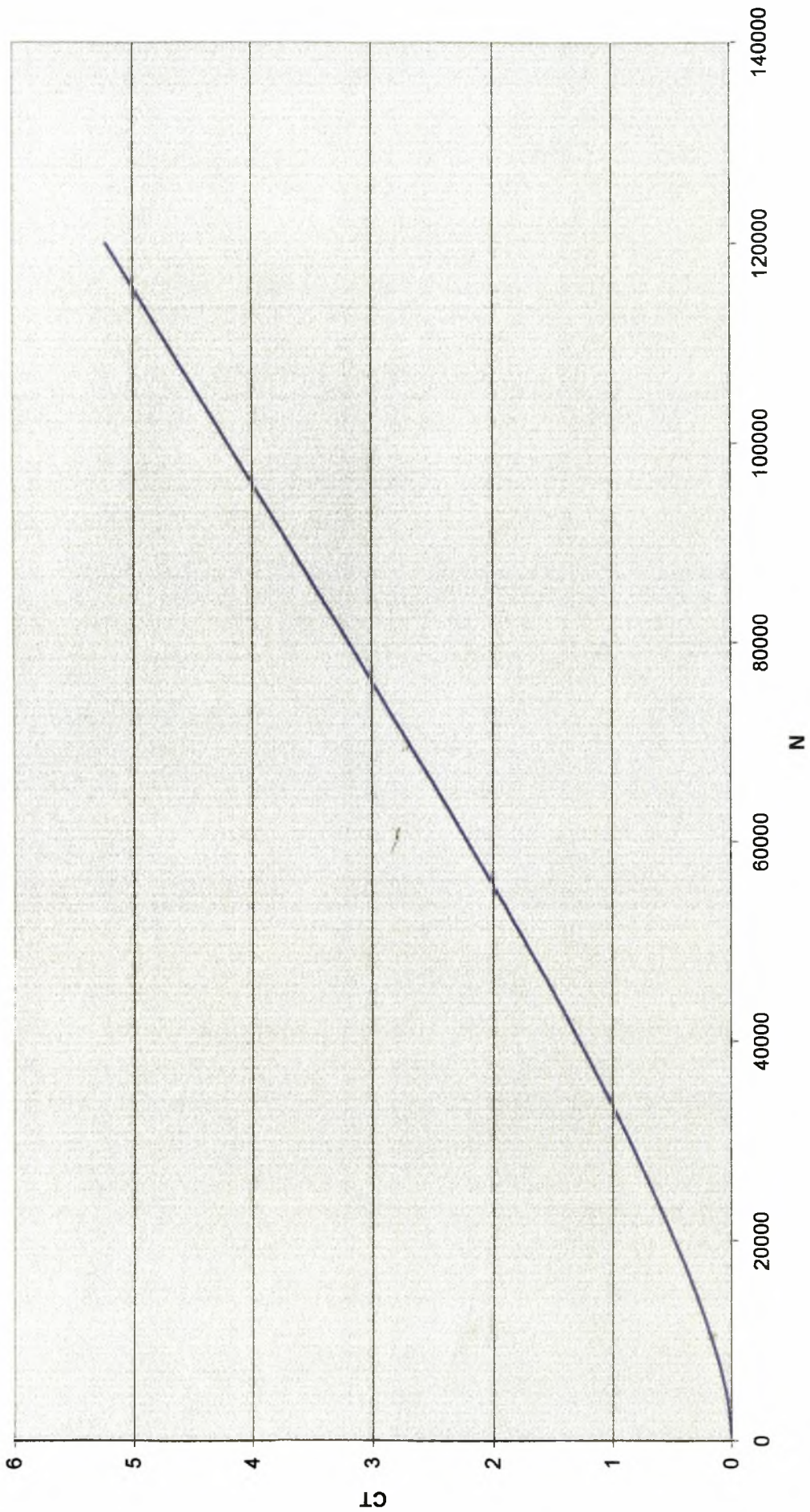
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΜΠΛΟΚΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΛΑΜΙΝΑΤΟΡΙΟΥ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΕΝΟΣ ΤΕΜΑΧΙΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ



5.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων.

Η γραμμή παραγωγής κρουσάν, χωρίζεται σε πέντε (5) σταθμούς εργασίας εν σειρά . Έχοντας τη μέγιστη παραγωγική ικανότητα της γραμμής 9.600 τεμ./ώρα, διαπιστώσαμε ότι, εξ' αιτίας των τεχνικών προβλημάτων που παρουσιάζονται στο λαμινατόριο - κρουασανομηχανή, η αξιοπιστία της γραμμής γίνεται 86,27% με παραγωγικότητα κατά μέσο όρο 8.282 τεμάχια / ώρα (κεφ. 5).

Παρατηρήσαμε επίσης, ότι υπάρχει δεσμός αλληλεξάρτησης, μεταξύ των σταθμών εργασίας της γραμμής, με αποτέλεσμα η οποιαδήποτε βλάβη του ενός απ' αυτούς, να επηρεάζει άμεσα και τους υπόλοιπους σταθμούς. Έτσι, για τη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης, προτείναμε τη σχεδιαστική λύση της τοποθέτησης χώρου αποθήκευσης μετά το σταθμό, με την πιο χαμηλή αξιοπιστία, δηλαδή αυτός που εμφανίζει τις περισσότερες βλάβες κατά τη λειτουργία του. Ο σταθμός αυτός είναι το λαμινατόριο - κρουασανομηχανή.

Με αυτό τον τρόπο ανάγαμε το πρόβλημα, στην απλή μορφή των δύο σταθμών, με ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης.

Διαπιστώνουμε ότι, για διαφορετικές τιμές του N (μέγιστος αριθμός τεμαχίων στο χώρο αποθήκευσης), έχουμε διαφορετικές τιμές για το ρυθμό παραγωγής. Επίσης παρατηρούμε ότι, όσο αυξάνουμε το N, τόσο περισσότερο τείνει η καμπύλη να πλησιάζει, την ιδανική παραγωγικότητα των 9.600 τεμαχίων / ώρα . Από το διάγραμμα της παραγωγικότητας διαπιστώνουμε επίσης ότι, από ένα σημείο και μετά, όσο αυξάνουμε το N, δεν αυξάνεται ανάλογα και ο ρυθμός παραγωγικότητας.

Θεωρώ ότι, η καλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει το N είναι 40.000 τεμάχια, δίνοντάς μου ρυθμό παραγωγής 9.483 τεμάχια / ώρα .

Η αξιοπιστία για λαμινατόριο - θάλαμο ωρίμανσης με ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης, είναι :

$$A_{2,3}=9483/9600=0,9878$$

άρα η αξιοπιστία του συστήματος είναι [1] :



$$A_s = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^5 \left(\frac{1}{A_j} - 1\right)} = \frac{1}{1 - 4 + \left(\frac{1}{0.9937} + \frac{1}{0.9878} + \frac{1}{0.9975} + \frac{1}{0.9944}\right)} = 0.9738$$

με $j=1,2,3,4,5$.

ανάγοντας το ποσοστό αυτό στην παραγωγικότητα της γραμμής έχω :

$$0,9738 * 9.600 \text{ τεμάχια / ώρα} = 9.349 \text{ τεμάχια / ώρα.}$$

Άρα η γραμμή παραγωγής κρουασάν, από τη σημερινή κατάσταση αξιοπιστίας 0,8627 και παραγωγικότητας 8.282 τεμάχια / ώρα, με την τοποθέτηση του χώρου αποθήκευσης μετά το λαμινατόριο - κρουασανομηχανή, μπορεί να μας δώσει αξιοπιστία 0,9738 και παραγωγικότητα 9.349 τεμάχια / ώρα, δηλαδή μία αύξηση της τάξεως του 12,88%.

Με την υπάρχουσα κατάσταση οποιαδήποτε βλάβη πάνω από μία ώρα και να συμβεί στους σταθμούς εργασίας 3,4,5, είμαστε αναγκασμένοι να πετάξουμε το προϊόν από τους σταθμούς 1 και 2, διότι θα είναι ακατάλληλο ποιοτικά . Η χρήση όμως του χώρου αποθήκευσης μας δίνει τη δυνατότητα, να διατηρήσουμε το προϊόν και να μην το πετάξουμε. Λειτουργεί δηλαδή σαν ένας ενδιάμεσος σταθμός όπου σε μία τυχαία βλάβη των σταθμών 3, 4, και 5 περισσότερο της μίας ώρας, ξεκινάει πάλι την παραγωγική διαδικασία από τον ενδιάμεσο σταθμό και όχι από το ζυμωτήριο. Άρα μπορούμε τον θεωρήσουμε σαν σταθμό αφετηρίας της παραγωγικής διαδικασίας, για τη περίπτωση αυτή, κερδίζοντας έτσι χρονικά για την παραγωγή:

$$T_{\zeta\upsilon\mu} + T_{\lambda\alpha\mu\upsilon\eta} = 25 + 30 = 55 \text{ min}$$

Έτσι έχουμε για το πέταγμα του προϊόντος από τους σταθμούς 1 και 2 :
 30min. προϊόν από λαμινατόριο + 25min. προϊόν από ζυμωτήριο = 4.800 + 4.800 =
 9.600 τεμάχια .

