



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ:**

**Επισκόπηση ποσοτικών μεθόδων και πρακτικών**

υπό

**Αθανασίας Τιλσίζογλου**

**Διπλωματική Εργασία**

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

Βόλος, 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ:**

**Επισκόπηση Ποσοτικών Μεθόδων και Πρακτικών**

υπό

**Αθανασίας Τιλσίζογλου**

**Διπλωματική Εργασία**

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

Βόλος, 2023

© 2023 Αθανασία Τιλσίζογλου

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

## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής:  
(Επιβλέπων)

Δρ. Λυμπερόπουλος Γεώργιος  
Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής:

Δρ. Παντελής Δημήτριος  
Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής:

Δρ. Σαχαρίδης Γεώργιος,  
Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Λυμπερόπουλο Γεώργιο για την άριστη συνεργασία μας και για τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές του σε όλα τα στάδια ολοκλήρωσης της εργασίας μου. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Καθηγητές Κ. Παντελή Δημήτριο και Κ. Σαχαρίδη Γεώργιο που δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της παρούσας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω προσωπικά στον κύριο Τριανταφυλλίδη Νεκτάριο και στον κύριο Κόττα Χαράλαμπο, υπεύθυνους του Τεχνικού Τμήματος της Νεογάλ Α.Ε., για όλες τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στην εταιρία, αλλά και για το ενδιαφέρον που έδειξαν και για τις πληροφορίες που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Φυσικά η ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την ανεκτίμητη υποστήριξη της οικογένειας μου και του συντρόφου μου. Τους εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ για όλη την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν και για την υπομονή που έδειξαν όχι μόνο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου, αλλά και των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής στον κλάδο της βιομηχανίας τροφίμων και πιο συγκεκριμένα στον απαιτητικό τομέα της γαλακτοβιομηχανίας και στην παραγωγή προϊόντων γιαούρτης. Στο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή του κλάδου της γαλακτοβιομηχανίας, και της βιομηχανίας γιαουρτιού ειδικότερα, σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο. Στόχος της είναι η παρακολούθηση του πώς ξεκίνησε η μαζική παραγωγή του γιαουρτιού και πώς διαμορφώθηκε με το πέρασμα του χρόνου καταλήγοντας στη σημερινή κατάσταση και εντοπίζοντας τους μεγάλους «παίκτες» και τα σημαντικά προβλήματα του κλάδου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται όλα τα στάδια της γραμμής παραγωγής και συσκευασίας των προϊόντων γιαούρτης, όπως αυτά καταγράφηκαν από τις εγκαταστάσεις της γαλακτοβιομηχανίας Νεογάλ Α.Ε..

Στη συνέχεια της εργασίας περιγράφεται ποιοτικά το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής, η σημαντικότητα του οποίου επιβεβαιώθηκε κατά τη μελέτη της γραμμής παραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας Νεογάλ Α.Ε. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε πως η αποδοτικότητα της οφείλεται σημαντικά στη σωστή οργάνωση και διαχείριση των διαθέσιμων πόρων της, ανθρώπινων και μη, παρά τον δυναμικό και μεταβαλλόμενο κλάδο στον οποίο δραστηριοποιείται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται η ανάλυση του προγραμματισμού της παραγωγής στην πράξη, δίνοντας βάση στις διάφορες μεθόδους που εφαρμόζονται και στα διάφορα λογισμικά, εξειδικευμένα ή μη, που χρησιμοποιούνται. Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μία συγκριτική ανασκόπηση των μαθηματικών μοντέλων και μεθόδων προγραμματισμού της παραγωγής, όπως αυτά έχουν παρουσιαστεί από τους ερευνητές του τομέα οργάνωσης της παραγωγής.

Τέλος, συνοψίζονται και σχολιάζονται τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν γύρω από τον τομέα της οργάνωσης παραγωγής στον κλάδο της γαλακτοβιομηχανίας.

**Λέξεις κλειδιά:** χρονικός προγραμματισμός παραγωγής, οργάνωση παραγωγής, βιομηχανία γάλακτος, επιχειρησιακή έρευνα, βελτιστοποίηση, μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού, προϊόντα γιαούρτης.

## Abstract

In this work the production scheduling problem in the food process industry and especially in the field of dairy companies and yogurt production is addressed. In the introductory section a historical review of how yogurt mass production is evolving through time at global and national level is taking place indicating the largest dairy companies and the main challenges they are facing.

In Section 2 the general yogurt manufacturing procedure is described, based on the production process of a real-life dairy plant in Greece, which goes by the name of Neogal S.A..

In Section 3 a qualitative analysis of the production scheduling problem is carried out, since production planning, scheduling and sequencing comprise the core of the manufacturing companies' performance as confirmed by Neogal itself.

In Section 4 a description of production planning methods in practice is attempted, focused on the most used computational programs and specialized or common software.

In Section 5 different types of scheduling problems are discussed providing a literature review in a holistic framework.

Finally, conclusions are drawn, some gaps in the related research are identified, and future research opportunities are proposed.

**Key words:** production planning, scheduling, sequencing, dairy industry, yogurt production.

# Περιεχόμενα

Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων.....	9
Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων .....	10
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή του κλάδου της γαλακτοβιομηχανίας .....	11
1.1 Η βιομηχανία γάλακτος σε παγκόσμιο επίπεδο.....	11
1.2 Η βιομηχανία γάλακτος σε εθνικό επίπεδο .....	16
1.3 Τα σημαντικότερα προβλήματα του κλάδου .....	17
1.4 Λίγα λόγια για τη γαλακτοβιομηχανία Νεογάλ Α.Ε.....	18
1.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	19
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή διαδικασίας παραγωγής και συσκευασίας .....	21
2.1. Διάγραμμα ροής στραγγιστού γιαουρτιού.....	21
2.2. Συσκευαστική γραμμή στραγγιστού γιαουρτιού.....	26
2.2.1 Συσκευαστική γραμμή γιαουρτιού με γεύσεις.....	30
2.2.2 Συσκευαστική γραμμή λευκού γιαουρτιού .....	32
2.3 Κωδικοί προϊόντων γιαουρτιού .....	33
2.3.1 Χαρακτηριστικοί χρόνοι εναλλαγής.....	36
Κεφάλαιο 3: Ποιοτική περιγραφή του προβλήματος .....	38
3.1 Μελέτη των κύριων σημείων της γραμμής παραγωγής .....	38
3.1.1 Κωδικοί προϊόντων μαθηματικού μοντέλου .....	39
Κεφάλαιο 4: Ο προγραμματισμός παραγωγής στην πράξη .....	41
4.1 Επιχειρησιακή Έρευνα.....	41
4.1.1 Μέθοδοι της Επιχειρησιακής Έρευνας .....	42
4.2 Η έννοια του χρονικού προγραμματισμού .....	43
4.2.1 Ανασκόπηση μεθόδων χρονικού προγραμματισμού .....	45
4.3 Εργαλεία χρονικού προγραμματισμού .....	46
4.3.1 Προγραμματισμός Παραγωγής Με Σύστημα Ενδοεπιχειρησιακού Σχεδιασμού - Enterprise resource planning (ERP) .....	47
4.3.2 Προγραμματισμός Παραγωγής Στο Περιβάλλον Του Microsoft Excel.....	50
4.3.3 Προγραμματισμός Παραγωγής Με Χρήση Διαγράμματος Gantt.....	52
4.3.4 Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής για την ΝΕΟΓΑΛ Α.Ε.....	54
Κεφάλαιο 5: Συγκριτική Ανασκόπηση Μαθηματικών Μοντέλων και Μεθόδων Προγραμματισμού Παραγωγής.....	60
5.1 Συλλογή και επεξεργασία ερευνητικού υλικού .....	62
5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	64
5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	64
Συμπεράσματα	69
Βιβλιογραφία	70



## Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων

---

Εικόνα 1: Η γαλακτοβιομηχανία στην Ασία .....	13
Εικόνα 2: Οι βασικοί παίκτες της ελληνικής αγοράς σε αξία πωλήσεων και τα μερίδια αγοράς τους .	17
Εικόνα 3: Λογότυπο γαλακτοβιομηχανίας Νεογάλ Α.Ε. ....	19
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας παραλαβής φρέσκου γάλακτος .....	21
Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας κορυφολόγου .....	22
Εικόνα 6: Εσωτερικό ομογενοποιού .....	23
Εικόνα 7: Holding Pipe παστερίωσης .....	24
Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση αποβολής ορού εμβολιασμού .....	26
Εικόνα 9: Pick-and-Place, στιγμιότυπα από την παραγωγή της Νεογάλ Α.Ε. ....	29
Εικόνα 10: Συσκευαστική γραμμή γιαουρτιού με γεύση .....	31
Εικόνα 11: Εσωτερικό σωλήνα ομογενοποίησης / Agitator .....	31
Εικόνα 12: Συσκευαστική γραμμή λευκού γιαουρτιού .....	33
Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση βημάτων μελέτης στον τομέα της Επιχειρησιακής Έρευνας ....	42
Εικόνα 14: Modules ενός λογισμικού ERP .....	47
Εικόνα 15: Λογότυπο και εφαρμογές SAP .....	49
Εικόνα 16: Τμήματα που επωφελούνται από τη χρήση λογισμικού ERP .....	50
Εικόνα 17: Ενδεικτικό διάγραμμα Gantt .....	53
Εικόνα 18: Λογότυπο Galaxy ERP .....	55
Εικόνα 19: Ενδεικτικό περιβάλλον εργασίας της σουίτας Galaxy .....	57
Εικόνα 20: Γραφική κατανομή των βιβλιογραφικών αναφορών στον χρονικό ορίζοντα των 20 ετών .	63

## Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

---

Πίνακας 1: Οι 10 μεγαλύτερες γαλακτοβιομηχανίες του πλανήτη .....	15
Πίνακας 2: Παραγγελία πελάτη Χ.....	40
Πίνακας 3: Γραφική απεικόνιση περιεχομένου παραγγελίας.....	40
Πίνακας 4: Επίπεδα λήψης αποφάσεων των βιβλιογραφικών αναφορών .....	65
Πίνακας 5: Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των μαθηματικών μοντέλων της βιβλιογραφίας.....	68

# Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή του κλάδου της γαλακτοβιομηχανίας

## 1.1 Η βιομηχανία γάλακτος σε παγκόσμιο επίπεδο

Αν και η ιστορία του γάλακτος ξεκινά εκατοντάδες αιώνες πίσω, η μαζική παραγωγή και η τυποποίηση του επεκτείνεται στην πιο σύγχρονη ιστορία και συγκεκριμένα από το 1863 και μετά, όπου ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο χημικό Λουί Παστέρ (Louis Pasteur) η διαδικασία της «παστερίωσης» που επιτρέπει την παραγωγή και τυποποίηση γαλακτοκομικών προϊόντων. Το πρώτο εργοστάσιο για τη βιομηχανική παραγωγή τυριού άνοιξε στην Ελβετία λίγο νωρίτερα, το 1815, αλλά η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα βρήκε πραγματική επιτυχία στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η δεκαετία του 1860 συνοδεύτηκε από την μαζική παραγωγή τυριάς, ενός συμπλέγματος πηκτικών ενζύμων που χρησιμοποιούνται στην πήξη γάλακτος και την παραγωγή τυριού και γιαουρτιού, και από τη στροφή των επιστημόνων στην παραγωγή καθαρών μικροβιακών καλλιέργειών.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι βακτηριακές καλλιέργειες που μέχρι τότε συλλέγονταν από το ελεύθερο περιβάλλον ή από την ανακύκλωση τυριού και γάλακτος, να αντικατασταθούν από καθαρές καλλιέργειες σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Η αλλαγή αυτή σηματοδότησε την αρχή της μαζικής παραγωγής των τυποποιημένων γαλακτοκομικών προϊόντων.

Στο πέρασμα αυτών των δεκαετιών εξελίχθηκε ραγδαία και ο τρόπος διάθεσης των προϊόντων αυτών, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το γάλα. Από τα στάδια της ελεύθερης διάθεσης των πλανόδιων πωλητών που διένεμαν το γάλα σε μεγάλες φορητές μεταλλικές φιάλες, μέχρι τη διανομή παστεριωμένου γάλακτος σε γυάλινες φιάλες, η βιομηχανία γάλακτος ερχόταν όλο και πιο κοντά στη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα. Το 1970 το τοπίο άλλαξε και πάλι. Έπειτα από σειρά διατάξεων απαγορεύθηκε η πλανόδια διάθεση του γάλακτος για λόγους δημόσιας υγείας και προκειμένου να διασφαλιστεί η ποιότητα του το γάλα άρχισε να διατίθεται μέσω φορητών ψυγείων σε πλαστικά μπουκάλια με ημερομηνία λήξης, τα οποία μετέπειτα έδωσαν τη θέση τους στα χάρτινα. Μέχρι τότε όλες οι εταιρείες του κλάδου συσκεύαζαν το γάλα σε γυάλινη φιάλη, η οποία συνήθως επιστρεφόταν στην εκάστοτε εταιρεία.

Η απλότητα του γάλακτος σε σχέση με τα υπόλοιπα γαλακτοκομικά προϊόντα των βιομηχανιών, τόσο στην παραγωγή όσο και στην συσκευασία, σε συνδυασμό με την εδραιωμένη από τη φύση του θέση στις καθημερινές αγορές των καταναλωτών κατέστησε το γάλα το «μαξιλαράκι ασφαλείας» των βιομηχανιών γάλακτος. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως όσο μεγάλος και αν είναι ο ανταγωνισμός στον κλάδο, η ζήτηση είναι αρκετά υψηλή για να καταστήσει βιώσιμες όλες τις βιομηχανίες και να εξασφαλίσει τα θετικά τους νέτα σε ότι αφορά τα ποσοστά πωλήσεων του γάλακτος.

Ωστόσο, ο υψηλός ανταγωνισμός στον κλάδο ώθησε τις επιχειρήσεις να προσπαθήσουν να κερδίσουν περισσότερους πελάτες από τους ανταγωνιστές τους

προκειμένου να επιβιώσουν, να αναπτυχθούν και να επιτύχουν μεγαλύτερο κέρδος. Σύμφωνα με τις βασικές στρατηγικές του μάρκετινγκ, οι επιχειρήσεις για να επιτύχουν την αύξηση του μεριδίου της αγοράς αναγκάζονται να αυξήσουν την παραγωγή τους, να μειώσουν τις τιμές και να κάνουν συνεχώς νέες προσθήκες τον κατάλογο των προϊόντων τους. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ευημερία του καταναλωτή (customer welfare), ο οποίος αντίστοιχα ωφελείται αφού πληρώνει λιγότερο για τα ίδια προϊόντα, έχει περισσότερες επιλογές και από την άλλη οι επιχειρήσεις προσπαθούν να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του με νέα προϊόντα. Σε μία ελεύθερη αγορά, οι επιχειρήσεις πρέπει να δρουν ανταγωνιστικά γιατί αυτό είναι προς όφελος των καταναλωτών. Με άλλα λόγια ο ανταγωνισμός ρίχνει τις τιμές, αυξάνει την ποιότητα και ευνοεί την καινοτομία.