Αν υποθέσω ότι 1 τεμάχιο νωπής ζύμης = 70gr. κοστίζει 30 δρχ. έχω :

$$9.600 \text{ τεμάχια} \cdot 30 \text{ δρχ.} = 288.000 \text{ δρχ.}$$

Από το χρονικό κέρδος της παραγωγής, θεωρώντας 55δρχ. το καθαρό κέρδος\τεμ :

$$55 \text{ min} * 9349 \text{ τεμ/ώρα} * 55 \text{ δρχ.} = 471345 \text{ δρχ.}$$

Άρα το οικονομικό όφελος είναι $288.000 + 471345 = 759345 \text{ δρχ.}$

Σήμερα, για να έχω προϊόν προς συσκευασία στις 6:00 π.μ της Δευτέρας, ξεκινάω τις προετοιμασίες και το ζύμωμα στις 22:00 της Κυριακής. Με το χώρο αποθήκευσης, έχω τη δυνατότητα να παράγω και να αποθηκεύσω το προϊόν στον προθάλαμο - ψυγείο μέχρι το Σάββατο τις 6:00 π.μ. Τη Δευτέρα κατά τις 2:00 ή αυτόματα ή με την παρουσία ενός ατόμου, αρχίζω τη μεταφορά του προϊόντος, από τον προθάλαμο στο θάλαμο ωρίμανσης. Οπότε, η βάρδια έρχεται κανονικά τη Δευτέρα στις 6:00 και ξεκινάει τη συσκευασία του προϊόντος. Με αυτό τον τρόπο δε χρειάζεται να έρθει το προσωπικό την Κυριακή το βράδυ, για να ξεκινήσει το εργοστάσιο. Το οικονομικό όφελος είναι περίπου 300.000 δρχ.

5.6.1 Απόσβεση κεφαλαίου

Το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του προθαλάμου - ψυγείου 5 °C, υπολογίζεται στα 36.500.000 δρχ. Από την αύξηση της παραγωγικότητας κερδίζω σε τεμάχια : $9.349 - 8.282 = 1.067$ τεμάχια / ώρα .

$$1067 \text{τεμάχια / ώρα} * 24 \text{ώρες} * 5 \text{ημέρες} = 128.040 \text{τεμάχια / εβδομάδα} .$$

Το καθαρό κέρδος της εταιρείας ανά τεμάχιο είναι 55 δρχ. έτσι έχουμε :

$$128.40 \text{τεμάχια / εβδομάδα} * 55 \text{δρχ.} = 7.042.200 \text{δρχ. / εβδομάδα} .$$

Δηλαδή όταν το εργοστάσιο λειτουργεί 5 ημέρες την εβδομάδα, η εταιρεία κερδίζει από τη σχεδιαστική λύση του χώρου αποθήκευσης :

$$7.042.200 \text{δρχ. / εβδομάδα} + 300.000 \text{δρχ. / εβδομάδα} = 7.342.200 \text{δρχ. / εβδομάδα} .$$

Έτσι : $36.500.000 \text{δρχ. / } 7.342.200 \text{δρχ. / εβδομάδα} \sim 5 \text{εβδομάδες}.$

Άρα από τη στιγμή που θα υλοποιηθεί και εφαρμοστεί η ιδέα, σε διάστημα 5 εβδομάδων, γίνεται η απόσβεση των χρημάτων της εγκατάστασης.

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήσαμε την αυτόματη γραμμή μεταφοράς κρουασάν, που λόγω των συνεχών προβλημάτων (βλαβών) που παρουσιάζει το λαμινατόριο - κρουασανομηχανή, μειώνει αισθητά την απόδοση της γραμμής. Τούτο μας οδήγησε στην πρόταση της σχεδιαστικής λύσης τοποθέτησης χώρου αποθήκευσης, μεταξύ του λαμινατορίου - κρουασανομηχανής και του θαλάμου ωρίμανσης. Ο χώρος αυτός θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν προθάλαμος - ψυγείο, αφού λειτουργεί στους 5 °C και έχει τη δυνατότητα να συντηρεί το προϊόν, χωρίς να το αφήνει να ωριμάσει.

Η μελέτη και η ανάλυση της πρότασης μας έδωσε τα κάτωθι συμπεράσματα :

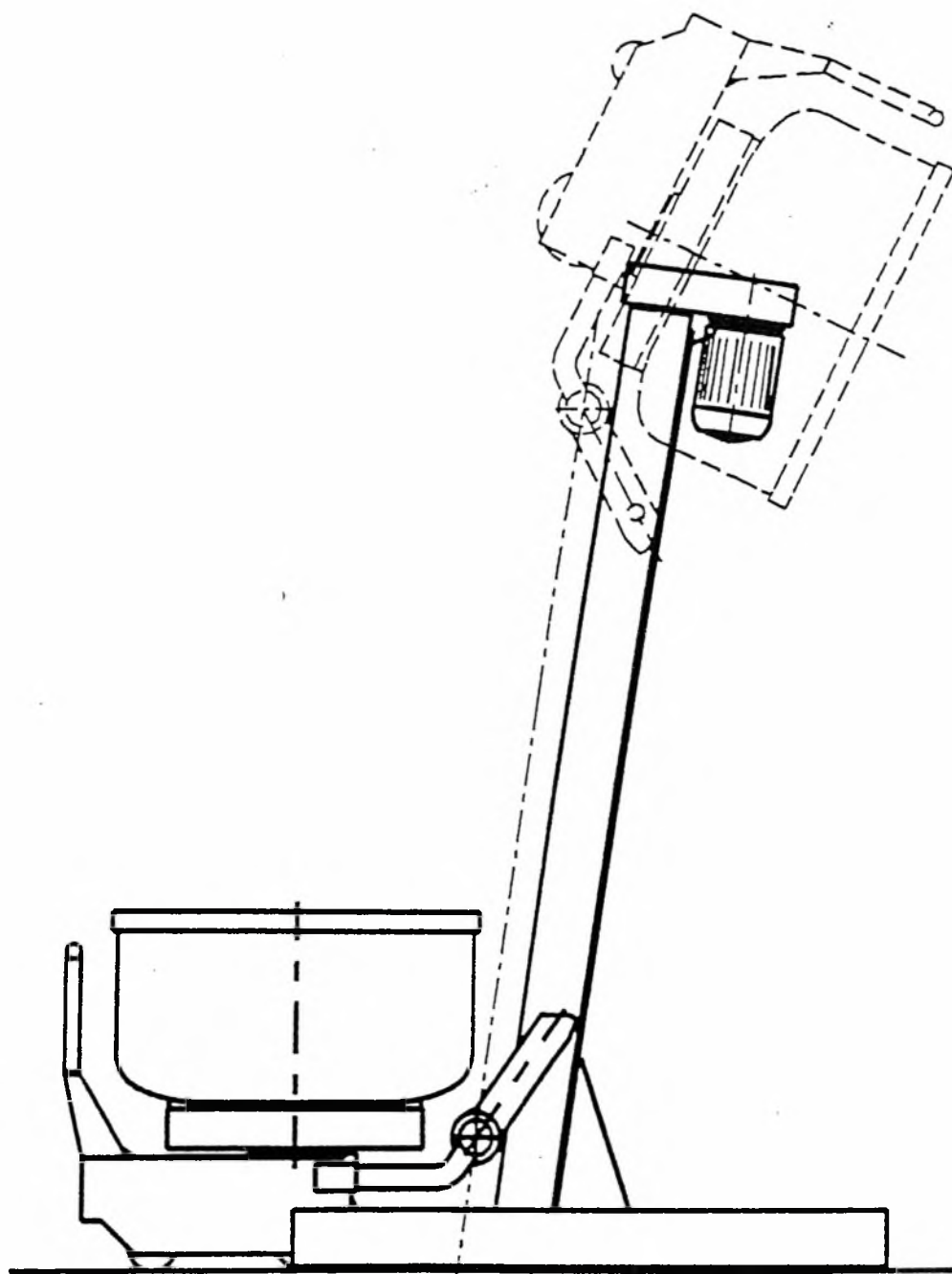
- Αύξηση της απόδοσης γραμμής από 0,8627 σε 0,9738, δηλαδή αύξηση της τάξεως του 12,88%.
- Ο προθάλαμος - ψυγείο, μπορεί να αποθηκεύσει και να συντηρήσει το προϊόν για 48 ώρες. Έτσι δίνει τη δυνατότητα να αποφύγουμε μία βάρδια κατά το ξεκίνημα του εργοστασίου κάθε εβδομάδα.
- Για οποιαδήποτε βλάβη διάρκειας, πάνω από 1 ώρα, που συμβαίνει στους σταθμούς εργασίας 3,4,5, μπορούμε να αποθηκεύσουμε το προϊόν στον προθάλαμο - ψυγείο, χωρίς να το πετάξουμε, κερδίζοντας επίσης και 55 min παραγωγής.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων, μας πιστοποίησε επίσης ότι σε μικρό χρονικό διάστημα (5 εβδομάδες), γίνεται η απόσβεση κεφαλαίου της εγκατάστασης και λειτουργία του χώρου αποθήκευσης.