Εστιάζοντας στον κλάδο των γαλακτοβιομηχανιών, η αναζήτηση για ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έστρεψε τις γαλακτοβιομηχανίες σε ένα άλλο βασικό προϊόν τους, το γιαούρτι. Η δημοτικότητα του γιαουρτιού είναι μία πιο πρόσφατη εξέλιξη στην Αμερική και τη Δυτική Ευρώπη. Πρόκειται για μια από τις αρχαιότερες τροφές που γνωρίζει ο άνθρωπος, και που υπήρξε βασικό τρόφιμο στη νοτιοανατολική Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή, την Κεντρική Ασία και τμήματα της Άπω Ανατολής, για χιλιάδες χρόνια, γεγονός που εξασφαλίζει τη ζήτηση του.

Αν αναζητήσουμε την ιστορία του δημοφιλούς εδέσματος ανά τις ηπείρους, θα δούμε ότι ενώ αρχικά το γιαούρτι καταναλωνόταν μόνο για τις ευεργετικές του ιδιότητες και για τα θρεπτικά του συστατικά, στη συνέχεια τα πρότυπα κατανάλωσης διαφοροποιήθηκαν και το γιαούρτι αποτέλεσε δημοφιλές επιδόρπιο, με μεγάλη γκάμα επιλογών τόσο ως προς το γευστικό προφίλ όσο και ως προς την παραγωγή του με χαμηλά λιπαρά ή χωρίς λακτόζη, με αποτέλεσμα να ικανοποιεί κάθε διατροφική ανάγκη.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες ανέβασαν επίπεδο στην παραγωγή όταν ο Jesse Williams, ένας γαλακτοπαραγωγός από την Νέα Υόρκη, χρησιμοποίησε το σύστημα γραμμής συναρμολόγησης, στο εργοστάσιο του το 1851. Η τυποποιημένη και μαζική παραγωγή τυριάς και καθαρών – σταθερών καλλιεργειών ξεκίνησε στις ΗΠΑ στη δεκαετία του 1860, η παραγωγή έτσι έγινε πολύ πιο αξιόπιστη και η δημοτικότητά των γαλακτοκομικών προϊόντων αυξήθηκε.

Στον τομέα του γιαουρτιού οι επιχειρήσεις των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης αναπτύχθηκαν ραγδαία από τη δεκαετία του 1920 και μετά, όταν προετοιμάστηκε το έδαφος για την βιομηχανική παραγωγή γιαουρτιού από τον διακεκριμένο Γάλλο ρωσικής καταγωγής βακτηριολόγο, δρα Μέτσνικοφ, Διευθυντή του Ινστιτούτου Παστέρ στο Παρίσι και βραβευμένο με Νόμπελ το 1908. Οι παρατηρήσεις του Μέτσνικοφ τον οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η ρωμαλέοτητα και η μακροβιότητα ορισμένων ατόμων που κατανάλωναν γιαούρτι οφειλόταν σε αυτό. Στη συνέχεια το γιαούρτι διαδόθηκε ευρύτατα μετά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο με το μεταναστευτικό κύμα των Ελλήνων προς τις χώρες της Δύσης, οι οποίοι έφτιαχναν μόνοι τους το γιαούρτι και το σέρβιραν στους πελάτες των εστιατορίων τους.

Κινέζοι ηγέτες έχουν προσεγγίσει τα γαλακτοκομικά προϊόντα σαν εμβλήματα μιας σύγχρονης, ευημερούσας κοινωνίας. Το 1949, έτος εκκίνησης της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας, η χώρα λέγεται ότι διέθετε μόλις 120.000 αγελάδες. Το 1990 υπολογίζεται ότι οι

Κινέζοι καταναλώναν γύρω στα τέσσερα κιλά γαλακτοκομικών προϊόντων κατά μέσο όρο τον χρόνο. Μέχρι το 2005, αυτό το νούμερο είχε ανέβει στα 18 κιλά το άτομο, τον χρόνο. Η κατανάλωση γαλακτοκομικών αυξήθηκε στην Κίνα κατά τη δεκαετία του '80 και στις αρχές του '90 με το δυτικό μοντέλο λιανικής των σουπερ-μάρκετ να φτάνει στις πόλεις. Ακόμα και σε μία κοινωνία στην οποία ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού έχει δυσανεξία στη λακτόζη τα γαλακτοκομικά προϊόντα άνοιξαν το δρόμο για τη δημιουργία μίας αγοράς εκεί που πριν δεν υπήρχε καμία.

Η Κίνα είναι σήμερα η τρίτη μεγαλύτερη γαλακτοπαραγωγός χώρα στον κόσμο, με γύρω στις 13 εκατομμύρια αγελάδες, ενώ ο μέσος πολίτης υπολογίζεται ότι από εκεί που δεν έπινε καθόλου γάλα, σήμερα καταναλώνει περίπου 30 κιλά προϊόντων με βάση το γάλα τον χρόνο. Το να καθίστανται τα ζωικά προϊόντα, και ιδιαιτέρως το γάλα, διαθέσιμα σε όλους τους πολίτες θεωρείται ένας τρόπος να αντιμετωπίζονται πιθανές αποσταθεροποιητικές ανισότητες που έκαναν την εμφάνιση τους με την οικονομική ανάπτυξη της Κίνας, η οποία πέρασε ως ειδοποιός διαφορά που ξεχώρισε τις μεγάλες πόλεις με τις φτωχότερες αγροτικές περιοχές. Από τα μέσα του '80 και μετά, ένας αριθμός μεγάλων πολυεθνικών γάλακτος των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης, όπως η Fonterra, η Nestlé, η Danone και η Arla, επένδυσαν πολλά χρήματα στην Κίνα.



**Εικόνα 1: Η γαλακτοβιομηχανία στην Ασία**

Η δημοτικότητα του γιαουρτιού γνώρισε μεγάλη αύξηση τα τελευταία χρόνια, όταν η υγιεινή διατροφή και η υιοθέτηση ενός υγιεινού τρόπου ζωής αποτέλεσαν προτεραιότητα των σύγχρονων ανθρώπων. Εδώ και μια εικοσαετία, με πρωτοβουλία του διεθνούς διακρατικού Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) του ΟΗΕ, την 1η Ιουνίου γιορτάζεται η Παγκόσμια Ημέρα του Γάλακτος. Καθημερινά, δισεκατομμύρια άνθρωποι ανά

τον κόσμο καταναλώνουν υψηλής ποιότητας θρεπτικά συστατικά μέσω του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Την ίδια στιγμή, εκατομμύρια άνθρωποι εργάζονται στον ευρύτερο τομέα της παραγωγής, επεξεργασίας και εμπορίας του γάλακτος σε διάφορες μορφές του, όπως κτηνοτρόφοι, αγρότες, εργαζόμενοι σε γαλακτοβιομηχανίες και μικρότερες επιχειρήσεις επεξεργασίας του γάλακτος, προμηθευτές, έμποροι, διανομείς και άλλοι. Σύμφωνα με το <https://en.wikipedia.org/wiki/Danone>, η πρώτη βιομηχανοποιημένη παραγωγή γιαουρτιού αποδίδεται στον εβραϊκής καταγωγής Θεσσαλονικιό Isaac Carasso το 1919 στη Βαρκελώνη – η εταιρεία του “Danone” ονομάστηκε για τον γιο του, τον μικρό Daniel.

Αν εστιάσουμε στο σήμερα, ως κορυφαίοι παραγωγοί γιαουρτιού στην Ευρώπη, σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat θεωρούνται η Γερμανία (23,62% της παραγωγής της Ε.Ε.) , η Γαλλία (18,33%) και η Ισπανία (12%). Συνολικά στην ΕΕ, η παραγωγή γιαουρτιού αυξήθηκε κατά +0,5% και σε απόλυτους αριθμούς ανήλθε στους 7.721.030 τόνους, από 7.683.180 τόνους το 2019. Ανάγοντας το πεδίο μελέτης σε παγκόσμιο, ξεχωρίζουμε τις 10 μεγαλύτερες βάσει τζίρου γαλακτοβιομηχανίες στον κόσμο με βάση τα στοιχεία που δίνει στη δημοσιότητα τη Rabobank. Τα ονόματα που απαρτίζουν αυτό το άτυπο κλαμπ εταιριών είναι ο ελβετικός κολοσσός Nestlé που κατέχει την πρώτη θέση, ενώ ΗΠΑ και Γαλλία έχουν από τέσσερις εκπροσώπους εξακολουθώντας να είναι οι χώρες με την πιο έντονη παρουσία.

## Οι 10 μεγαλύτερες γαλακτοβιομηχανίες στον κόσμο

2018	θέση που κατείχε το 2017	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ	ΕΔΡΑ	Κύκλος εργασιών,2017 (δισ. ευρώ)
1	1	Nestle	Ελβετία	21.4
2	(+)3	Lactalis	Γαλλία	17.7
3	(-)2	Danone	Γαλλία	15.5
4	4	Dairy Farmers of America	ΗΠΑ	13.0
5	(+)6	Fonterra	Νέα Ζηλανδία	12.1
6	(-)5	FrieslandCampina	Ολλανδία	12.0
7	7	Arla Foods	Δανία/Σουηδία	10.3
8	(+)9	Saputo	Καναδάς	9.6
9	(-)8	Yili	Κίνα	8.8
10	10	Mengniu	Κίνα	7.8

Πίνακας 1: Οι 10 μεγαλύτερες γαλακτοβιομηχανίες του πλανήτη

Πηγή: <https://www.yraithros.gr/kleisto-club-20-megaliteres-galaktoviomixanies/>

## 1.2 Η βιομηχανία γάλακτος σε εθνικό επίπεδο

Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον της Ελλάδας η μεταποίηση αποτελεί πολλά παραπάνω από την μετατροπή της πρώτης ύλης σε τελικό προϊόν. Παρά το γεγονός ότι η σύγχρονη μεταποίηση διαπνέεται από κλασικές αξίες με κεντρική την ποιότητα, δεν παύει να ορίζεται ως ένα πολύπλοκο σύστημα που δέχεται πολλαπλές επιδράσεις από το περιβάλλον γύρω της με διαφορετικούς συντελεστές επιρροής, το οποίο απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και εξειδικευμένα συστήματα διοίκησης, ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία κάθε κύκλος παραγωγής. Ουσιαστικό ρόλο για την μεταποιητική βιομηχανία διαδραματίζει η Ελληνική Βιομηχανία τροφίμων, καλύπτοντας το ένα τέταρτο του συνόλου των επιχειρήσεων της ελληνικής μεταποίησης, γεγονός που την κατατάσσει πρώτη ανάμεσα στους διαφορετικούς κλάδους της μεταποίησης.

Σημαντική θέση στον τομέα της Ελληνικής Βιομηχανίας Τροφίμων κατέχουν οι εγχώριες γαλακτοβιομηχανίες, σε μία αγορά που ξεπερνά το ενάμισι δισεκατομμύριο € ετησίως. Πρόκειται για έναν κλάδο που επιδεικνύει ισχυρές αντοχές παρά την οικονομική απορρύθμιση από την επέλαση της πανδημίας το 2020, καθώς οι καταναλωτές παγκοσμίως φαίνεται να έχουν στραφεί σε έναν πιο υγιεινό τρόπο ζωής, με προϊόντα όπως το γάλα, το γιαούρτι και το τυρί να εντάσσονται καθημερινά στο διατροφολόγιο τους. Η ανάγκη αυτή για υιοθέτηση υγιεινών διατροφικών συνηθειών έφερε τα τελευταία χρόνια στο προσκήνιο την μεσογειακή διατροφή, η οποία αναγνωρίστηκε ως κορυφαίο πρότυπο διατροφικού μοντέλου και εκτόξευσε την εξαγωγική δραστηριότητα των ελληνικών γαλακτοβιομηχανιών.

Στο πλέον δυναμικό εξαγωγικό προϊόν έχει αναδειχθεί το ελληνικό γιαούρτι με την παγκόσμια αγορά των προϊόντων που φέρουν την ετικέτα προστατευόμενης γεωγραφικής ένδειξης «Greek Yogurt» να κερδίζει έδαφος εκτός των ελληνικών συνόρων, παρουσιάζοντας μεικτούς ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης 4,5%, ενώ αναμένεται να ξεπεράσει τα δέκα δισεκατομμύρια € μέχρι το 2027. Μάλιστα, σύμφωνα με στοιχεία της Mordor Intelligence φαίνεται ότι το 45% των καταναλωτών διεθνώς έχει εντάξει το γιαούρτι στις βασικές επιλογές για το πρωινό του γεύμα. Έτσι, με ανταγωνιστική ποιότητα και συνεχή παρουσία στα διεθνή ράφια, οι ελληνικές γαλακτοβιομηχανίες επιδιώκουν μέσω στοχευμένων στρατηγικών εξωστρέφειας και αναπροσαρμογής των αναπτυξιακών τους σχεδιασμών να κερδίσουν μεγαλύτερο μερίδιο στη διεθνή αγορά.

Ηγετική θέση στην αγορά του φρέσκου γάλακτος διατηρεί η ΔΕΛΤΑ με μερίδιο αγοράς περί το 30%. Η εταιρία με περισσότερα από 60 χρόνια παρουσίας στην ελληνική αγορά απορροφά κάθε χρόνο περισσότερο από το 25% της συνολικής ελληνικής παραγωγής γάλακτος. Στη δεύτερη θέση βρίσκεται η βιομηχανία ΟΛΥΜΠΟΣ με σημαντικό μερίδιο αγοράς που φτάνει το 20%, ένα ποσοστό με συνεχείς αυξητικές τάσεις λόγω της παραγωγής νέων προϊόντων σε ανταγωνιστικές τιμές. Μεγάλος «παίκτης» στην ελληνική αγορά είναι και η ΜΕΒΓΑΛ, η οποία κατέχει την πρώτη θέση ανάμεσα στις γαλακτοβιομηχανίες της Βορείου Ελλάδας, η οποία δραστηριοποιείται στην καρδιά της παραγωγής του αγελαδινού γάλακτος, στη Μακεδονία, όπου παράγεται το 67% του φρέσκου γάλακτος της Ελλάδας.



## Το TOP-10 των γαλακτοβιομηχανιών της χώρας

ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ 2020 (ΣΕ ΕΚΑΤ. ΕΥΡΩ)

\* Στον πίνακα δεν έχει περιληφθεί η Friesland Campina Hellas καθώς ο τζίρος της είναι 256,51 εκατ. ευρώ, με το μεγαλύτερο μέρος αυτού όμως να προέρχεται από πωλήσεις εισαγόμενων προϊόντων.



ΠΗΓΗ: STOCHASIS, Ισολογισμοί εταιρειών

Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ

Εικόνα 2: Οι βασικοί παίκτες της ελληνικής αγοράς σε αξία πωλήσεων και τα μερίδια αγοράς τους

### 1.3 Τα σημαντικότερα προβλήματα του κλάδου

Σε μία αγορά που διαρκώς μεταβάλλεται, οι ελληνικές γαλακτοβιομηχανίες προσάρμοσαν τη στρατηγική τους δίνοντας έμφαση στο γιαούρτι που εκτός από το εξαγωγικό κομμάτι έχει και μεγάλα περιθώρια κέρδους. Ήδη η ΦΑΓΕ αλλά και η Friesland-Campina γνωστή σε εμάς ως ΝΟΥΝΟΥ είναι τα δύο ισχυρά ονόματα που αποχώρησαν από τον κλάδο του φρέσκου γάλακτος.

Οι βιομηχανίες γάλακτος οφείλουν να προσαρμόζουν τα προϊόντα τους στις νέες ανάγκες που δημιουργεί η καθημερινότητα των σύγχρονων καταναλωτών, ώστε να προσαρμόζονται οι ίδιες στις τάσεις της αγοράς. Καλούνται, λοιπόν, να επιδεικνύουν γρήγορα επιχειρηματικά αντανεκλαστικά προκειμένου να ανταποκριθούν με τον βέλτιστο τρόπο στη διαφοροποίηση του διατροφικού προτύπου που ολοένα και διευρύνεται και περιλαμβάνει επιλογές όπως τα βιολογικά προϊόντα και τα προϊόντα χωρίς λακτόζη ή τα προϊόντα με λιγότερα ή και καθόλου ζάχαρη και ζωικά λιπαρά. Για τον λόγο αυτό επενδύουν προοδευτικά σε νέους κωδικούς, εστιάζοντας σε συγκεκριμένες ομάδες κοινού και στις εξατομικευμένες ανάγκες τους, λανσάροντας αυθεντικά προϊόντα υψηλής ποιότητας και διατροφικής αξίας.

Εκτός από το δικό τους κωδικολόγιο οι γαλακτοβιομηχανίες οφείλουν να ανταποκριθούν και σε μία ακόμα βασική προϊοντική κατηγορία, αυτή των Private Labels, η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος στην παγκόσμια αγορά του γιαουρτιού. Τα προϊόντα ιδιωτικής ετικέτας, δηλαδή αυτά που παράγονται για λογαριασμό αλυσίδων σούπερ μάρκετ και φέρουν το εμπορικό σήμα που ανήκει στην αντίστοιχη αλυσίδα ή στον όμιλο του σούπερ μάρκετ, μπορεί να αποτελούν έως και το 40% των συνολικών παραγόμενων προϊόντων συγκριτικά με τα Branded που αποτελούν το υπόλοιπο 60%. Τα προϊόντα αυτά θεωρούνται ανταγωνιστικότερα των επώνυμων λόγω της χαμηλότερης τιμής πώλησης, με

αποτέλεσμα η ζήτησή τους να είναι αρκετά υψηλή. Για τον λόγο αυτό, παρόλο που σε αυτήν την περίπτωση η παρουσία των γαλακτοβιομηχανιών στα διεθνή ράφια είναι ανώνυμη, ο όγκος των παραγγελιών που πρέπει να καλυφθεί από αυτές είναι ιδιαίτερα μεγάλος.

Συμπερασματικά, το πιο σημαντικό ίσως χαρακτηριστικό που καθορίζει την επιτυχία των γαλακτοβιομηχανιών είναι η προσαρμοστικότητα. Καθώς το κύριο σημείο είναι ότι η αγορά έχει καταστεί πλέον λιγότερο προβλέψιμη απ' ό,τι στο παρελθόν, η ικανότητα επιχειρηματικής ευελιξίας αποτελεί τόσο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όσο και επιχειρησιακή στρατηγική. Ωστόσο, η προσαρμοστικότητα στις τάσεις της αγοράς και στις ανάγκες του καταναλωτικού κοινού έχει οδηγήσει στη δημιουργία ενός μεγάλου κωδικολογίου, το οποίο περιλαμβάνει μία ευρεία γκάμα προϊόντων που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα συστατικά, το γευστικό προφίλ, την λιποπεριεκτικότητα, ακόμα και την εξωτερική εμφάνιση. Η παραγωγή «αντιστέκεται» σε αυτή την τάση, καθώς η μεγάλη ποικιλία διαταράσσει τη σταθερότητα και την απόδοση του συστήματος των παραγωγικών διαδικασιών, ενώ παράλληλα αυξάνει τα λειτουργικά κόστη.

Στο σημερινό, σχεδόν καθημερινά, μεταβαλλόμενο και άκρως ανταγωνιστικό περιβάλλον οι βιομηχανίες γάλακτος συχνά βρίσκονται αντιμέτωπες με ξαφνικές, συχνά απρόβλεπτες καταστάσεις, τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό τους περιβάλλον. Οι καταστάσεις αυτές είναι ικανές να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό το γενικότερο στρατηγικό σχεδιασμό καθώς και τα επιμέρους πλάνα μιας γαλακτοβιομηχανίας. Προκειμένου, λοιπόν, η ανταγωνιστική παρουσία τους στην παγκόσμια αγορά να επιτυγχάνεται χωρίς να θυσιάζεται η ομαλότητα της παραγωγικής διαδικασίας, κρίνεται αναγκαία η αποτελεσματική διαχείριση όλων των πόρων, ανθρώπινων και μηχανολογικών, και φυσικά των πρώτων υλών. Το κυριότερο επιχειρηματικό εργαλείο αποτελεσματικής διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων είναι ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής.

Έτσι, η ύπαρξη του προγραμματισμού της παραγωγής καθίσταται επιτακτική ανάγκη, ώστε η προσαρμογή του κύκλου των εργασιών στις αλλαγές που πραγματοποιούνται στο μείγμα του παραγόμενου προϊόντος και τον όγκο της παραγωγής εντός του χρονικού ορίζοντα προγραμματισμού να είναι άμεση και ομαλή. Το κεφάλαιο του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία συγκαταλέγεται στον ευρύτερο τομέα της Επιχειρησιακής Έρευνας και εστιάζεται στο στάδιο της συσκευασίας.

#### **1.4 Λίγα λόγια για τη γαλακτοβιομηχανία Νεογάλ Α.Ε.**

Η Βιομηχανία Γάλακτος Δράμας με διακριτικό τίτλο ΝΕΟΓΑΛ Α.Ε. ιδρύθηκε το 1964 στην πόλη της Δράμας και αποτελεί μία από τις πρώτες γαλακτοβιομηχανίες της Βορείου Ελλάδος. Το 1965 η εταιρία δημιούργησε στις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις της το πρώτο και μοναδικό στην περιοχή εργοστάσιο επεξεργασίας γαλακτοκομικών προϊόντων υψηλής ποιότητας. Το 1978 η γαλακτοβιομηχανία, παρακολουθώντας τις εξελίξεις στην Ελλάδα αλλά και στην παγκόσμια αγορά, εγκατέστησε γραμμή παραγωγής γιαούρτης ευρωπαϊκού τύπου για την παραγωγή γιαουρτιών, καθώς επίσης και το περίφημο ελληνικό στραγγιστό

γιαούρτι. Με συνεχείς εκσυγχρονισμούς των συστημάτων παραγωγής εισήχθησαν στο εργοστάσιο γραμμές παραγωγής για όλους τους τύπους γαλακτοκομικών προϊόντων, οι οποίες είναι σήμερα αυτοματοποιημένες.

Η ΝΕΟΓΑΛ συμμετέχει σε όλες τις παραγωγικές φάσεις, από την παραγωγή της πρώτης ύλης μέχρι την διανομή του τελικού προϊόντος στα σημεία πώλησης. Βάση των αυθεντικών προϊόντων υπάρχει και λειτουργεί ένα σύστημα πιστοποίησης όλων των παραγωγικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα, η επιχείρηση διαθέτει ένα σύγχρονο χημείο για τον ποιοτικό έλεγχο καθ' όλη τη διάρκεια των διαφορετικών σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας. Ο πιο βασικός και διεξοδικός έλεγχος πραγματοποιείται κατά την καθημερινή παραλαβή από τα ιδιόκτητα βυτία παραλαβής. Αυτό εγγυάται ότι τόσο η πρώτη ύλη όσο και τα τελικά προϊόντα ανταποκρίνονται πλήρως στις ποιοτικές απαιτήσεις της νομοθεσίας και κατ' επέκταση των καταναλωτών. Σήμερα η εταιρία δραστηριοποιείται στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων με σημαντική παρουσία στην τοπική, στην εγχώρια, αλλά και στη διεθνή αγορά.



Εικόνα 3: Λογότυπο γαλακτοβιομηχανίας Νεογάλ Α.Ε.

### 1.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Υπάρχουν αρκετές μελέτες στη βιβλιογραφία της επιχειρησιακής έρευνας πάνω σε πολύπλοκα συστήματα παραγωγής, τα οποία απαιτούν οργάνωση και συντονισμό μέσω του χρονικού προγραμματισμού, τόσο στον τομέα της μεταποίησης γάλακτος όσο και σε άλλους, όπως η μεταποίηση προϊόντων ρητίνης σε εργοστάσιο πλαστικού PET. Κάθε προσέγγιση του μοντέλου μεικτού ακέραιου προγραμματισμού (MILP) είναι διαφορετική, λόγω της απόλυτης προσαρμογής του (customization) στις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε γραμμής παραγωγής, αλλά και στους στόχους του εκάστοτε εργοστασίου. Ωστόσο διαφορές εντοπίζονται και μεταξύ μοντέλων που έχουν ως κοινό αντικείμενο μελέτης την γραμμή παραγωγής γιαουρτιού ως απόρροια του μεγάλου αριθμού περιορισμών που συνδέονται άρρηκτα με το μεγάλο πλήθος τελικών προϊόντων.

Οι Mula et al. (2006) ανέλυσαν τα μοντέλα προγραμματισμού της παραγωγής σε ένα περιβάλλον μαθηματικής αβεβαιότητας και τα κατέταξαν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες: τα εννοιολογικά μοντέλα, τα αναλυτικά μοντέλα, τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και τα μοντέλα προσομοίωσης.

Οι Mundi et al. (2019) παρουσίασαν μία κριτική ανάλυση των μαθηματικών μοντέλων της βιβλιογραφίας λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα που συνεπάγεται η

έλλειψη ομοιογένειας στα προϊόντα (LHP – Lack of Homogeneity on Products). Οι ερευνητές κατέταξαν τις σχετικές μελέτες με βάση τον τομέα που επηρεάζεται περισσότερο από την έλλειψη ομοιογένειας και τις διαφορετικές προσεγγίσεις μαθηματικής μοντελοποίησης γύρω από αυτόν.

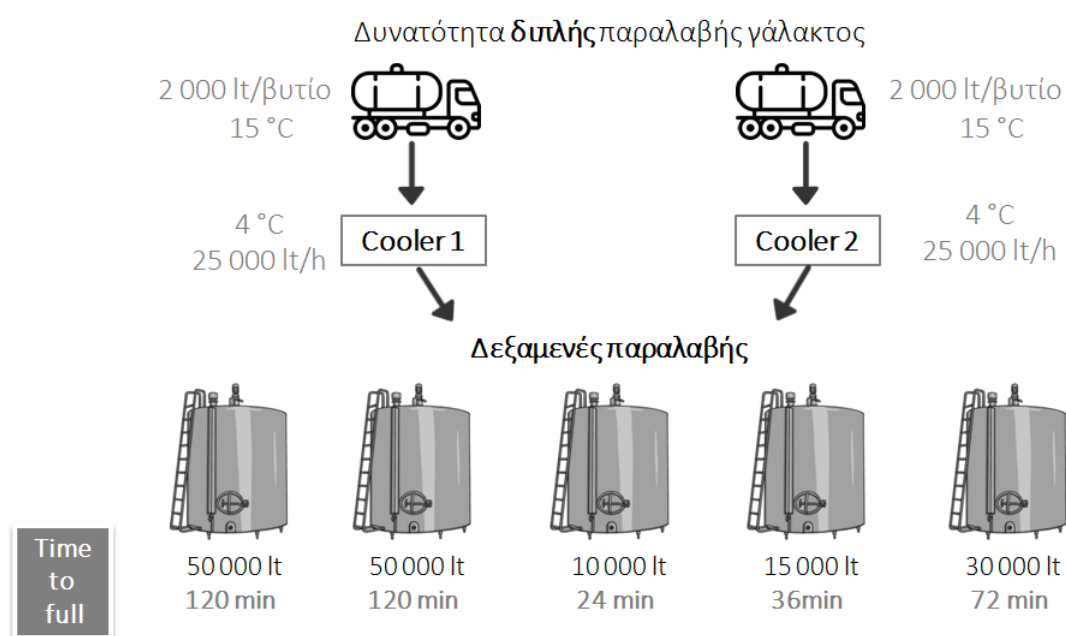
Οι Guzman et al. (2022) μελέτησαν ένα πολύ μεγάλο μέρος της διαθέσιμης βιβλιογραφίας πάνω στον Προγραμματισμό και την Οργάνωση της Παραγωγής τόσο για τα γαλακτοκομικά προϊόντα όσο και για προϊόντα που δεν ανήκουν απαραίτητα στον τομέα των τροφίμων αλλά παρασκευάζονται σε ένα απαιτητικό χρονοδιάγραμμα και απαιτούν πολλαπλές, αλλά μελετημένες εναλλαγές κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους διαδικασίας. Οι ερευνητές συγκέντρωσαν τις μελέτες αυτές σε ένα ολιστικό πλαίσιο στο οποίο περιλαμβάνονται οι διαφορετικές προσεγγίσεις και της βέλτιστης λύσης και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται, τα πεδία εφαρμογής, το μέγεθος του συνόλου των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για την κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων, η ποιότητα των λύσεων σε σχέση με τα δεδομένα του προβλήματος καθώς και άλλοι παράγοντες της Επιχειρησιακής Έρευνας.

## Κεφάλαιο 2: Περιγραφή διαδικασίας παραγωγής και συσκευασίας

### 2.1. Διάγραμμα ροής στραγγιστού γιαουρτιού

#### 1. Παραλαβή νωπού γάλακτος

Η διαδικασία παραγωγής του στραγγιστού γιαουρτιού ξεκινάει με την παραλαβή φρέσκου γάλακτος από τους συνεργαζόμενους παραγωγούς. Η γαλακτοβιομηχανία παραλαμβάνει φρέσκο γάλα σε καθημερινή βάση, το οποίο με την άφιξη του βυτίου μεταφοράς κατευθύνεται πρώτα στο Τμήμα του Χημείου προκειμένου να πραγματοποιηθεί δειγματοληψία με στόχο τον έλεγχο των ποιοτικών χαρακτηριστικών του (προσδιορισμός του σημείου πήξεως, έλεγχος προσμίξεων, ανίχνευση παρουσίας αντιμικροβιακών παραγόντων, έλεγχος σωματικών κυττάρων). Εάν το γάλα πληροί τις απαιτήσεις της γαλακτοβιομηχανίας, εισέρχεται σε μία από τις πέντε εξωτερικές δεξαμενές παραλαβής του εργοστασίου και είναι πλέον διαθέσιμο για επεξεργασία. Σε διαφορετική περίπτωση το γάλα κρίνεται ακατάλληλο και απορρίπτεται. Το γάλα που εισέρχεται στις δεξαμενές της βιομηχανίας μπορεί να παραμείνει εκεί για διάστημα το πολύ δύο ημερών. Με αυτούς τους τρόπους εξασφαλίζεται η ανώτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος.