Σημαντική είναι η επίπτωση που θα έχει η εφαρμογή της προτεινόμενης σχεδιαστικής λύσης στο ανθρώπινο δυναμικό που εργάζεται στη γραμμή παραγωγής, όπου ισχύει το εξής : ``όταν η γραμμή λειτουργεί κανονικά (χωρίς βλάβες) έχουμε ηρεμία, όταν στη γραμμή υπάρχει πρόβλημα (βλάβες), έχουμε αναστάτωση``. Κρίνεται επίσης σκόπιμη η πειραματική εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η χρηστική του αξία. Κάτι που θα αποτελέσει και έναν από τους μελλοντικούς μας στόχους.

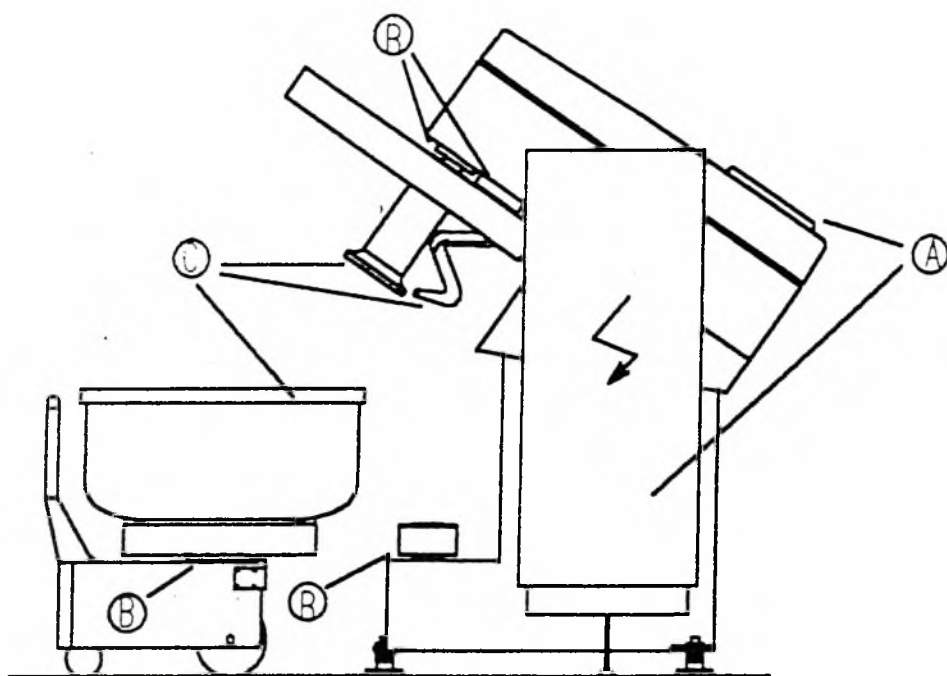
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ



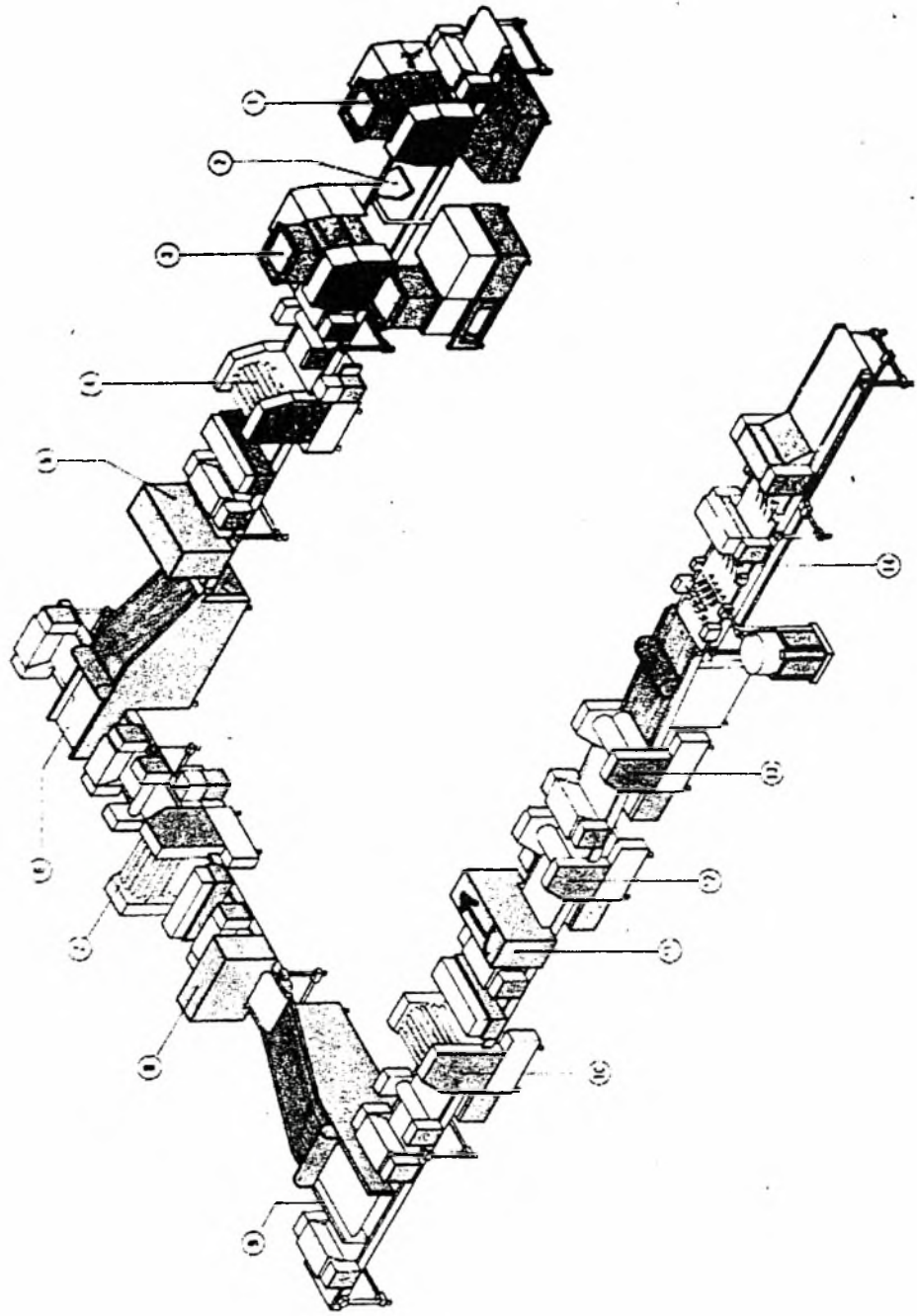
σχήμα 2

ELEVATORE ROVESCIAIORE PER VASCHE



σχήμα 1

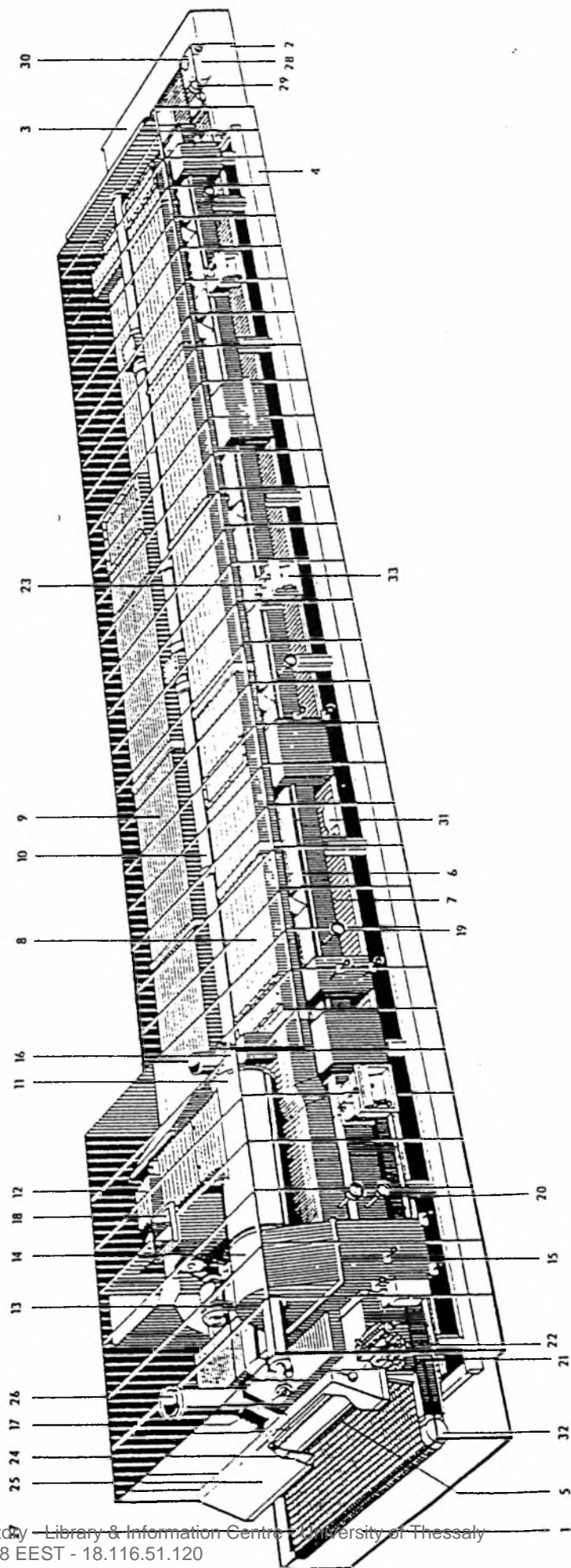
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΦΟΛΙΑΤΑΣ & ΚΡΟΥΑΣΑΝ



σχήμα 3

- Εξτρουδερ Ζύμης
- Εξτρουδερ Βουτύρου
- Εξτρουδερ Ζύμης
- Κεφαλή Multirotor
- Διάταξη για εγκάρσια διαπλάτυνση.
- Σύστημα αυτόματου διπλώματος
- Κεφαλή Multirotor.
- Διάταξη για εγκάρσια διαπλάτυνση
- Σύστημα αυτόματου διπλώματος
- Κεφαλή Multirotor
- 0. Κεφαλή Multirotor
- 1. Σύστημα για εγκάρσια διαπλάτυνση
- 2. Κεφαλή για επιμήκυνση και έλεγχο του πά-
ους.
- 3. Κεφαλή για επιμήκυνση και έλεγχο του πά-
ους
- 4. Κοπή και διαμόρφωση των προϊόντων.

Oven diagram σχήμα 4



- 1 Einlauf
- 2 Auslauf
- 3 Abnahmestisch
- 4 Außenverkleidung
- 5 Backkanal
- 6 Oberhitze
- 7 Unterhitze
- 8 Zuluftkanal
- 9 Rücklaufkanal
- 10 Schwadenabzugskanal
- 11 Heizkammer

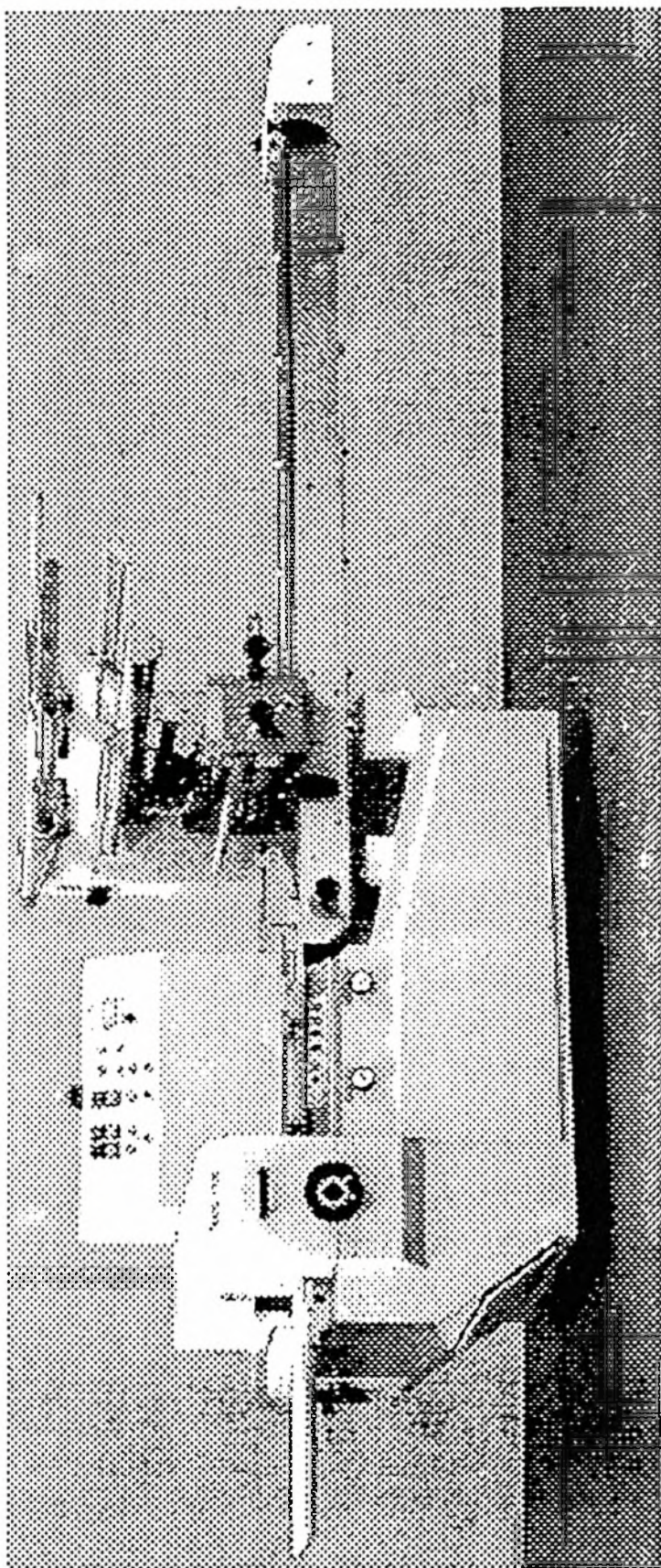
- 12 Unwolverhölter
- 13 Motor
- 14 Sturzkanal/Abschirmbleche
- 15 Heizgrasschieber
- 16 Brenner, Brennkammer
- 17 Schlauglas
- 18 Abgas- und Schwaden-Abzug
- 19 Thermometer
- 20 Heizgrasthermometer
- 21 Dampfverteiltrolle
- 22 Vorhänge

- 23 Schwadenschieber
- 24 Ein- und Auslauffürten
- 25 Dunschrauben
- 26 Dunskanal/Drosselschleife
- 27 Netzband
- 28 Antriebswalze
- 29 Spannstation
- 30 Backzeitskala
- 31 Rücklaufwanne
- 32 Einlaufwalze
- 33 Schaulücke

- 1 Feed section
- 2 Discharge section
- 3 Unloading table
- 4 Outer cover
- 5 Baking tunnel
- 6 Top heat
- 7 Bottom heat
- 8 Advance duct
- 9 Return duct
- 10 Steaming discharge duct
- 11 Heating chamber
- 12 Circulation fan