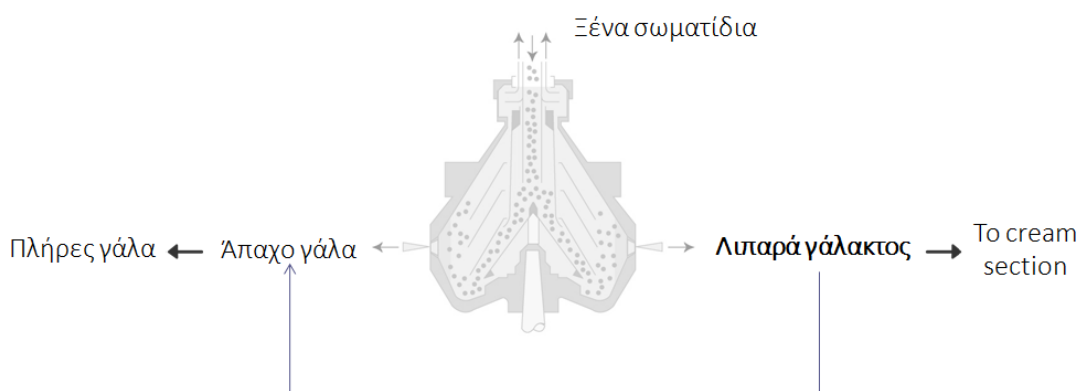
Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση διαδικασίας παραλαβής φρέσκου γάλακτος

## 2. Απαέρωση - Δοχείο σταθερής στάθμης (Balance Tank Deaeration)

Με την έναρξη της παραγωγής το νωπό γάλα (γάλα που δεν έχει υποστεί καμία θερμική επεξεργασία) από μία εξωτερική δεξαμενή εισέρχεται στην εσωτερική γραμμή παραγωγής του εργοστασίου περνώντας πρώτα από το σύστημα απαέρωσης, το οποίο αποτελεί βασικό κομμάτι της διαδικασίας της παστερίωσης, καθώς απομακρύνει τον αέρα από το κύκλωμα. Εν απουσία του η δημιουργία φυσαλίδων στη ροή του γάλακτος θα επέφερε βλάβη στη λειτουργία των φυγοκεντρικών αντλιών, οι οποίες ρυθμίζουν και κατευθύνουν την ροή. Καθώς το γάλα περνάει μέσα από το BTD, η στάθμη στο εσωτερικό του παραμένει σταθερή ανάμεσα σε ένα εύρος τιμών (High Level – Low Level), το οποίο ανταποκρίνεται στην δυναμικότητα της γραμμής παραγωγής. Μετά την απομάκρυνση του αέρα το γάλα υφίσταται την πρώτη του αναθέρμανση με την βοήθεια ενός πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι το γάλα βρίσκεται πλέον στην θερμοκρασία των 45-55°C.

## 3. Φυγοκέντρωση – Αποκορύφωση

Το προθερμασμένο γάλα (50°C) υπόκειται σε φυγοκεντρικό διαχωρισμό με τη βοήθεια του βακτηριοφάνου με στόχο τον διαχωρισμό της κρέμας γάλακτος και του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται απομάκρυνση των μικροβιακών κυττάρων, που λόγω της αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες ενδέχεται να επιβίωναν και μετά την παστερίωση. Έτσι το παστεριωμένο γάλα μπορεί να διατηρηθεί έως και 10 μέρες, ενώ η νομοθεσία επιβάλλει η ημερομηνία λήξης να απέχει 5 μέρες από την ημερομηνία παραγωγής. Επιπλέον επιτυγχάνεται απομάκρυνση των ξένων σωματιδίων του νωπού γάλακτος.

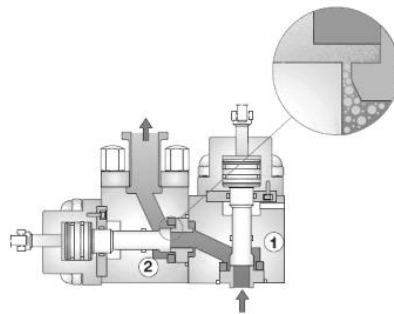


Ανάλογα με την λιποπεριεκτικότητα του γάλακτος που πρόκειται να παραχθεί (πλήρες ή ελαφρύ) εισέρχεται στο άπαχο γάλα η αντίστοιχη ποσότητα λιπαρών. Εάν πρόκειται να παραχθεί άπαχο γάλα 0% τα λιπαρά του γάλακτος μεταφέρονται στο τμήμα παραγωγής κρέμας.

**Εικόνα 5: Αρχή λειτουργίας κορυφολόγου**

#### 4. Ομογενοποίηση κρέμας γάλακτος – Τυποποίηση λίπους

Το στάδιο της ομογενοποίησης είναι απαραίτητο ανεξάρτητα από τον τύπο του γάλακτος που πρόκειται να παραχθεί (πλήρες, ελαφρύ ή άπαχο), προκειμένου να επιτευχθεί η τυποποίηση λίπους του παραγόμενου προϊόντος. Ωστόσο ο ομογενοποιός έχει και έναν ακόμα βασικότερο ρόλο. Πιο συγκεκριμένα ο ομογενοποιός κρέμας γάλακτος της γαλακτοβιομηχανίας είναι δύο σταδίων. Αυτό σημαίνει ότι το γάλα αναγκάζεται να περάσει πρώτα από μία βαλβίδα υψηλής πίεσης (180 bar) με στόχο την διάσπαση των μεγάλων λιποσφαιρίων του σε λιποσφαίρια μικρότερου μεγέθους. Ωστόσο τα διασπασμένα λιποσφαίρια έχουν την τάση να δημιουργούν συσσωματώματα. Για τον λόγο αυτό το γάλα περνάει και από μία δεύτερη βαλβίδα χαμηλής πίεσης (40 bar) προκειμένου να επιτευχθεί διάσπαση και αυτών των δεσμών. Ορατό αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η ομοιογενής εμφάνιση του γάλακτος χωρίς διαχωρισμό λίπους στην επιφάνεια, ειδικά όταν ζεσταθεί, καθώς και το λευκότερο χρώμα και η καλύτερη γεύση του τελικού προϊόντος. Μετά την ομογενοποίησή του το γάλα κατευθύνεται και πάλι προς τον εναλλάκτη θερμότητας, με στόχο να αποκτήσει την θερμοκρασία παστερίωσης, η οποία όπως ορίζεται από την νομοθεσία για το φρέσκο παστεριωμένο γάλα είναι οι 71,7-78°C.



Εικόνα 6: Εσωτερικό ομογενοποιού

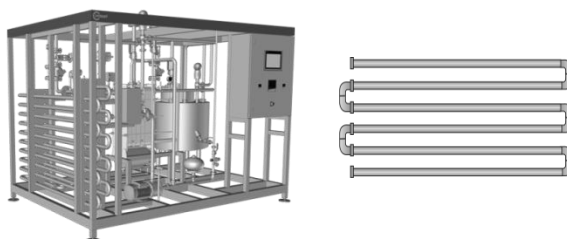
#### 5. Απόσμηση

Εκμεταλλεύομενη τους ατμούς λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που έχει αποκτήσει το γάλα, λαμβάνει χώρα η διεργασία της απόσμησης μέσω του Deodorizer. Πρόκειται για μία αντλία κενού, η οποία εξαφανίζει τα πτητικά στοιχεία του γάλακτος που έχει θερμανθεί πλέον στους 71,8°C, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την δυσάρεστη, βαριά μυρωδιά του.

#### 6. Παστερίωση

Για τη βιομηχανία των γαλακτοκομικών προϊόντων ο όρος παστερίωση περιγράφει την θερμική επεξεργασία που υφίσταται το γάλα με στόχο την καταστροφή των παθογόνων και αλλεργιογόνων μικροοργανισμών που μπορεί να περιέχει. Η παστερίωση πραγματοποιείται στο Holding Pipe, ένα σύστημα αποτελούμενο από 9 διπλούς σωλήνες διαμέτρου 65mm μέσα στους οποίους το γάλα, καθώς ρέει, παραμένει στην θερμοκρασία των 72°C. Όπως ορίζεται από τη νομοθεσία, το γάλα δεν μπορεί να παραμείνει σε αυτή τη θερμοκρασία για

πάνω από 15 δευτερόλεπτα. Με αυτό τον γνώμονα έγινε η επιλογή του μήκους και της διαμέτρου αυτών των σωλήνων από τον μηχανικό σχεδιασμό της γραμμής παραγωγής του εργοστασίου. Αυτή η μέθοδος παστερίωσης ονομάζεται παστερίωση Υψηλής Θερμοκρασίας (High Temperature Short Time) και μέσω αυτής επιτυγχάνεται παράταση του χρόνου συντήρησης.



**Εικόνα 7: Holding Pipe παστερίωσης**

Μέχρι αυτό το σημείο το διάγραμμα ροής είναι κοινό για την παραγωγή γάλακτος και την παραγωγή γιαουρτιού. Όταν πρόκειται για παραγωγή γάλακτος το παστεριωμένο γάλα κατευθύνεται προς τις εμφιαλωτικές μηχανές της γραμμής παραγωγής για συσκευασία στους αντίστοιχους περιέκτες και από εκεί στα ψυγεία, όπου αποθηκεύεται προσωρινά μέχρι να γίνει η παραλαβή της παραγγελίας από τα επικαθήμενα φορτηγά.

Στην παραγωγή του γιαουρτιού, ωστόσο, το διάγραμμα ροής είναι πιο περίπλοκο και δεν ολοκληρώνεται εδώ, αλλά περιλαμβάνει επιπλέον βήματα.

#### 7. Προσωρινή αποθήκευση άπαχου γάλακτος (0%)

Μετά την παστερίωση του άπαχου γάλακτος στη θερμοκρασία των 72°C, το γάλα κατευθύνεται προς τη γραμμή παραγωγής γιαουρτιού, όπου αποθηκεύεται προσωρινά σε τρία σιλό. Λόγω απώλειας θερμότητας με φυσικές διεργασίες το γάλα ψύχεται. Για τον λόγο αυτό προθερμαίνεται και πάλι με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας για να αποκτήσει την θερμοκρασία των 55-65°C.

#### 8. Δεύτερη παστερίωση γάλακτος

Η σωληνογραμμή του στραγγιστού γιαουρτιού έχει παροχή περίπου 15 m<sup>3</sup>/h χωρίς να παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις. Ο ρυθμός αυτός παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας και καθορίζει το χρόνο στον οποίο θα γεμίσει το σιλό. Με την έξοδο του γάλακτος από τα σιλό όπου αποθηκεύεται προσωρινά ξεκινάει η δεύτερη παστερίωση, η οποία εξαιτίας του σταθερού ρυθμού και της δεδομένης χωρητικότητας της δεξαμενής, μπορεί να υπολογιστεί. Η διάρκεια της παστερίωσης για ένα σιλό γάλακτος υπολογίζεται στα 105 με 107 λεπτά συνολικά (1,75 περίπου της ώρας). Η



διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στους 92°C για ορισμένα δευτερόλεπτα, και σε αυτό το χρονικό διάστημα έχουν σκοτωθεί όλοι οι επιβλαβείς μικροοργανισμοί που πιθανόν να υπήρχαν στο γάλα χωρίς όμως αυτό να χάσει τα θρεπτικά του συστατικά. Σχεδόν ταυτόχρονα με το στάδιο αυτό γίνεται η προσθήκη της μαγιάς. Είναι δύο διεργασίες που γίνονται παράλληλα και η διάρκεια τους θεωρείται αμελητέα λαμβάνοντας υπόψη τον συνολικό χρόνο παραγωγής του γιαουρτιού.

## 9. Εμβολιασμός

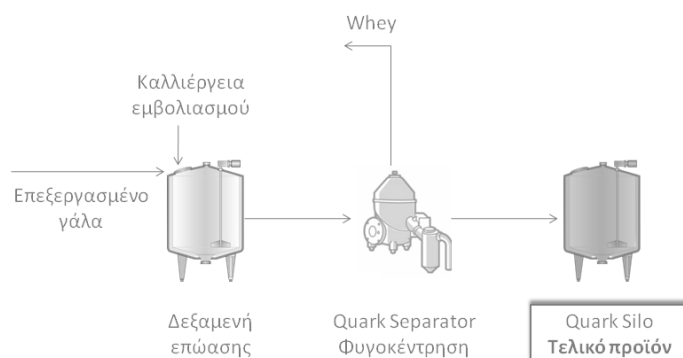
Το γάλα μετά την ψύξη του στους 45°C υπόκειται σε μία διαδικασία ζύμωσης, η οποία λαμβάνει χώρα στις δεξαμενές επώασης και στόχο έχει την μετατροπή του γάλακτος σε πήγμα. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται με την διοχέτευση οξυγαλακτικής καλλιέργειας μικροοργανισμών (*Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus*) και αποτελεί τον καταλύτη για την έναρξη της ζύμωσης και την πήξη του γάλακτος. Με κατάλληλο εσωτερικό μηχανισμό πραγματοποιείται πολύ καλή ανάδευση στο εσωτερικό των δεξαμενών επώασης, ώστε η καλλιέργεια εμβολιασμού (whey) να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλο τον όγκο τους. Πλέον το περιεχόμενο των δεξαμενών δεν είναι γάλα ή ενδιάμεσο προϊόν, αλλά άπαχο στραγγιστό γιαούρτι 0%, το οποίο μέσω φυσικών διεργασιών εναλλαγής θερμότητας βρίσκεται στους 25°C. Προκειμένου το γιαούρτι να ανακτήσει την θερμοκρασία των 45°C περνάει και πάλι μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας και στη συνέχεια κατευθύνεται προς το Quark Separator.

## 10. Επώαση μικροοργανισμών και πήξιμο γάλακτος

Οι μικροοργανισμοί μετά τον εμβολιασμό αναπτύσσονται χάρη στις ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν στο μέσο ανάπτυξης μεταβολίζοντας τη λακτόζη. Η συμβιωτική σχέση των μικροοργανισμών οδηγεί σε πολλαπλές μεταβολές του pH στο εσωτερικό των δεξαμενών επώασης και σε μία σειρά χημικών αντιδράσεων που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πλέγματος που συγκρατεί το νερό, καθώς και συστατικά του επεξεργασμένου γάλακτος, σχηματίζοντας το χαρακτηριστικό πήγμα του γιαουρτιού. Στις δύο ώρες έχουν αρχίσει να είναι ορατές οι πρώτες αποικίες μικροοργανισμών και σε τέσσερις ώρες ο αριθμός τους ξεπερνά τους  $10^7$  κύτταρα ανά γραμμάριο (ελάχιστη αριθμός στο τελικό προϊόν). Κατά την επώαση, πραγματοποιούνται από τα οξυγαλακτικά βακτήρια οι σημαντικές μεταβολές των συστατικών του γάλακτος, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Η θερμοκρασία επώασης συμπίπτει με την θερμοκρασία στην οποία προστίθεται η καλλιέργεια εκκίνησης και είναι συνήθως 43-45°C. Στην περίπτωση του στραγγιστού γιαουρτιού, η επώαση των μικροοργανισμών του εμβολιασμού προηγείται της συσκευασίας του.

## 11. Φυγοκέντρηση με Quark Separator – Αποβολή ορού

Μετά την ανάδευση και την πήξη το προϊόν είναι μεν άπαχο στραγγιστό γιαούρτι 0% από το οποίο, όμως, πρέπει να αφαιρεθεί το νερό μαζί με ένα μέρος του ορού του εμβολιασμού (whey). Η αφαίρεση αυτή επιτυγχάνεται με την βοήθεια του διαχωριστή Quark Separator, ο οποίος υποβάλλει το πήγμα σε φυγοκεντρικό διαχωρισμό. Έτσι επιτυγχάνεται η παραγωγή πήγματος με αυξημένη αναλογία στερεών. Στη συνέχεια το τελικό πλέον προϊόν ψύχεται μέσω του Quark Cooler και κατευθύνεται προς τα δύο Quark Silos, όπου αποθηκεύεται μέχρι να ξεκινήσει η διαδικασία εμφιάλωσης στις τρεις εμφιαλωτικές μηχανές της γραμμής παραγωγής. Πλέον στα δύο μεγάλα σιλό περιέχεται το τελικό προϊόν που είναι το άπαχο λευκό στραγγιστό γιαούρτι.



Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση αποβολής ορού εμβολιασμού

### 2.2. Συσκευαστική γραμμή στραγγιστού γιαουρτιού

Η συσκευασία του τελικού προϊόντος στα ειδικά διαμορφωμένα για τον κάθε πελάτη κύπελλα αποτελεί το τελικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας. Όπως και σε όλα τα προηγούμενα στάδια η ασφάλεια και η εξασφάλιση της ανώτερης ποιότητας του τελικού προϊόντος αποτελεί την πρώτη και βασική προτεραιότητα για την γαλακτοβιομηχανία, έτσι και στην εμφιάλωση η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη, ώστε το γιαούρτι να κυκλοφορεί σε αποστειρωμένο περιβάλλον. Η εμφιάλωση του τελικού προϊόντος πραγματοποιείται από τρεις πληρωτικές μηχανές (Filling Machines) υψηλής δυναμικότητας, δύο κύριες και μία εφεδρική, η διαφορά των οποίων έγκειται στο μέγεθος του κυπέλλου με το οποίο δουλεύουν.

«Απειλή» για το αποστειρωμένο περιβάλλον της γραμμής παραγωγής γιαουρτιού αποτελούν τα κύπελλα με τους διαφορετικούς κωδικούς προϊόντων γιαουρτιού, τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό οι κατασκευαστές των μηχανών που προορίζονται για τις βιομηχανίες τροφίμων έχουν προσθέσει στην αρχή λειτουργίας τους την αποστείρωση των κυπέλλων με υπεροξείδιο πριν εισαχθεί σε αυτά το παραγόμενο προϊόν. Φυσικά αυτό δεν αναιρεί την τήρηση αυστηρών υγειονομικών μέτρων για την αποφυγή επιμολύνσεων τόσο από το περιβάλλον, όσο και από τους χειρισμούς και το προσωπικό.

Ο χειρισμός της συσκευαστικής μηχανής πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό μέσω ενσωματωμένης οθόνης PLC και παρακολουθείται από το κέντρο ελέγχου της γαλακτοβιομηχανίας, το οποίο επιβλέπει ανά πάσα στιγμή όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Ο χειριστής της κάθε βάρδιας είναι υπεύθυνος για τον σωστό προγραμματισμό της συσκευαστικής μηχανής, ώστε να ξεκινήσει η συσκευαστική διαδικασία για τις τρέχουσες παραγγελίες, αλλά και για την επιτήρησή της καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της. Στις αρμοδιότητές του ανήκει επιπλέον ο εφοδιασμός της μηχανής με τα κύπελλα του πελάτη στον οποίο αντιστοιχεί το προϊόν που επεξεργάζεται η μηχανή την εκάστοτε περίοδο. Σε περίπτωση βλάβης ένα άνοιγμα της πόρτας της μηχανής την θέτει αυτόματα εκτός λειτουργίας μέχρι την επιδιόρθωσή της, εξασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την ασφάλεια του προσωπικού, αλλά και την μη απώλεια προϊόντος.

Έχοντας στα χέρια του το πρόγραμμα της παραγωγής, το οποίο του έχει δοθεί από τον Υπεύθυνο Παραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας, ο χειριστής γνωρίζει ακριβώς τις ποσότητες που πρέπει να παραχθούν από κάθε κωδικό προϊόντος προκειμένου να ολοκληρωθεί η παραγγελία όλων των πελατών. Καθώς ένας τύπος προϊόντος μπορεί να αντιστοιχεί σε περισσότερους από έναν πελάτες, άρα και σε περισσότερους κωδικούς κυπέλλων, κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μηχανής πραγματοποιούνται αλλαγές στα κύπελλα με τα οποία δουλεύει η μηχανή, ενώ το προϊόν προς συσκευασία παραμένει ίδιο. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η διεκπεραίωση των παραγγελιών με βάση τον πελάτη και όχι τον τύπο του προϊόντος δεν αποτελεί την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού, καθώς αυξάνει κατά πολύ τον αριθμό των εναλλαγών και οδηγεί σε άσκοπες επαναλήψεις αυτών.

Ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί αυτή η εναλλαγή από κωδικό πελάτη σε κωδικό πελάτη για το ίδιο προϊόν αποτελεί σημαντική παράμετρο στο μοντέλο χρονικού προγραμματισμού, καθώς επηρεάζει τον αριθμό των εναλλαγών που οδηγούν στη βέλτιστη λύση. Ο χαρακτηριστικός αυτός χρόνος κυμαίνεται μεταξύ δύο και πέντε λεπτών, εάν η εναλλαγή από κωδικό σε κωδικό πραγματοποιείται από δύο άτομα ή ένα άτομο αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια της εναλλαγής η συσκευαστική μηχανή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής.

Η πιο πολύπλοκη γραμμή συσκευασίας είναι αυτή του άπαχου στραγγιστού γιαουρτιού, λευκό ή με γεύσεις και σε κύπελλα διαφορετικών μεγεθών. Σε αυτή την περίπτωση η γραμμή συσκευασίας αποτελείται από τρεις μηχανές, δύο κύριες και μία εφεδρική, οι οποίες λειτουργούν παράλληλα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη, αλλά μοιράζονται κοινούς πόρους από τα δύο Quark Silos. Μέσω του βαλβιδολογίου (Valve Cluster), το οποίο ρυθμίζει και κατευθύνει την ροή του γιαουρτιού μέσα στο κύκλωμα, οι τρεις μηχανές συνδέονται με τα δύο Quark Silos, στα οποία περιέχεται άπαχο λευκό στραγγιστό γιαούρτι έτοιμο προς συσκευασία.

Ανεξάρτητα από το μέγεθος του κυπέλλου που επεξεργάζονται, οι συσκευαστικές μηχανές μοιράζονται έναν σύνολο κοινών αρχών λειτουργίας. Αρχικά, ο χειριστής επιλέγει με ποιο από τα δύο Quark Silos θα τροφοδοτήσει την συσκευαστική μηχανή. Η τροφοδοσία αυτή επιτυγχάνεται μέσω του Valve Cluster, το οποίο διαθέτει δύο εισόδους, μία για κάθε Silo, και τρεις εξόδους, μία για κάθε συσκευαστική μηχανή. Στη συνέχεια ο χειριστής

εφοδιάζει τις ειδικές στήλες της μηχανής με τα κύπελλα που αντιστοιχούν στον κωδικό προϊόντος που πρόκειται να εμφιαλωθεί στοιβάζοντας τα και σηματοδοτώντας την έναρξη λειτουργίας της γεμιστικής μηχανής. Από τη στιγμή που η μηχανή θα τεθεί σε λειτουργία από τον χειριστή η διαδικασία γίνεται αυτοματοποιημένη.

Το πρώτο από κάτω κύπελλο της στήλης είναι και το πρώτο που θα χρησιμοποιήσει η μηχανή, δηλαδή τα κύπελλα προωθούνται με τρόπο FIFO (Fist In First Out). Η μηχανή καθαρίζει τα κύπελλα από ξένα σωματίδια, όπως σκόνη, με καθαρό αέρα υπό πίεση και στη συνέχεια τα αποστειρώνει με τη χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος επιμόλυνσης του τελικού προϊόντος από ξένους παθογόνους μικροοργανισμούς.

Τα αποστειρωμένα πλέον κύπελλα προωθούνται στο επόμενο βήμα, όπου πραγματοποιείται η πλήρωση τους με την καθορισμένη ποσότητα στραγγιστού γιαουρτιού με μέγιστο ρυθμό 12 000 cups/hr, εάν πρόκειται για κύπελλα μικρού μεγέθους ή 3 000 cups/hr, εάν πρόκειται για κύπελλα μεγάλου μεγέθους. Στη συνέχεια στα γεμάτα κύπελλα τοποθετείται στεγανωτικό φύλλο αλουμινίου με θερμοκόλληση, το οποίο έχει πρώτα αποστειρωθεί με τρόπο παρόμοιο με εκείνο των κυπέλλων. Τα γεμάτα και αεροστεγώς σφραγισμένα κύπελλα εξέρχονται από το cabinet της μηχανής και προωθούνται στην μεταφορική ταινία, όπου με χρήση laser αναγράφεται πάνω στο αλουμινόφυλλο η ημερομηνία λήξης, ο αριθμός της παρτίδας και ο κωδικός της μηχανής στην οποία συσκευάστηκε το κύπελλο. Ταυτόχρονα με ακτίνες X ελέγχεται εάν το εσωτερικό του προϊόντος είναι καθαρό από ξένα σωματίδια που εξαιρετικά σπάνια μπορεί να βρεθούν σαν αποτέλεσμα αναπάντεχης αστοχίας της πληρωτικής μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται και ένα μέρος του ποιοτικού ελέγχου του τελικού προϊόντος που πρόκειται να φτάσει στα ράφια των καταναλωτών.

Η δυναμικότητα της μεταφορικής ταινίας, ή αλλιώς ταινιόδρομου, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την δυναμικότητα της πρώτης μηχανής στη συσκευαστική γραμμή, προκειμένου να μην μπλοκάρει και διακόπτει την συνεχή ροή της διαδικασίας. Η μηχανή «σπρώχνει» με το επόμενο το προηγούμενο κύπελλο με αποτέλεσμα ο ταινιόδρομος να είναι γεμάτος κύπελλα γιαουρτιού κινούμενα προς τη μηχανή Sleeve (Sleeve Machine), εάν πρόκειται για μέρη πολυσυσκευασίας ή προς τον ρομποτικό βραχίονα (Pick-and-Place Machine), εάν πρόκειται για κύπελλα που πρόκειται να πωληθούν μεμονωμένα.

Τόσο η μηχανή Sleeve όσο και ο ρομποτικός βραχίονας ανήκουν στα μηχανήματα δευτερογενούς συσκευασίας. Η παρουσία της δευτερογενούς συσκευασίας στη γραμμή είναι απαραίτητη, καθώς συμβάλλει στην ευκολότερη μεταφορά, φόρτωση και εκφόρτωση, των προϊόντων και στη μείωση του κινδύνου βλάβης τους. Επιπλέον, έχοντας υπόψη πως οι πολυσυσκευασίες συχνά επηρεάζουν την τελική απόφαση των καταναλωτών, οι μηχανές Sleeve εξυπηρετούν το marketing plan της γαλακτοβιομηχανίας, αλλά και των άμεσων πελατών της, που δεν είναι άλλοι από τα καταστήματα τροφίμων. Ο αυτοματισμός και όλης της δευτερογενούς γραμμής συσκευασίας επιτρέπει ακόμα την ταχύτατη προσαρμογή της γαλακτοβιομηχανίας στις τάσεις της αγοράς και στον ανταγωνισμό, από τη στιγμή που το βάρος των μεταβολών δεν επωμίζεται το ανθρώπινο δυναμικό.

Ο ρόλος της δευτερογενούς συσκευασίας είναι η δημιουργία των ευρέως γνωστών ως «2+1 δώρο» πολυσυσκευασιών που λαμβάνει χώρα στην αυτόματη συρρικνωτική μηχανή πολυσυσκευασιών, ή αλλιώς Sleeve Machine, η οποία στην περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας θερμοσυρρικνώνει χαρτόνι (sleeve). Προκειμένου η ροή να είναι συνεχής σε όλο το μήκος της συσκευαστικής γραμμής, η δυναμικότητα της μηχανής Sleeve πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την δυναμικότητα της πρώτης συσκευαστικής μηχανής, δηλαδή μεγαλύτερη από 12 000 cups/hr. Συγκεκριμένα η δυναμικότητα της Sleeve μηχανής είναι 15 000 cups/hr ή 5 000 triplets/hr. Η ίδια μηχανή διαθέτει έναν ρομποτικό βραχίονα, ο οποίος ομαδοποιεί τις τριπλέτες σε χαρτόδισκους, τοποθετώντας τέσσερις τριπλέτες ανά χαρτόδισκο. Έπειτα, ένας υπάλληλος της βάρδιας επιβεβαιώνει ότι οι τριπλέτες έχουν σφραγιστεί σωστά και φέρουν την απαραίτητη ημερομηνία λήξης. Τέλος, ομαδοποιεί τους γεμάτους χαρτόδισκους σε στήλες των πέντε προκειμένου να μεταφερθούν στο βιομηχανικό δωμάτιο-ψυγείο, όπου αποθηκεύονται προσωρινά μέχρι την άφιξη του επικαθήμενου φορτηγού για την φόρτωση της παραγγελίας.



**Εικόνα 9: Pick-and-Place, στιγμότυπα από την παραγωγή της Νεογά Α.Ε.**

Στην περίπτωση που τα κύπελλα που συσκευάζονται δεν αποτελούν μέρη πολυσυσκευασιών, αλλά πρόκειται να πωληθούν μεμονωμένα, οδηγούνται από τον ταινιόδρομο που βρίσκεται στην έξοδο της συσκευαστικής μηχανής απευθείας στον ρομποτικό βραχίονα, παρακάμπτοντας την μηχανή Sleeve. Ο ρομποτικός βραχίονας τα τοποθετεί με τον ίδιο τρόπο σε χαρτόδισκους των έξι. Μόλις ολοκληρωθεί αυτό το βήμα οι χαρτόδισκοι εξέρχονται από το εσωτερικό της μηχανής Pick-and-Place και προωθούνται στον επόμενο ταινιόδρομο, όπου ένας υπάλληλος πραγματοποιεί τον τελικό ποιοτικό

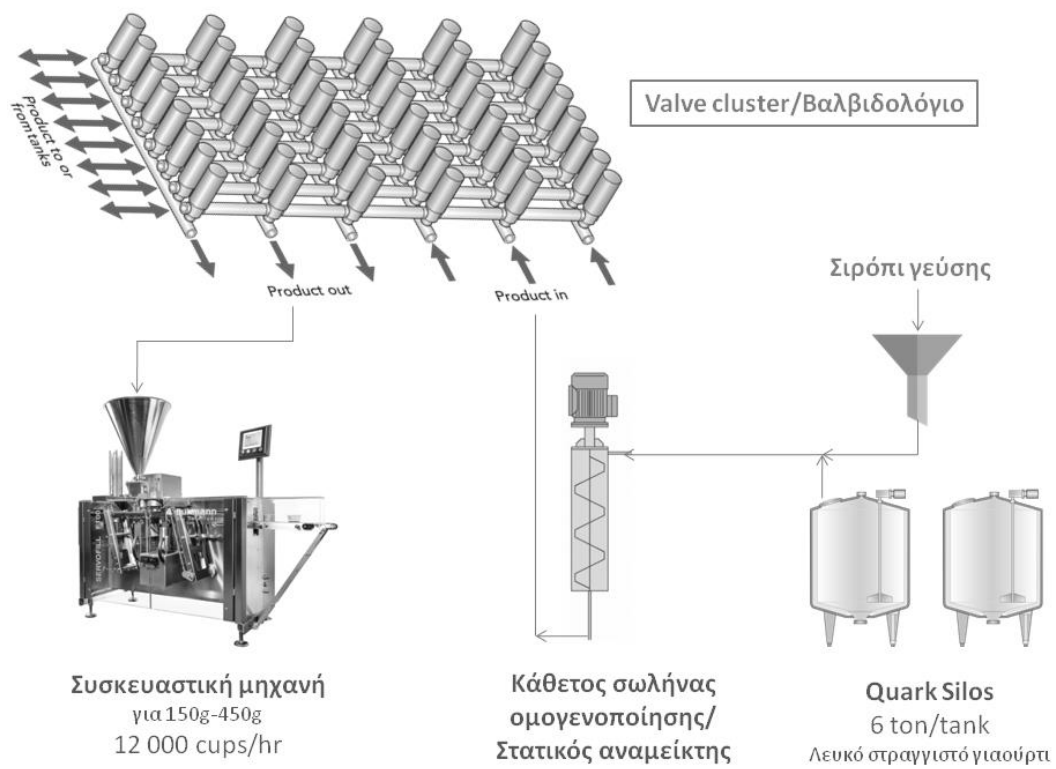
έλεγχο, επιβεβαιώνοντας πως όλα τα κύπελλα είναι σφραγισμένα αεροστεγώς και φέρουν στο επάνω μέρος την ημερομηνία λήξης. Στη συνέχεια οι χαρτόδισκοι ομαδοποιούνται σε στήλες των πέντε και τα αποθηκεύονται προσωρινά στο δωμάτιο-ψυγείο μέχρι την προγραμματισμένη παραλαβή της παραγγελίας.