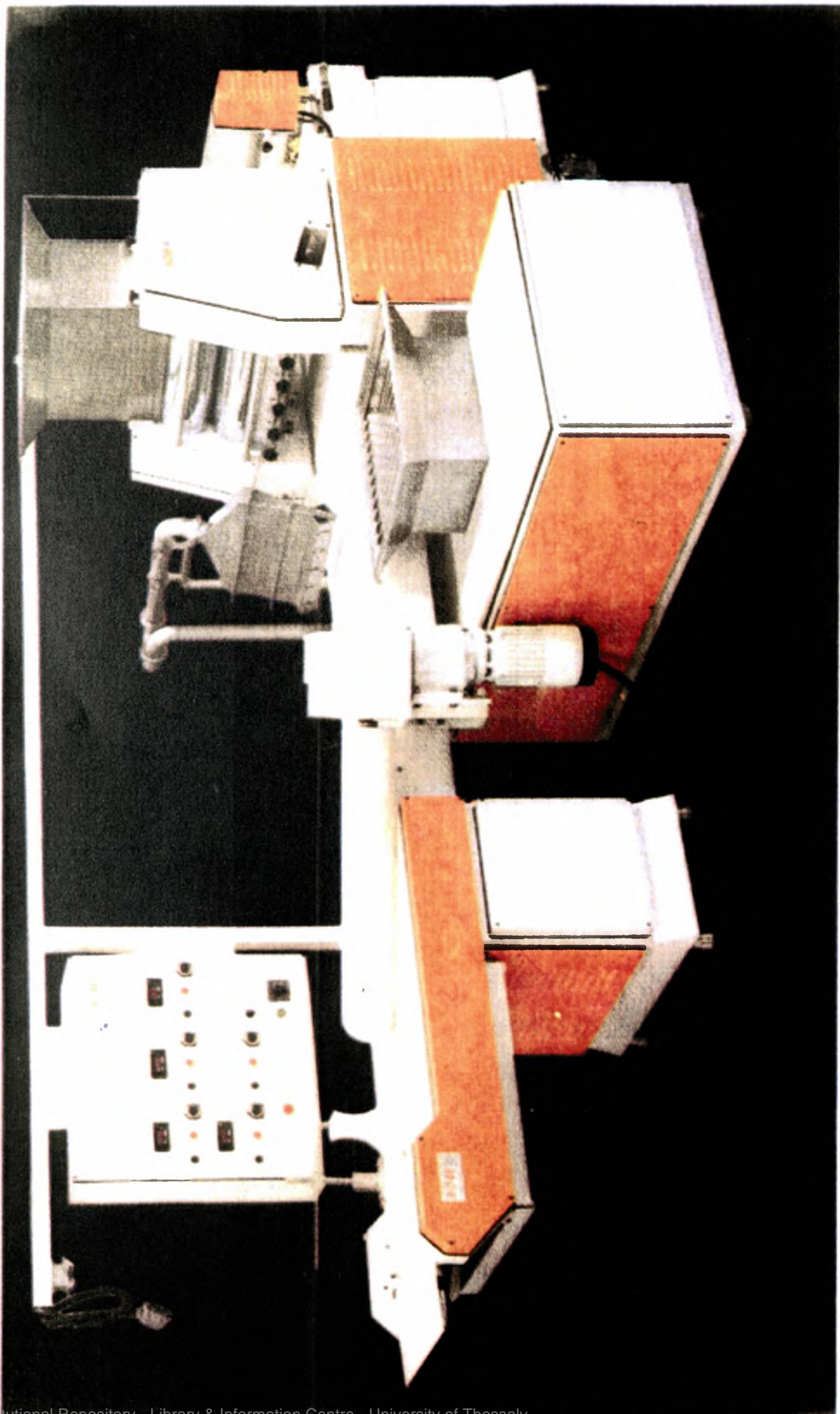
- 13 Motor
- 14 Downflow heating duct/Screen plates
- 15 Heating gas valves
- 16 Burner/Combustion chamber
- 17 Inspection glass
- 18 Flue gas- and steam-duct
- 19 Thermometer
- 20 Heating gas thermometer
- 21 Steam distribution pipes
- 22 Curtains

- 23 Stemming valves
- 24 Feed and discharge doors
- 25 Vapour hoods
- 26 Vapour duct/Throttle flap
- 27 Wire-band
- 28 Drive roller
- 29 Tension roller
- 30 Baking time scale
- 31 Return tank
- 32 Feed roller
- 33 Observation door

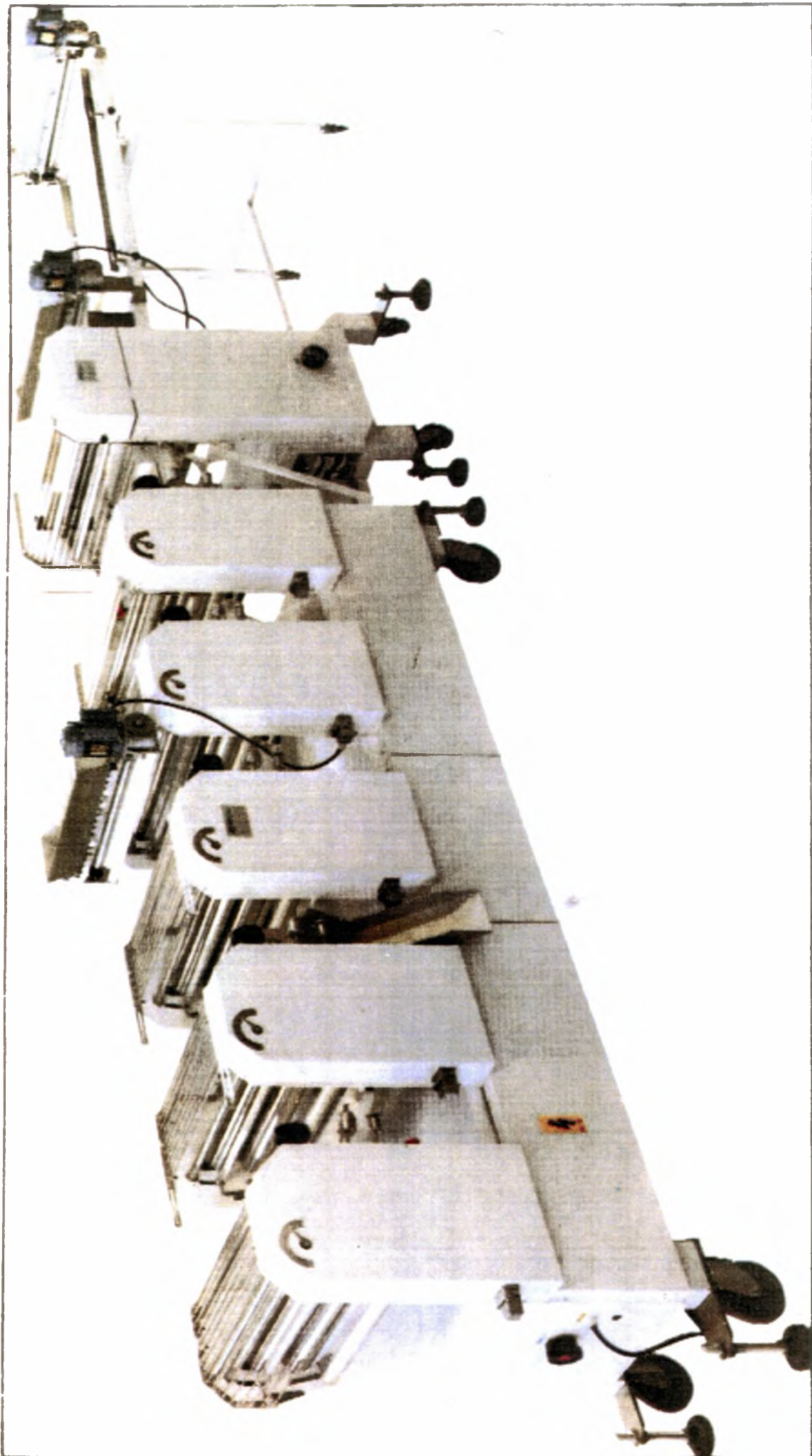


σχήμα 5

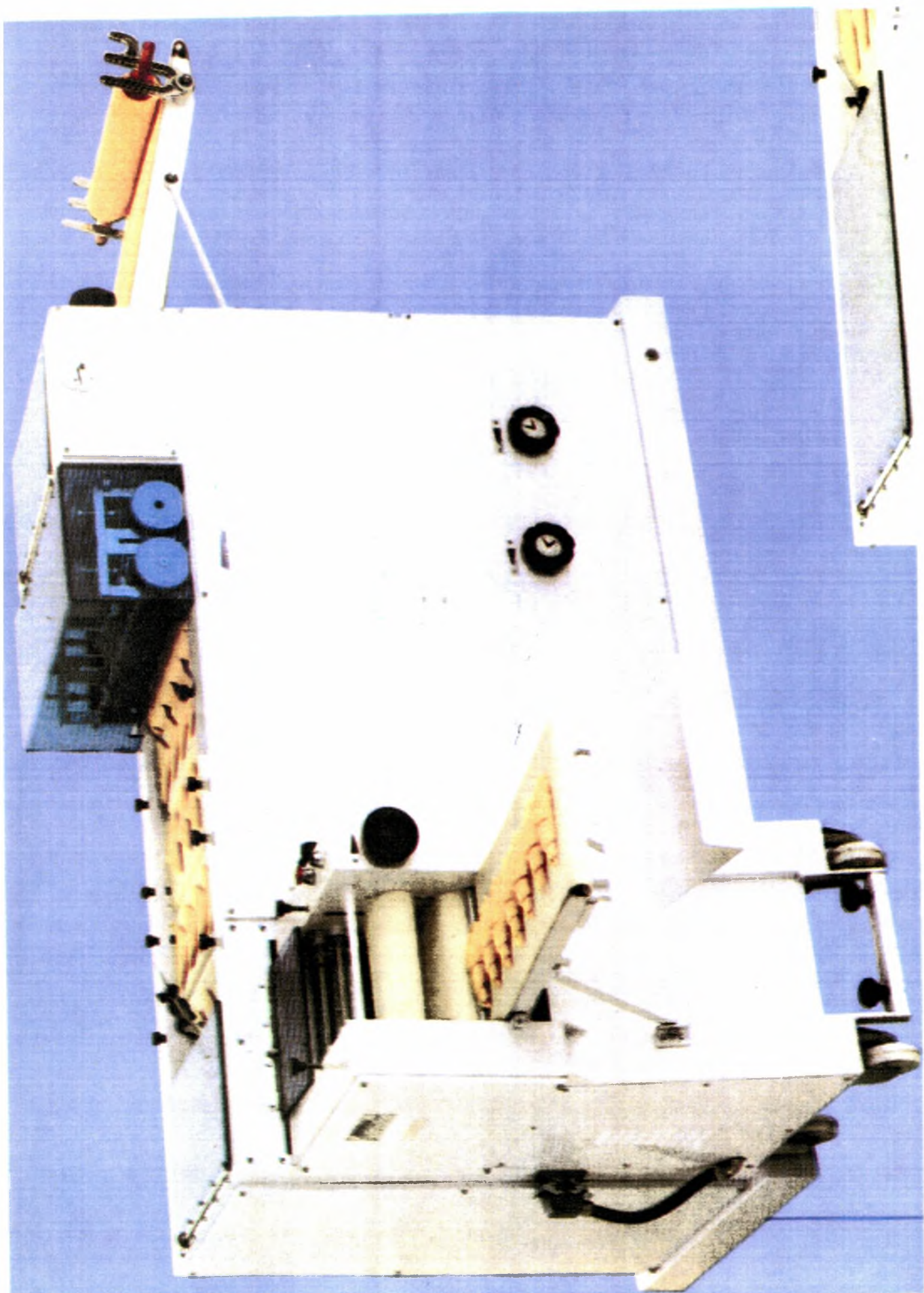
***Macchina automatica per il confezionamento con
due motori***



Φωτ. 1. Συγκρότημα παραγωγής πλακών ζύμης-λίπους (billets).



Φωτ. 3. Συγκρότημα με πέντε κεφαλές διαδοχικής εξέλασης



Φωτ. 6. Αυτόματη μηχανή κρουσσάν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΡΟΥΑΣΑΝ

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	3	95	20	9140
2				0
3			30	30
4	3	100	40	9640
5	3	102	30	9822
6	3	100	40	9640
7	3	99	22	9526
8	3	85	2	8162
9				0
10				0
11	3	106	33	10209
12	3	99	43	9547
13	3	101	33	9729
14	3	106	42	10218
15	3	88	30	8478
16				0
17				0
18	3	97	30	9342
19	3	80	34	7714
20	3	105	40	10120
21	3	104	55	10039
22	3	96	40	9256
23				0
24				0
25	3	103	40	9928
26	3	102	55	9847
27	3	102	60	9852
28	3	100	45	9645
29	3	90	30	8670
30				0
31				0
ΣΥΝΟΛΟ	63			198554
(%)				82,07
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				3971080
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3151,651
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				32,83
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9454,952
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				98,49

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT					
ΜΗΝΑΣ: ΜΑΡΤΙΟΣ 99					
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ	
1	3	96	65	9281	
2	3	105	2	10082	
3	3	104	55	10039	
4	3	108	40	10408	
5	3	88	30	8478	
6				0	
7				0	
8	3	104	56	10040	
9	3	102	88	9880	
10	3	109	40	10504	
11	3	102	13	9805	
12	3	85	20	8180	
13				0	
14				0	
15	3	102	40	9832	
16	3	107	22	10294	
17	3	106	30	10206	
18	3	108	12	10380	
19	3	88	1	8449	
20				0	
21				0	
22	3	100	45	9645	
23	3	109	65	10529	
24	3	111	20	10676	
25	3	103	11	9899	
26	3	92	35	8867	
27				0	
28				0	
29	3	100	45	9645	
30	3	106	20	10196	
31	3	107	42	10314	
ΣΥΝΟΛΟ	69			225629	
(%)				85,16	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				4512580	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3269,986	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				34,06	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9809,957	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				102,19	

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	3	95	65	9185
2	3	103	12	9900
3	3	104	46	10030
4	3	109	34	10498
5	3	97		9312
6				0
7				0
8	3	104	30	10014
9	3	103	46	9934
10	3	100	12	9612
11	3	101	13	9709
12	3	87	4	8356
13				0
14				0
15	3	55	40	5320
16	3	99	12	9516
17	3	104	58	10042
18	3	106	33	10209
19	3	86	20	8276
20				0
21				0
22	3	98	26	9434
23	3	104	42	10026
24	3	110	20	10580
25	3	111	66	10722
26	3	90	33	8673
27				0
28				0
29				0
30				0
31				0
ΣΥΝΟΛΟ	60			189348
(%)				82,18
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				3786960
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3155,8
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				32,87
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9467,4
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				98,62

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT					
ΜΗΝΑΣ: ΑΠΡΙΛΙΟΣ 99					
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ	
1	3	106	33	10209	
2	3	88	12	8460	
3				0	
4				0	
5	3	102	33	9825	
6	3	104	11	9995	
7	3	107	55	10327	
8	3	108		10368	
9	3	90	12	8652	
10				0	
11				0	
12	3	99	55	9559	
13	3	103	60	9948	
14	3	108	20	10388	
15	3	106	44	10220	
16	3	93	95	9023	
17				0	
18				0	
19	3	103		9888	
20	3	106	12	10188	
21	3	107	56	10328	
22	3	100	88	9688	
23	3	88	60	8508	
24				0	
25				0	
26	3	103	12	9900	
27	3	100	5	9605	
28	3	108	9	10377	
29	3	108	16	10384	
30	3	86	88	8344	
31				0	
ΣΥΝΟΛΟ	66			214184	
(%)				84,51	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				4283680	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3245,212	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				33,80	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9735,636	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				101,41	

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΜΑΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1				0
2				0
3	3	102	12	9804
4	3	105	45	10125
5	3	97	44	9356
6	3	103	12	9900
7	3	88	1	8449
8				0
9				0
10	3	106	55	10231
11	3	103	12	9900
12	3	106	33	10209
13	3	104	44	10028
14	3	89	95	8639
15				0
16				0
17	3	102	11	9803
18	3	101	12	9708
19	3	106		10176
20	3	105	46	10126
21	3	85	32	8192
22				0
23				0
24	3	60	45	5805
25	3	102	85	9877
26	3	105	1	10081
27	3	104	30	10014
28	3	86	11	8267
29				0
30				0
31	3	100		9600
ΣΥΝΟΛΟ	63			198290
(%)				81,97
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				3965800
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3147,46
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				32,79
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9442,381
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				98,36

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT					
ΜΗΝΑΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 99					
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ	
1	3	107	86	10358	
2	3	107	93	10365	
3	3	109		10464	
4	3	90	25	8665	
5				0	
6				0	
7	3	103	46	9934	
8	3	101	51	9747	
9	3	108	11	10379	
10	3	107		10272	
11	3	88	32	8480	
12				0	
13				0	
14	3	111	91	10747	
15	3	104	113	10097	
16	3	107	66	10338	
17	3	110		10560	
18	3	91	92	8828	
19				0	
20				0	
21	3	104	95	10079	
22	3	101	44	9740	
23	3	103		9888	
24	3	106	83	10259	
25	3	87	60	8412	
26				0	
27				0	
28				0	
29				0	
30				0	
31				0	
ΣΥΝΟΛΟ	57			187612	
(%)				85,71	
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				3752240	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3291,439	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				34,29	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9874,316	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				102,86	