### 2.2.1 Συσσκευαστική γραμμή γιαουρτιού με γεύσεις

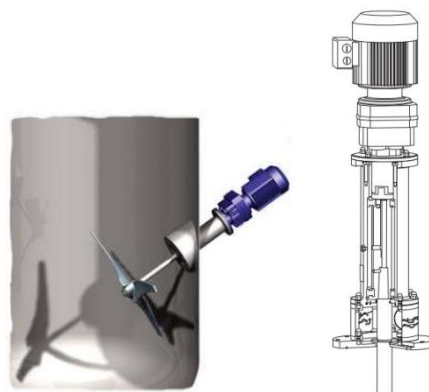
Τα βασικά μεγέθη κυπέλλου για την πώληση του στραγγιστού γιαουρτιού με γεύσεις είναι αυτά των 150 και των 170 γραμμαρίων. Η μικρή διαφορά στο μέγεθος είναι απόρροια των τάσεων που επικρατούν στις αγορές των διαφορετικών χωρών, καθώς ένα μεγάλο μέρος του πελατολογίου της γαλακτοβιομηχανίας αποτελείται από πελάτες εξωτερικού. Λόγω της μικρής διαφοράς στο βάρος, η συσκευασία των δύο μεγεθών λαμβάνει χώρα στην ίδια μηχανή χωρίς να επηρεάζεται η δυναμικότητά της, αφού η διαφορά στον χρόνο εμβολισμού θεωρείται αμελητέα. Στην περίπτωση του λευκού γιαουρτιού, ωστόσο, η οποία θα εξεταστεί παρακάτω, ο χρόνος εμβολισμού φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την δυναμικότητα της μηχανής και κατά συνέπεια τον χρόνο παραγωγής.

Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο του διαγράμματος ροής του γιαουρτιού, το τελικό προϊόν που περιέχεται στα δύο Quark Silos από τα οποία τροφοδοτούνται οι δύο συσκευαστικές μηχανές είναι το άπαχο λευκό στραγγιστό γιαούρτι. Προκειμένου να παραχθεί άπαχο στραγγιστό γιαούρτι με γεύση είναι απαραίτητο να προστεθεί στην συσκευαστική διαδικασία ένα επιπλέον βήμα, αυτό της προσθήκης του σιροπιού γεύσης (φρούτου ή καφέ) και της ομογενοποίησης του. Η προσθήκη του σιροπιού γεύσης και η ομογενοποίηση του με το στραγγιστό γιαούρτι πραγματοποιούνται εξωτερικά των δύο Silos. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ο χρονοβόρος και διεξοδικός καθαρισμός των Silos κάθε φορά που πρέπει να γίνει μία εναλλαγή στην γεύση του συσκευαζόμενου προϊόντος. Τόσο ο εξωτερικός σωλήνας ομογενοποίησης όσο και η υποδοχή για το χωνί του σιροπιού βρίσκονται ακριβώς έξω από τα σιλό, προκειμένου να είναι ταχύτερος ο ρυθμός της παραγωγής.

Η προσθήκη της κατάλληλης ποσότητας του σιροπιού γεύσης πραγματοποιείται από έμπειρο προσωπικό με τη βοήθεια ενός εξωτερικού χωνιού και η ομογενοποίηση του με το λευκό γιαούρτι επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κάθετου εξωτερικού σωλήνα ανάδευσης (Side Mounted Agitator). Όπως φαίνεται παρακάτω, στην εικόνα 10, το silo όπου περιέχεται το λευκό γιαούρτι συνδέεται εξωτερικά με το χωνί μέσω κατάλληλης υποδοχής στην σωληνογραμμή του. Έτσι, με τη βοήθεια κατάλληλης φυγοκεντρικής αντλίας το λευκό γιαούρτι εξέρχεται από το Silo και κυκλοφορεί μέσα στον σωλήνα όπου υπάρχει το σιρόπι της γεύσης. Το ανομοιογενές, ακόμα μείγμα, υποχρεούται να περάσει μέσα από τον κάθετο σωλήνα ανάδευσης, του οποίου το εσωτερικό είναι διαμορφωμένο κατάλληλα, ώστε κατά τη διάρκεια της ροής να πραγματοποιείται η πλήρης ομογενοποίηση του μείγματος γιαουρτιού-σιροπιού γεύσης. Στη συνέχεια το τελικό προϊόν εξέρχεται από τον στατικό αναμείκτη και με τη βοήθεια μίας άλλης φυγοκεντρικής αντλίας κατευθύνεται προς τις σωληνώσεις του βαλβιδολογίου, το οποίο με τη σειρά του το οδηγεί στην συσκευαστική μηχανή των μικρών κυπέλλων για να ξεκινήσει η συσκευασία.



Εικόνα 10: Συσκευαστική γραμμή γιαουρτιού με γεύση



Εικόνα 11: Εσωτερικό σωλήνα ομογενοποίησης / Agitator

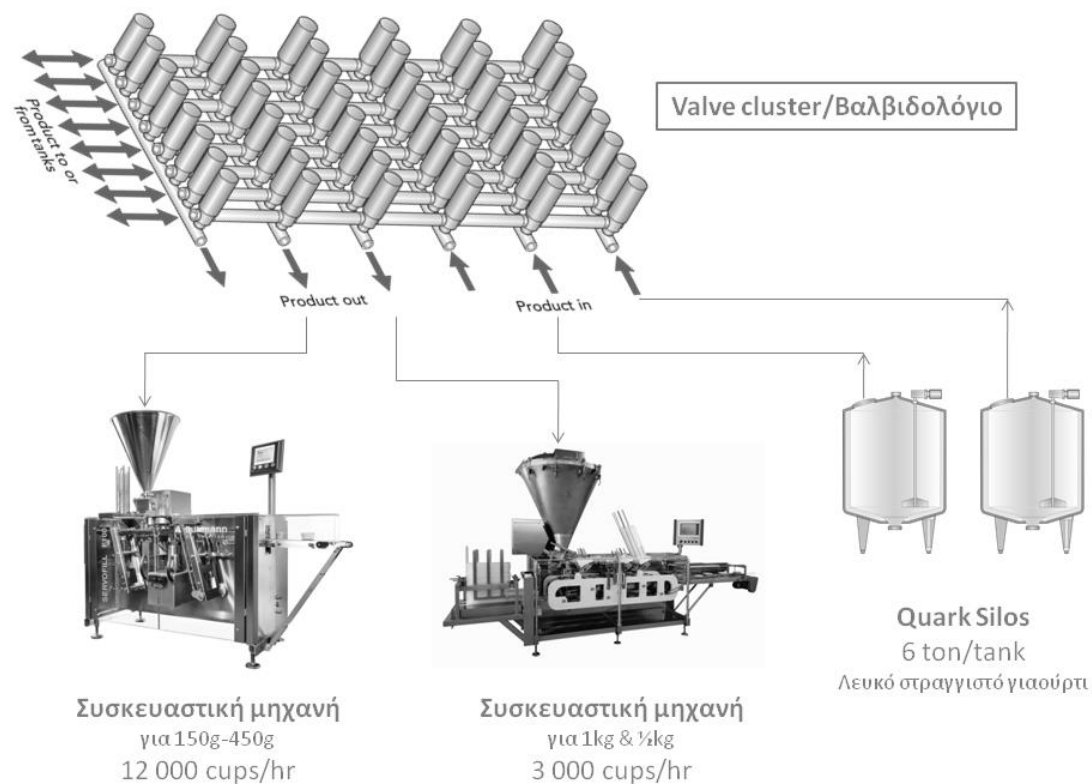
### 2.2.2 Συσκευαστική γραμμή λευκού γιαουρτιού

Τα βασικά μεγέθη κυπέλλου για την πώληση του λευκού στραγγιστού γιαουρτιού είναι αυτά των 150 ή 170 γραμμαρίων, των 450 ή 500 γραμμαρίων και του ενός κιλού. Οι μικρές διαφορές στα μεγέθη των κυπέλλων προκύπτουν από τις διαφορετικές απαιτήσεις των πελατών της γαλακτοβιομηχανίας και από την ανάγκη για προσαρμοστικότητα στις τάσεις της αγοράς. Η μικρή διαφορά στο βάρος του προϊόντος έχει ιδιαίτερη σημασία για την γαλακτοβιομηχανία, καθώς οδηγεί την παραγωγή του συγκεκριμένου κωδικού σε διαφορετική συσκευαστική μηχανή.

Στην περίπτωση του λευκού γιαουρτιού δεν υπάρχει η έννοια του χρόνου εναλλαγής και του χρόνου καθαρισμού, υπάρχει όμως μία άλλη πολύ βασική παράμετρος την οποία πρέπει να λάβουμε υπόψη, ο χρόνος εμβολισμού. Όπως προαναφέρθηκε, η συσκευαστική μηχανή που προορίζεται για μεγέθη κυπέλλου από 150 έως 450 γραμμάρια έχει δυναμικότητα 12 000 cups/hr. Ωστόσο, όταν συσκευάζει κύπελλα των 450 γραμμαρίων η δυναμικότητά της μειώνεται στα 8 000 cups/hr, καθώς αυξάνεται ο χρόνος εμβολισμού λόγω της μεγαλύτερης χωρητικότητας του κυπέλλου. Αντίθετα η συσκευαστική μηχανή που προορίζεται για τα μεγαλύτερα κύπελλα του μισού και του ενός κιλού διατηρεί την μέγιστη δυναμικότητά της ανεξάρτητα από το μέγεθος του κυπέλλου με το οποίο δουλεύει, καθώς είναι σχεδιασμένη να επεξεργάζεται 3 000 κύπελλα του ενός κιλού στο χρονικό διάστημα μίας ώρας. Στην περίπτωση των πεντακοσίων γραμμαρίων η μηχανή δουλεύει με τη μέγιστη δυναμικότητά της, δηλαδή τα 3 000 cups/hr, και όχι μεγαλύτερη λόγω του μικρότερου χρόνου εμβολισμού, καθώς οι συντονισμένες κινήσεις της είναι προγραμματισμένες σε αυτόν τον ρυθμό. Οι μεταβολές αυτές της δυναμικότητας αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στον σχεδιασμό του προγραμματισμού της παραγωγής.

Η συσκευαστική διαδικασία του λευκού γιαουρτιού είναι απλούστερη εκείνης του γιαουρτιού με γεύσεις, καθώς το βήμα της προσθήκης του σιροπιού γεύσης παραλείπεται. Με ένα σύστημα φυγοκεντρικών αντλιών το γιαούρτι εξέρχεται από το σιλό που επιλέγει ο χειριστής και με τη βοήθεια του βαλβιδολογίου κατευθύνεται προς την συσκευαστική μηχανή στην οποία αντιστοιχεί το μέγεθος κυπέλλου που πρόκειται να παραχθεί τη δεδομένη στιγμή. Στην περίπτωση του λευκού γιαουρτιού οι δύο συσκευαστικές μηχανές λειτουργούν παράλληλα, να μοιράζονται κοινούς πόρους και να συσκευάζουν το ίδιο τελικό προϊόν.





Εικόνα 12: Συσκευαστική γραμμή λευκού γιαουρτιού

### 2.3 Κωδικοί προϊόντων γιαουρτιού

Η παρούσα διπλωματική εργασία προσομοιάζει και βελτιστοποιεί τη γραμμή παραγωγής του γιαουρτιού, καθώς από όλο τον κατάλογο των προϊόντων της γαλακτοβιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένου του γάλακτος, των τυροκομικών, των βουτύρων και των προϊόντων που προορίζονται για επαγγελματίες, η κατηγορία των προϊόντων γιαουρτιού είναι εκείνη που απαιτεί την μεγαλύτερη οργάνωση, καθώς διαθέτει τον μεγαλύτερο αριθμό διαφορετικών κωδικών και τις πιο περίπλοκες εναλλαγές μεταξύ αυτών. Το μεγάλο κωδικολόγιο δημιουργείται λόγω του διαχωρισμού των προϊόντων με βάση τον τρόπο παρασκευής τους, την περιεκτικότητά τους σε λιπαρά, το μέγεθος της συσκευασίας τους, το γευστικό τους προφίλ και την εξωτερική τους εμφάνιση.

Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής, διακρίνονται τρεις μεγάλες κατηγορίες προϊόντων γιαουρτιού, τα ευρωπαϊκού τύπου (set), τα αναδευμένου τύπου (stirred) και τα στραγγιστού τύπου (strained). Στην περίπτωση των γιαουρτιών ευρωπαϊκού τύπου (set) το γάλα μαζί με το σιρόπι της γέυσης συσκευάζεται στα πλαστικά κύπελλα σε υγρή μορφή, αποθηκεύεται στα βιομηχανικά ψυγεία και πήζει μέσα στο κύπελλο, με την επώαση να έπεται της συσκευασίας. Αντίθετα, το γιαούρτι αναδευμένου τύπου, καθώς και το στραγγιστό απαιτούν την παραμονή του γάλακτος παρουσία ορού εμβολιασμού και

θερμότητας στις δεξαμενές επώασης προκειμένου να πήξει, να υποστεί ανάδευση και να συσκευαστεί σε δεύτερο χρόνο. Ακόμα, το στραγγιστό γιαούρτι υποβάλλεται σε φυγοκέντρηση και υπερδιήθηση προκειμένου να αποβληθεί ο ορός του εμβολιασμού από το πήγμα μαζί με ένα μέρος διαλύματος νερού και συστατικών του.

Ταυτόχρονα, ανάλογα με την λιποπεριεκτικότητα, τα προϊόντα γιαουρτιού διακρίνονται σε πλήρη (6-10% λιπαρά), μεσαίων λιπαρών (3-5% λιπαρά), χαμηλών λιπαρών (1-3% λιπαρά) και αποβουτυρωμένα (0% λιπαρά). Επιπλέον, τα γιαούρτια μπορούν να διακριθούν σε τυποποιημένα ή βιομηχανοποιημένα, τα οποία παρασκευάζονται με τις σύγχρονες βιομηχανικές μεθόδους και εμπεριέχονται σε πλαστικά κύπελλα και σε παραδοσιακά τα οποία συσκευάζονται σε πήλινα δοχεία. Τέλος, ένας ακόμα διαχωρισμός γίνεται με βάση το είδος του γάλακτος από το οποίο παρασκευάζονται τα προϊόντα γιαουρτιού, το οποίο μπορεί να είναι αγελαδινό ή πρόβειο.