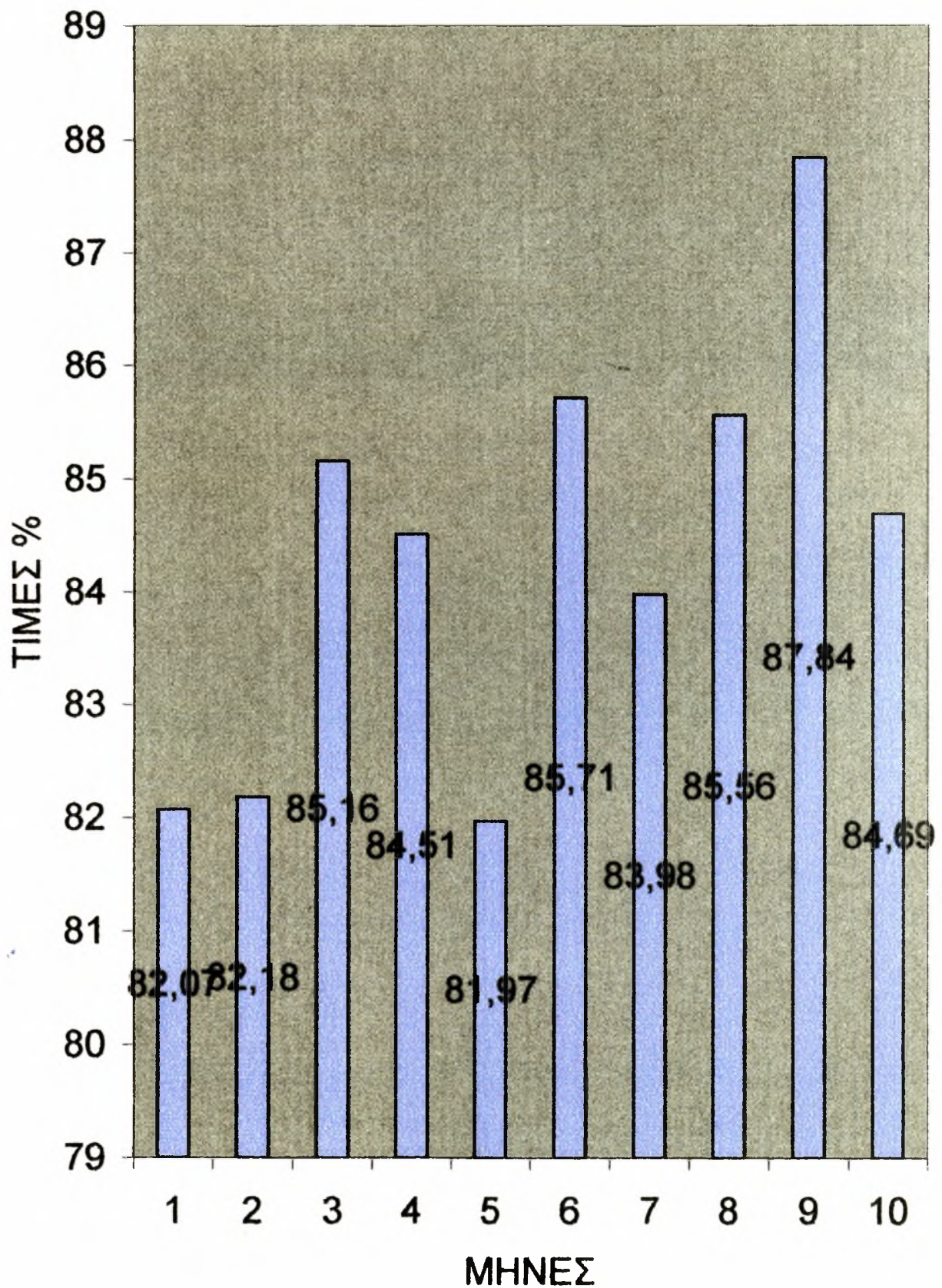
ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	3	107	0	10272
2	3	91	6	8742
3				0
4				0
5	3	101	5	9701
6	3	103	58	9946
7	3	99	112	9616
8	3	102	18	9810
9	3	108	0	10368
10	3	88	106	8554
11				0
12	3	108		10368
13	3	112	17	10769
14	3	104	70	10054
15	3	102	1	9793
16	3	80	92	7772
17				0
18				0
19				0
20				0
21				0
22				0
23				0
24				0
25				0
26				0
27				0
28				0
29				0
30				0
31				0
ΣΥΝΟΛΟ	39			125765
(%)				83,98
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				2515300
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3224,744
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				33,59
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9674,231
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				100,77

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1				0
2	3	106	41	10217
3	3	104	39	10023
4	3	110		10560
5	3	109		10464
6	3	94	25	9049
7				0
8				0
9	3	106	115	10291
10	3	95	38	9158
11	3	106	93	10289
12	3	100	94	9694
13	3	83	52	8020
14				0
15				0
16	3	100	79	9679
17	3	106	30	10206
18	3	108	30	10398
19	3	92	87	8919
20				0
21				0
22				0
23	3	106	0	10176
24	3	115	22	11062
25	3	101	42	9738
26	3	104	34	10018
27	3	94	62	9086
28				0
29				0
30	3	95	61	9181
31	3	112	31	10783
ΣΥΝΟΛΟ	63			206991
(%)				85,56
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				4139820
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3285,571
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				34,22
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9856,714
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				102,67

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	3	109	75	10539
2	3	101	22	9718
3	3	93	76	9004
4				0
5				0
6	3	91	15	8751
7	3	108	14	10382
8	3	109	16	10480
9	3	114	2	10946
10	3	96	27	9243
11				0
12				0
13	3	110	13	10573
14	3	106	38	10214
15	3	107	68	10340
16	3	110	24	10584
17	3	95	63	9183
18				0
19				0
20	3	117		11232
21	3	111	75	10731
22	3	107	8	10280
23	3	111	14	10670
24	3	94	78	9102
25				0
26				0
27	3	102	12	9804
28	3	105	3	10083
29	3	107	76	10348
30	3	108	41	10409
31				0
ΣΥΝΟΛΟ	66			222616
(%)				87,84
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				4452320
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3372,97
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				35,14
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				10118,91
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				105,41

ΓΡΑΜΜΗ CROISSANT				
ΜΗΝΑΣ: ΟΚΤΩΜΒΡΙΟΣ 99				
ΗΜ/ΝΙΑ	ΑΡ.ΒΑΡΔΙΩΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΥΠ.ΚΙΒΩΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	3	94	57	9081
2				0
3				0
4	3	110	0	10560
5	3	108	50	10418
6	3	109	12	10476
7	3	111	0	10656
8	3	92	45	8877
9				0
10				0
11	3	105	17	10097
12	3	106	80	10256
13	3	77	28	7420
14	3	108	62	10430
15	3	96	14	9230
16				0
17				0
18	3	103	77	9965
19	3	102	80	9872
20	3	97	72	9384
21	3	99	37	9541
22		3	91	15
23				0
24				0
25				0
26				0
27	3	103	0	9888
28	3	110	0	10560
29	3	92	50	8882
30				0
31				0
ΣΥΝΟΛΟ	54			175608
(%)				84,69
ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΜΑΧΙΩΝ				3512160
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				3252
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / ΒΑΡΔΙΑ				33,88
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΚΙΒΩΤΙΩΝ / 24ωρο				9756
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΠΑΛΕΤΩΝ / 24ωρο				101,63

ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ CROISSANT



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

```
m1 = 13440
m2 = 9600
r1 = 0.9963
r2 = 1.12931
p1 = 0.14148*m1/m2
p2 = 0.003467

13440

9600

0.9963

1.12931

0.198072

0.003467

Clear[y1, y2]
E256 := p1*y1 - r1 + p2*y2 - r2
E257 := m1*1 + ((p1*y1 - r1)*(1 + y1))/y1
E258 := -m2*1 + ((p2*y2 - r2)*(1 + y2))/y2
E259 := -(m2 - m1)*p1*y1^2 + ((m2 - m1)*(r1 + r2) - (m2*p1 + m1*p2))*y1 +
m2*(r1 + r2)
NSolve[{E259 == 0}, {y1}]

{{y1 -> 2.481572116440461}, {y1 -> 10.81119263577084}}

Clear[y1, y2, l]
y1 = 2.481572116440461
NSolve[{E256 == 0}, {y2}]
NSolve[{E257 == 0}, {l}]

2.481572116440461

{{y2 -> 471.3239249357959}}

{{l -> 0.00005269177185682378}}

Clear[y1, y2, l]
y1 = 10.81119263577084
NSolve[{E256 == 0}, {y2}]
NSolve[{E257 == 0}, {l}]

10.81119263577084

{{y2 -> -4.552797159619879}}

{{l -> -0.00009308125390918144}}
```

```

Clear[y11, y12, y21, y22]
y11 = 2.481572116440461
y12 = 10.81119263577084
y21 = 471.3239249357959
y22 = -4.552797159619879

2.481572116440461

10.81119263577084

471.3239249357958

-4.552797159619879

Clear[l1, l2]
l1 = 0.00005269177185682378
l2 = -0.00009308125390918144

0.00005269177185682378

-0.0000930812539091814 ,

n=0
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

0

{{c1 -> 2.724635220028873*^-8,
  c2 -> -6.254054494528195*^-9}}

c1 = 2.724635220028873*^-8
c2 = -6.254054494528195*^-9

2.72464 10-8

-6.25405 10-9

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.252197

8383.73

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

0

0

0.873305