Η ψαλίδα του διαχωρισμού, ωστόσο, δεν κλείνει εδώ. Τα τελικά προϊόντα μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το επιθυμητό βάρος της συσκευασίας, δημιουργώντας την ανάγκη για διανομή τους σε διαφορετικές γραμμές συσκευασίας, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά ως προς την δυναμικότητα τους. Οι γραμμές συσκευασίας που διαθέτει η γαλακτοβιομηχανία είναι οι παρακάτω:

- Δύο γραμμές συσκευασίας, μία κύρια και μία εφεδρική, για τους περιέκτες των 150 έως 450 γραμμαρίων
- Μία γραμμή συσκευασίας για τους περιέκτες των 500 έως 1000 γραμμαρίων
- Μία γραμμή συσκευασίας για τους επαγγελματικούς περιέκτες των 5000 γραμμαρίων

Ακόμα, μία ακόμα σημαντική κατηγοριοποίηση των προϊόντων γίνεται με βάση το γευστικό τους προφίλ, όπου οι τάσεις της αγοράς έχουν αυξήσει τη ζήτηση για διαφορετικές και πρωτότυπες γεύσεις γιαουρτιού. Τέλος, η ύπαρξη όλης αυτής της μεγάλης γκάμας προϊόντων δημιουργεί την ανάγκη για διαφοροποίηση της εξωτερικής εμφάνισης περιεκτών τους. Καθώς η γαλακτοβιομηχανία δεν προμηθεύει την αγορά μόνο με προϊόντα που φέρουν τη δική της επωνυμία (Branded Label), αλλά συσκευάζει και προϊόντα για λογαριασμό τρίτων, τα οποία φέρουν τη δική τους ιδιωτική ετικέτα (Private Label), μία οικογένεια προϊόντων απαιτεί την συσκευασία τους σε περιέκτες διαφορετικών επωνυμιών και κυπέλλων.

Το σύνολο των κωδικών που μοιράζονται κοινή συνταγή (fermentation) και κοινά χαρακτηριστικά επεξεργασίας ομαδοποιείται σε μία οικογένεια προϊόντων (product family group). Με αυτόν τον τρόπο η παραγωγή εκτελείται σε παρτίδες (Batch production), οι οποίες παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Branded Label κωδικοί
Γιαούρτι αγελάδος 3,90% 200g
Γιαούρτι αγελάδος 2% 200g

Γιαούρτι αγελάδος 0% 200g
Παραδοσιακό γιαούρτι αγελάδος 200g
Παραδοσιακό γιαούρτι πρόβειο 300g

### Στραγγιστό γιαούρτι

10%
Στραγγιστό 10% 10kg
Στραγγιστό 10% 5kg
Στραγγιστό 10% 2.5kg
Στραγγιστό 10% 1kg
Στραγγιστό 10% 500g
Στραγγιστό 10% 450g
Στραγγιστό 10% 400g
Στραγγιστό 10% 200g
Στραγγιστό 10% 150g
Στραγγιστό 10% Organic (Bio) 150g

2%
Στραγγιστό 2% 1kg
Στραγγιστό 2% 200g
Στραγγιστό 2% 150g

0%
Στραγγιστό 0% 5kg
Στραγγιστό 0% 1kg
Στραγγιστό 0% 400g
Στραγγιστό 0% 350g
Στραγγιστό 0% 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση μέλι 170g
Στραγγιστό 0% με γεύση μύρτιλλο 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση βανίλια 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση καφέ 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση ροδάκινο 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση ρόδι 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση λεμόνι 150g
Στραγγιστό 0% με γεύση φράουλα 150g
Στραγγιστό 0% free lactose 150g

Καθώς η εναλλαγή μεταξύ κωδικών που δεν ανήκουν στην ίδια οικογένεια προϊόντων επιτάσσει το πλύσιμο της συσκευαστικής γραμμής, προκειμένου να αποφευχθεί η μετανάστευση χρώματος από τον προηγούμενο κωδικό και η συσκευασία ενδιάμεσου προϊόντος ασύμφωνου με τα αυστηρά κριτήρια του ποιοτικού ελέγχου, η κατηγορία που απαιτεί τον πιο προσεκτικό και αποτελεσματικό προγραμματισμό είναι εκείνη του άπαχου στραγγιστού γιαουρτιού. Λόγω του μεγάλου κωδικολογίου, το οποίο περιλαμβάνει διαφορετικές προσθήκες γεύσεων, ο αριθμός των εναλλαγών και κατά συνέπεια ο νεκρός χρόνος της παραγωγής και οι απώλειες πρώτης ύλης (product loss) είναι μεγαλύτερες. Για τον λόγο αυτό το μοντέλο του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής γιαουρτιού είναι εστιασμένο στα προϊόντα με βάση το στραγγιστό γιαούρτι 0%.

Συμπερασματικά, οι κωδικοί μπορεί να διαφέρουν σε ένα τουλάχιστον από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Προέλευση γάλακτος, λιποπεριεκτικότητα, ειδική διατροφή (π.χ. χωρίς λακτόζη)
- Γευστικό προφίλ
- Μέγεθος κυπέλλου και συνολικό βάρος συσκευασίας
- Ετικέτα και εξωτερική εμφάνιση κυπέλλου συσκευασίας, εξατομικευμένη για κάθε πελάτη

### 2.3.1 Χαρακτηριστικοί χρόνοι εναλλαγής

Από την παρατήρηση του κωδικολογίου προκύπτει ο διαχωρισμός των εναλλαγών σε δύο ευρύτερες κατηγορίες: στις εναλλαγές από έναν κωδικό προϊόντος σε έναν άλλο και στις εναλλαγές από ένα κύπελλο σε ένα άλλο, λόγω διαφορετικού μεγέθους περιέκτη ή διαφορετικού πελάτη, για τον ίδιο κωδικό προϊόντος.

- Για τις εναλλαγές τις πρώτης κατηγορίας ο χρόνος εναλλαγής (changeover time) είναι ίσος με 15 λεπτά και περιλαμβάνει το πλύσιμο της γραμμής γεύσης (εξωτερικό χωνί και εξωτερικός σωλήνας ομογενοποίησης), το οποίο απαιτεί διάστημα 5 λεπτών, καθώς και το πλύσιμο της συσκευαστικής μηχανής το οποίο απαιτεί διάστημα 10 λεπτών.
- Για τις εναλλαγές της δεύτερης κατηγορίας ο χρόνος εναλλαγής είναι ίσος με 5 λεπτά, εάν η εναλλαγή πραγματοποιείται από έναν εργαζόμενο και 2 λεπτά, εάν η εναλλαγή πραγματοποιείται από δύο εργαζόμενους. Αυτή η κατηγορία αλλαγής απαιτεί την παύση της λειτουργίας της μηχανής για την αφαίρεση των κυπέλλων του προηγούμενου πελάτη από τις ειδικές στήλες υποδοχής της συσκευαστικής μηχανής και την τροφοδοσία της με τα

κύπελλα του επόμενου πελάτη. Σε αυτήν την περίπτωση η εναλλαγή δεν συνοδεύεται από απώλεια προϊόντος.

# Κεφάλαιο 3: Ποιοτική περιγραφή του προβλήματος

## 3.1 Μελέτη των κύριων σημείων της γραμμής παραγωγής

Όπως αναλύθηκε η παραγωγική διαδικασία του άπαχου στραγγιστού γιαουρτιού, η ροή μέσα στην γραμμή παραγωγής είναι συνεχής και δεν υπάρχει διακριτοποίηση σε παρτίδες (batching) πριν τη διαμόρφωση του γευστικού προφίλ του τελικού προϊόντος. Για τον λόγο αυτό η κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων εστιάζεται σε αυτό το στάδιο και στο μετέπειτα στάδιο της συσκευασίας (flavoring and packaging stage), το οποίο αποτελεί και το κρισιμότερο σημείο στην βελτιστοποίηση του προγράμματος παραγωγής.

Στο δυναμικό της γραμμής συσκευασίας ανήκουν, όπως προαναφέρθηκε, τρεις πληρωτικές μηχανές, δύο κύριες και μία εφεδρική, οι οποίες λειτουργούν παράλληλα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη, αλλά μοιράζονται κοινούς πόρους (common resources) από τα δύο Quark Silos. Οι δύο κύριες συσκευαστικές μηχανές διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το μέγεθος του κυπέλλου το οποίο διαχειρίζονται και κατά συνέπεια ως προς τη δυναμικότητα τους, λόγω της διαφοράς στο χρόνο εμβολισμού. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη πληρωτική μηχανή επεξεργάζεται κύπελλα μεγέθους 150 έως 450 γραμμαρίων και έχει δυναμικότητα 12 000 cups/hr, ενώ η δεύτερη μηχανή επεξεργάζεται κύπελλα μεγέθους μισού έως ενός κιλού και έχει δυναμικότητα 3 000 cups/hr. Η εφεδρική μηχανή συσκευασίας αντικαθιστά την πρώτη σε περίπτωση βλάβης και η δυναμικότητα της είναι ίση με 8 000 cups/hr.

Οι ημέρες παραγωγής στην κατηγορία του στραγγιστού γιαουρτιού είναι σε εβδομαδιαία βάση πέντε, με κάθε ημέρα να αποτελείται από δύο βάρδιες, μία πρωινή [08:00-16:00] και μία απογευματινή [15:00-23:00] με την ίδια μισθοδοσία/εργατικό κόστος. Επιπλέον, το εργοστάσιο αποφεύγει να απασχολεί εργαζόμενους στη νυχτερινή βάρδια και στις αργίες. Η λειτουργία των μηχανών της γραμμής συσκευασίας κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας απαιτεί προσωπικό έξι ατόμων. Το προσωπικό αυτό απασχολείται στα παρακάτω μηχανήματα:

- Δύο χειριστές, ένας σε κάθε συσκευαστική μηχανή (έναρξη εμφιάλωσης και έλεγχος γραμμής από τον χειριστή της πρωινής βάρδιας)
- Ένας χειριστής στη μηχανή Sleeve (μηχανή πολυσυσκευασιών «2+1 δώρο»)
- Ένας χειριστής στη ρομποτική μηχανή Pick-and-Place
- Ένας εργαζόμενος για την ομαδοποίηση των έτοιμων παλετών
- Ένας εργαζόμενος για την μεταφορά τους στο βιομηχανικό ψυγείο προς προσωρινή αποθήκευση, την ταξινόμησή τους ανά πελάτη και τον χειρισμό της μηχανής χαρτόδισκων (χαρτονέζας) για την τροφοδότηση της μηχανής Pick-and-Place

Λόγω της φύσης του προϊόντος και της περιορισμένης διάρκειας ζωής του (short shelf life) δεν υπάρχει η δυνατότητα διατήρησης αποθέματος για επόμενες παραγγελίες, και έτσι το εργοστάσιο δεν επιβαρύνεται με το αντίστοιχο κόστος αποθεμάτων (inventory cost). Ωστόσο, καθώς δεν υπάρχει κανένα περιθώριο καθυστέρησης στην εκπλήρωση των προθεσμιών (no tardiness) από τη στιγμή που η ημερομηνία φόρτωσης (due date) των προϊόντων είναι προκαθορισμένη και οι παραγγελίες δεν μπορούν να αποσταλούν ελλιπείς, το μέγεθος της παρτίδας από κάθε κωδικό προϊόντος αυξάνεται κατά 5% με στόχο να εξασφαλίζεται ένα μικρό απόθεμα ασφαλείας (safe stock). Με αυτόν τον τρόπο, σε περίπτωση εντοπισμού ελαττωματικών τελικών προϊόντων (για παράδειγμα προϊόντα στα οποία δεν αναγράφεται η ημερομηνία λήξης πάνω στο αλουμινόφυλλο της συσκευασίας ή προϊόντα που δεν έχουν σφραγιστεί σωστά) κατά τον ποιοτικό έλεγχο θα συμπληρώσει την παραγγελία.

Οι υποθέσεις που μπορούν να γίνουν για να είναι εφικτή η εύρεση βέλτιστης λύσης είναι οι ακόλουθες:

- Μόνο μία εργασία μπορεί να διεκπεραιώνεται σε κάθε μηχανή
- Από τη στιγμή που μία εργασία ξεκινήσει σε μία μηχανή θα πρέπει να ολοκληρωθεί, δεν μπορεί δηλαδή να διακοπεί (no preemption)
- Η σειρά με την οποία πρέπει να περάσουν οι εργασίες από τις μηχανές είναι προκαθορισμένη
- Μία εργασία διεκπεραιώνεται σε μία μόνο μηχανή και όχι ταυτόχρονα σε περισσότερες, με μόνη εξαίρεση τη συσκευασία
- Μία εργασία μπορεί να περάσει από μία μηχανή μόνο όταν η μηχανή είναι ελεύθερη και η διεργασία στην προηγούμενη μηχανή έχει ολοκληρωθεί
- Ο χρόνος μεταφοράς από τη μία μηχανή στην άλλη είναι αμελητέος

### 3.1.1 Κωδικοί προϊόντων μαθηματικού μοντέλου

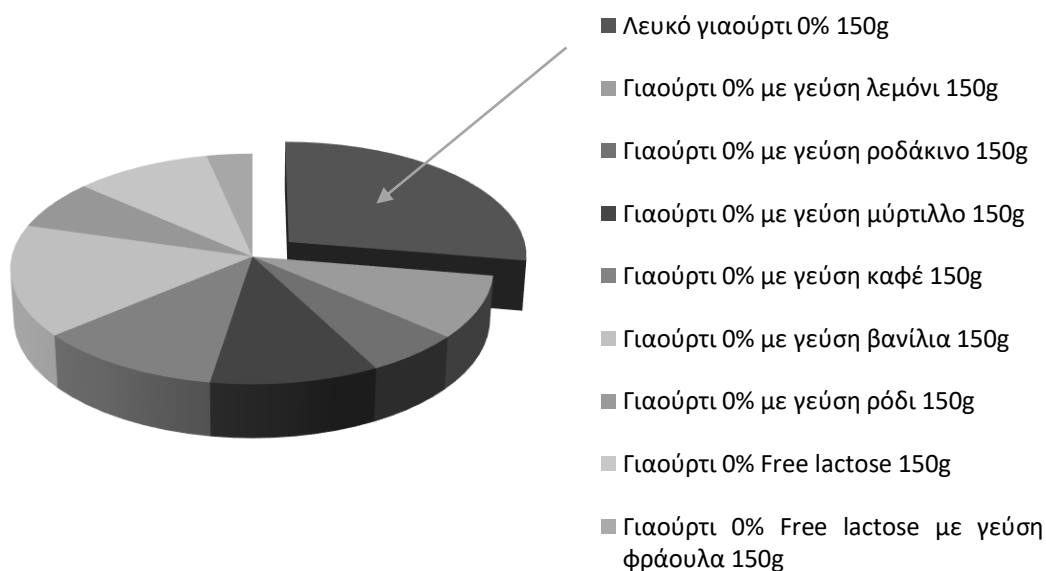
Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 2.3, από όλο το κωδικολόγιο της γαλακτοβιομηχανίας η κατηγορία που απαιτεί τον πιο προσεκτικό προγραμματισμό και στην οποία εστιάζεται το μαθηματικό μοντέλο είναι εκείνη του άπαχου στραγγιστού γιαουρτιού (0%). Καθώς στην περίπτωση των διαφορετικών κωδικών λευκού γιαουρτιού οι εναλλαγές προκύπτουν μόνο από την διαφορά στο μέγεθος του περιέκτη ή στην ιδιωτική ετικέτα του πελάτη, οι χρόνοι εναλλαγής είναι μικροί και η ανάγκη για προσδιορισμό της βέλτιστης αλληλουχίας παραγωγής καλύπτεται εύκολα ακολουθώντας εμπειρικούς κανόνες. Για αυτούς τους λόγους για την κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου δίνεται βάση στα προϊόντα του στραγγιστού γιαουρτιού με γεύσεις, τα οποία ανατίθενται όλα στην ίδια συσκευαστική μηχανή που διαχειρίζεται κύπελλα μεγέθους 150 έως 450. Έτσι, στην περίπτωση που το πρόβλημα διαχειριστεί ως τέτοιο αυτόματα μετατρέπεται σε Πρόβλημα Μίας Μηχανής ή Single Machine Problem.