```

```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate
0.873305

0.000104167

n=5000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

5000

{{c1 -> 1.791775114876506*^-8,
  c2 -> -4.112792467777921*^-9}}

c1 = 1.791775114876506*^-8
c2 = -4.112792467777921*^-9

1.79178 10^-8

-4.11279 10^-9

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.21595

8790.09

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

439.861

1.59158

13.9883

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

455.441

0.051813

```

```

n=10000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

10000

```

{{c1 -> 1.239722561521727*^-8,
  c2 -> -2.845625866118992*^-9}}

```

```

c1 = 1.239722561521727*^-8
c2 = -2.845625866118992*^-9

```

1.23972 10⁻⁸

-2.84563 10⁻⁹

```

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

```

0.1945

9030.58

```

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

```

1459.27

3.29131

26.056

```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

```

1488.62

0.164842

```

n=15000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

15000

```

{{c1 -> 8.849770726871417*^-9,
  c2 -> -2.031352600270199*^-9}}

```

```

c1 = 8.849770726871417*^-9
c2 = -2.031352600270199*^-9

8.84977 10^-9

-2.03135 10^-9

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.180716

9185.11

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

2819.67

4.00287

37.031

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

2860.7

0.31145

n=20000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

20000

{{c1 -> 6.448638716654842*^-9,
  c2 -> -1.480203208598923*^-9}}

c1 = 6.448638716654842*^-9
c2 = -1.480203208598923*^-9

6.44864 10^-9

-1.4802 10^-9

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.171386

9289.71

```

```

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

4409.27

3.98059

47.256

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

4460.51

0.480156

n=25000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12,
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

25000

{{c1 -> 4.765898476145333*^-9,
  c2 -> -1.093951533992352*^-9}}

c1 = 4.765898476145333*^-9
c2 = -1.093951533992352*^-9

4.7659 10-9

-1.09395 10-9

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.164848

9363.01

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

6166.49

3.57812

57.0382

```



```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

6227.1

0.665075

n=30000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

30000

{{c1 -> 3.557732998936343*^-9,
  c2 -> -8.166324757445263*^-10}}

c1 = 3.557732998936343*^-9
c2 = -8.166324757445263*^-10

3.55773 10-9

-8.16632 10-10

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.160153

9415.64

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

8052.94

3.03612

66.5909

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

8122.57

0.862668

```

```

n=35000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

35000

```

{{c1 -> 2.675171612749073*^-9,
  c2 -> -6.140517059076366*^-10}}

```

```

c1 = 2.675171612749073*^-9
c2 = -6.140517059076366*^-10

```

2.67517 10⁻⁹

-6.14052 10⁻¹⁰

```

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

```

0.156724

9454.08

```

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

```

10042.4

2.48687

76.0485

```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

```

10120.9

1.07053

```

n=40000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

40000

```

{{c1 -> 2.022294687050522*^-9,
  c2 -> -4.641920901497699*^-10}}

```

```

c1 = 2.022294687050522*^-9
c2 = -4.641920901497699*^-10

2.02229 10^-9

-4.64192 10^-10

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.154187

9482.52

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

12115.6

1.99171

85.491

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

12203.

1.2869

n=45000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

45000

{{c1 -> 1.534818183894953*^-9,
  c2 -> -3.522980430815291*^-10}}

c1 = 1.534818183894953*^-9
c2 = -3.522980430815291*^-10

1.53482 10^-9

-3.52298 10^-10

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.152293

9503.76

```

```

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

14257.6

1.572

94.9629

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

14354.1

1.51036

n=50000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12,
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

50000

{{c1 -> 1.16830897452899*^-9,
  c2 -> -2.681705036857457*^-10}}

c1 = 1.16830897452899*^-9
c2 = -2.681705036857457*^-10

1.16831 10-9

-2.68171 10-10

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.150869

9519.72

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

16456.6

1.22889

104.487

```

```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

16562.3

1.73979

n=60000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := (m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22)/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

60000

{{c1 -> 6.811402946717225*^-10,
  c2 -> -1.563471135505178*^-10}}

c1 = 6.811402946717225*^-10
c2 = -1.563471135505178*^-10

6.8114 10-10

-1.56347 10-10

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.148976

9540.95

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

20988.3

0.738513

123.723

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

21112.7

2.21286

```

```

n=70000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

70000

```

{{c1 -> 3.992029321472705*^-10,
  c2 -> -9.163196870067663*^-11}}

```

```

c1 = 3.992029321472705*^-10
c2 = -9.163196870067663*^-11

```

3.99203 10⁻¹⁰

-9.1632 10⁻¹¹

```

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

```

0.147881

9553.23

```

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

```

25651.1

0.438863

143.202

```

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

```

25794.7

2.7001

```

n=90000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

```

90000

```

{{c1 -> 1.382070825468133*^-10,
  c2 -> -3.17236824740292*^-11}}

```

```

c1 = 1.382070825468133*^-10
c2 = -3.17236824740292*^-11

1.38207 10^-10

-3.17237 10^-11

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.146867

9564.6

Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

35216.1

0.153315

182.71

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

35399.

3.70104

n=120000
Clear[c1, c2]
E270 := c1*y11 + c2*y12
E269 := ((m1 - m2)*(c1*y11*y21 + c2*y12*y22))/r1
E273 := (m1*(r1 + r2)*(c1*Exp[l1*n] + c2*Exp[l2*n]))/(r2*p1)
E272 := (m1*(c1*Exp[l1*n]*y21 + c2*Exp[l2*n]*y22))/p1
fxa1 := (c1*(Exp[l1*n] - 1)*(1 + y21 + y11 + y11*y21))/l1
fxa2 := (c2*(Exp[l2*n] - 1)*(1 + y22 + y12 + y12*y22))/l2
NSolve[{E269 + E273 + E272 + fxa1 + fxa2 == 1, E270 == 0}, {c1, c2}]

120000

{{c1 -> 2.836311981012319*^-11,
  c2 -> -6.510394331813083*^-12}}

c1 = 2.836311981012319*^-11
c2 = -6.510394331813083*^-12

2.83631 10^-11

-6.51039 10^-12

pb = E273 + (1 - m2/m1)*E272
prodrate = (m1*r1*(1 - pb))/(r1 + p1)

0.14644

9569.38

```

```
Clear[WIP1, WIP2, WIP3]
WIP1 = (c1*(1 + y11)*(1 + y21)*(Exp[l1*n]*(l1*n - 1) + 1))/(l1*l1)
WIP2 = (c2*(1 + y12)*(1 + y22)*(Exp[l2*n]*(l2*n - 1) + 1))/(l2*l2)
WIP3 = n*E273 + E272

49846.8

0.0315263

242.737

WIP1 + WIP2 + WIP3
(WIP1 + WIP2 + WIP3)/prodrate

50089.5

5.23436
```


ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S.B. Gershwin, Manufacturing Systems Engineering, Prentice Hall, 1994.
- [2] W.J. Hopp and M.L. Spearman, Factory Physics, 1996.
- [3] J.A. Buzacott and G.J. Shanthikumar, Stochastic Models of Manufacturing Systems, Prentice Hall, 1993.
- [4] Καζάνης Ιωάννης, Τεχνολογία Αρτοσκευασμάτων, 1985.
- [5] Περιοδικό, Ζαχαροπλαστείο Gelateria τεύχος 5 Ιανουάριος-Φεβρουάριος 1989.
- [6] G.A. Baker, Recent Developments-Malt Extracts, Cereal Syrups, 1983.
- [7] C.H. Barfoed, Enzymes in Starch Processing, 1982.
- [8] Ημερολόγιο Μηχανικών Βάρδιας της Εταιρείας CHIPITA S.A. από 1/1/1995 έως 1/10/1999.
- [9] Ημερολόγιο Ηλεκτρολόγων Βάρδιας της Εταιρείας CHIPITA S.A. από 1/1/1995 έως 1/10/1999.
- [10] Αρχείο παραγωγής της Εταιρείας CHIPITA S.A. από 1/1/1999 έως 31/10/1999.
- [11] A.M. Bonvik, Performance Analysis of Manufacturing Systems under Hybrid Control Policies, Ph.D. Thesis, Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [12] Y. Dallery and S.B. Gershwin, Manufacturing Flow Line Systems: A Review of Models and Analytical Results, Queuing Systems, 1992.