Για την ποσοτική απεικόνιση του μεγέθους παραγγελίας επιλέγεται ένας πελάτης εξωτερικού Χ της γαλακτοβιομηχανίας, οι παραγγελίες του οποίου περιέχουν όλους τους κωδικούς του άπαχου στραγγιστού γιαουρτιού με αποτέλεσμα η ολοκλήρωση της

παραγγελίας του να απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό εναλλαγών. Με βάση αυτό δημιουργείται ένα μοντέλο οδηγός και ο προγραμματισμός της παραγωγής μπορεί να επεκταθεί και για όλες τις παραγγελίες, αθροίζοντας όλες τις ζητήσεις για έναν κωδικό από όλους τους πελάτες και τροποποιώντας την τελική παραγόμενη ποσότητα από κάθε έναν. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ενδεικτικά η παραγγελία του πελάτη X για μία συγκεκριμένη εβδομάδα.

Κωδικός προϊόντος	Τεμάχια	Κιλά γιαούρτης
Λευκό γιαούρτι 0% 150g	14712	2206,8
Γιαούρτι 0% με γεύση λεμόνι 150g	4656	698,4
Γιαούρτι 0% με γεύση ροδάκινο 150g	3168	475,2
Γιαούρτι 0% με γεύση μύρτιλλο 150g	5436	815,4
Γιαούρτι 0% με γεύση καφέ 150g	6036	905,4
Γιαούρτι 0% με γεύση βανίλια 150g	8328	1249,2
Γιαούρτι 0% με γεύση ρόδι 150g	3720	558
Γιαούρτι 0% Free lactose 150g	5400	810
Γιαούρτι 0% Free lactose με γεύση φράουλα 150g	1800	270
	<b>57210</b>	<b>9965,4</b>

Πίνακας 2: Παραγγελία πελάτη X



Πίνακας 3: Γραφική απεικόνιση περιεχομένου παραγγελίας



# Κεφάλαιο 4: Ο προγραμματισμός παραγωγής στην πράξη

## 4.1 Επιχειρησιακή Έρευνα

Σύμφωνα με τον ορισμό της Βρετανικής Εταιρίας Επιχειρησιακής Έρευνας, η Επιχειρησιακή Έρευνα, (Operations Research – Αμερικανική ονομασία, ή Operational Research – Ευρωπαϊκή ονομασία), εφαρμόζεται σε πολύπλοκα προβλήματα που ανακύπτουν στη διεύθυνση και διοίκηση μεγάλων συστημάτων, αποτελούμενων από ανθρώπους, μηχανές, υλικά και κεφάλαια, στη βιομηχανία, τις επιχειρήσεις, τις Κυβερνητικές Υπηρεσίες και την Άμυνα. Η χαρακτηριστική της μεθοδολογία συνίσταται στην ανάπτυξη επιστημονικού μοντέλου του υπό μελέτη συστήματος, που περιλαμβάνει μετρήσεις τυχαίων παραγόντων και με το οποίο προβλέπει και συγκρίνει τα αποτελέσματα εναλλακτικών αποφάσεων, στρατηγικών και ελέγχων. Ο σκοπός της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι να βοηθήσει τη Διοίκηση να καθορίσει την πολιτική και τις ενέργειές της επιστημονικά, κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Ο κλάδος της Επιχειρησιακής Έρευνας, ή όπως συχνά πλέον αναφέρεται ως Διοικητική Επιστήμη (Management Science), δημιουργήθηκε στη Μεγάλη Βρετανία κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όταν ζητήθηκε από επιστήμονες και μηχανικούς να αναλύσουν με μαθηματικό τρόπο διάφορα στρατιωτικού τύπου προβλήματα με στόχο την βελτιστοποίηση των στρατιωτικών επιχειρήσεων, όπως η ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων για την χρησιμοποίηση των ραντάρ, που είχαν ανακαλυφθεί εκείνη την εποχή, η διαχείριση των βομβιστικών επιθέσεων και ο προσδιορισμός των βέλτιστων σημείων για την εγκατάσταση οπλικών συστημάτων.

Με άλλα λόγια, η Επιχειρησιακή Έρευνα κάλυψε την ανάγκη για επιστημονική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις στρατιωτικές επιχειρήσεις και καθόρισε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και ο συντονισμός τους υπό συνθήκες που απαιτούσαν την κατανομή σπάνιων παραγωγικών πόρων. Μάλιστα, μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο καθιερώθηκε ως νέο επιστημονικό πεδίο και αναπτύχθηκε ραγδαία, ενώ κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και του 1960 αναπτύχθηκαν οι περισσότεροι αλγόριθμοι και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα με την πιο σύγχρονη και εξελιγμένη μορφή των software.

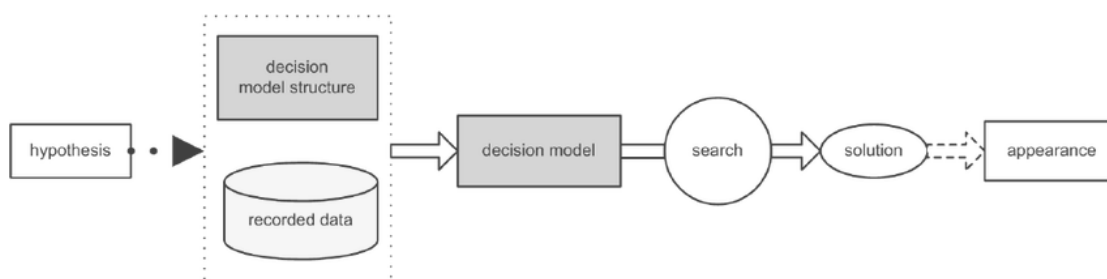
Οι μεταβολές στο οικονομικό και επιχειρησιακό περιβάλλον σε συνδυασμό με την αύξηση της πολυπλοκότητας και της αλληλεξάρτησης των διαφόρων προβλημάτων και της ταυτόχρονης ανάγκης για υποστήριξη και σφαιρική προσέγγιση τους, καθιέρωσαν στις μέρες μας την Επιχειρησιακή Έρευνα ως ένα απαραίτητο εργαλείο για την συστηματική ανάλυση και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Ανεξάρτητα από τη φύση του προβλήματος, η Επιχειρησιακή Έρευνα μπορεί να εφαρμοστεί εκτενώς σε ποικίλους κλάδους, όπως η Βιομηχανία των Μεταποιήσεων, ο κλάδος των Μεταφορών και ο Χρηματοοικονομικός Σχεδιασμός.

#### 4.1.1 Μέθοδοι της Επιχειρησιακής Έρευνας

Προκειμένου να διερευνηθεί το πρόβλημα για το οποίο χρειαζόμαστε λύση, απαιτείται η ολοκλήρωση μία σειράς βημάτων, η οποία προηγείται της τελικής επίλυσης του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης.

Μία τυπική μελέτη στα πλαίσια της Επιχειρησιακής Έρευνας περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Προσδιορισμός του προβλήματος και συλλογή των απαραίτητων δεδομένων (στόχοι, περιορισμοί, χρονικά περιθώρια, σχέσεις μεταξύ του υπό μελέτη τμήματος και άλλων τμημάτων της επιχείρησης)
- Κατάστρωση ενός μαθηματικού μοντέλου που αναπαριστά το πρόβλημα (προσδιορισμός μεταβλητών απόφασης, αντικειμενικής συνάρτησης, περιορισμών, παραμέτρων)
- Ανάπτυξη υπολογιστικών αλγορίθμων για την εξαγωγή της βέλτιστης λύσης, όπου αυτό είναι απαραίτητο
- Έλεγχος του μοντέλου και τροποποίηση του, όπου κρίνεται αναγκαίο
- Εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου



Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση βημάτων μελέτης στον τομέα της Επιχειρησιακής Έρευνας

Οι κατηγορίες μεθόδων της Επιχειρησιακής Έρευνας που καταγράφονται στη βιβλιογραφία είναι οι παρακάτω:

- Μαθηματικός προγραμματισμός (Γραμμικός Προγραμματισμός, Ακέραιος Προγραμματισμός ή Μεικτός Προγραμματισμός)
- Δέντρα αποφάσεων (Decision Trees)
- Πολυκριτηριακή ανάλυση (Multiple Criteria Decision Analysis)
- Ανάλυση δικτύων (Network Flows, PERT, CPM)
- Διαχείριση αποθεμάτων (Inventory Control, EOQ)
- Ουρές αναμονής (Queuing Theory)
- Στοχαστικές διεργασίες (Stochastic Processes)
- Θεωρία παιγνίων (Game Theory)
- Προσομοίωση (Simulation)

## 4.2 Η έννοια του χρονικού προγραμματισμού

Όπως έχει προαναφερθεί, ο κατασκευαστικός κλάδος είναι έντονα ανταγωνιστικός και πολύπλοκος, με ευαίσθητες ισορροπίες, πολυάριθμους κινδύνους και υψηλές απαιτήσεις. Οι βιομηχανίες πρέπει να ανταποκριθούν σε πολλές διορίες που τίθενται από τους πελάτες τους, προκειμένου να διατηρήσουν την αξιοπιστία τους. Είναι επιβεβλημένο, λοιπόν, να επιδιώκεται η επίτευξη υψηλού βαθμού οργάνωσης προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του έργου. Η διαδικασία οργάνωσης περιγράφεται ως διαχείριση του έργου και αποφέρει πλήθος ωφελειών, με κυριότερη τη δυνατότητα ελέγχου του έργου που οδηγεί σε εξοικονόμηση χρόνου και κόστους, αποτελεσματική χρήση των πόρων, υψηλό επίπεδο ποιότητας και αξιοπιστία (Χασιακός & Θεοδωρακόπουλος, 2003).

Για να δούμε το ρόλο του προγραμματισμού ας περιγράψουμε ένα γενικευμένο περιβάλλον παραγωγής. Οι παραγγελίες που δίνονται σε ένα περιβάλλον παραγωγής θα πρέπει να μεταφραστούν σε εργασίες που πρέπει να γίνουν, και μάλιστα μέσα σε συγκεκριμένες ημερομηνίες. Οι εργασίες αυτές, θα πρέπει να δρομολογηθούν στις μηχανές της μονάδας παραγωγής με συγκεκριμένη αλληλουχία. Πολλές φορές, η δρομολόγηση μπορεί να καθυστερήσει αν ορισμένες μηχανές είναι απασχολημένες, όπως επίσης μπορούν να δοθούν και συγκεκριμένες προτεραιότητες σε επείγουσες εργασίες. Απρόβλεπτα γεγονότα, όπως βλάβες σε μηχανές, ή καθυστερήσεις στην παραγωγή, πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη, καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το συνολικό χρονοδιάγραμμα.

Η διαδικασία του προγραμματισμού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και ένας απ' αυτούς είναι ο σχεδιασμός της παραγωγής (βραχυπρόθεσμος ή μακροπρόθεσμος). Σκοπός του είναι να βελτιστοποιήσει τη συνολική παραγωγή της εταιρίας με τον υπολογισμό και εύρεση των κατάλληλων πόρων και τη πρόβλεψη της ζήτησης. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο υψηλού σχεδιασμού έχουν άμεσο αντίκτυπο στον προγραμματισμό. Η λειτουργία του χρονοπρογραμματισμού παραγωγής μέσα σε ένα παραγωγικό σύστημα όπως είναι λογικό αλληλεπιδρά με πολλές άλλες λειτουργίες. Ο τρόπος αυτής της αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κάθε επιχείρησης και διαφέρει από το ένα περιβάλλον στο άλλο.

Οι στόχοι ενός έργου εκφράζονται με 3 βασικές παραμέτρους: α) το χρόνο, υπό την έννοια της τήρησης των χρονικών δεσμεύσεων, β) το κόστος, υπό την έννοια της τήρησης του προϋπολογισμού και γ) την απόδοση, υπό την έννοια του βαθμού ικανοποίησης (ποιοτικά και ποσοτικά) των αρχικών στόχων κατά τη σύλληψη και το σχεδιασμό του έργου. Οι παράμετροι αυτές συνιστούν το βασικό τρίγωνο του έργου και λειτουργούν στην πλειονότητα των περιπτώσεων ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Αν και συχνά παρατηρείται η αξιολόγηση ενός έργου βάσει της απόδοσης, ο χρόνος και το κόστος υλοποίησης αποτελούν εξίσου καθοριστικούς παράγοντες του τελικού αποτελέσματος οπότε βασική επιδίωξη της διαχείρισης του έργου αποτελεί η εξισορρόπηση και των τριών αυτών παραμέτρων.

Ο προγραμματισμός έργου αποτελεί ένα από τα πιο ουσιαστικά συστατικά της διαχείρισης και συνίσταται στη διαδικασία κατάρτισης ενός κατάλληλου προγράμματος εργασίας για την υλοποίηση του έργου. Το παραγόμενο χρονοδιάγραμμα εργασιών οφείλει να είναι ρεαλιστικό και να οδηγεί στην έγκαιρη και οικονομική ολοκλήρωση του έργου.

Απαραίτητος παράγοντας για την επιτυχία αυτής της διαδικασίας είναι η πλήρης κατανόηση των καθορισμένων στόχων με τη βοήθεια της ανάλυσης του έργου στις επιμέρους εργασίες (δραστηριότητες) και τη δημιουργία ενός πλήρους καταλόγου με ιεραρχική αναπαράσταση της δομής. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται δομική ανάλυση έργου και είναι απαραίτητη για την εκπόνηση του χρονικού προγραμματισμού και την κατάρτιση του χρονοδιαγράμματος. Η έννοια του χρονοδιαγράμματος περιλαμβάνει τον καθορισμό των χρόνων έναρξης και πέρατος των εργασιών, των χρονικών τους περιθωρίων και εντέλει της συνολικής διάρκειας του έργου, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ των εργασιών και τους χρόνους προπόρευσης ή υστέρησης.

Πιο συγκεκριμένα, ο χρονικός προγραμματισμός ορίζεται ως η διαδικασία οργάνωσης, επιλογής και χρονισμού της χρησιμοποίησης των πόρων για να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες ενέργειες, ώστε να εξασφαλιστεί η έγκυρη παραγωγή, με παράλληλη ικανοποίηση ενός μεγάλου αριθμού περιορισμών. Οι εντολές πρέπει να αναλυθούν και να μεταφραστούν σε εργασίες συνδεδεμένες με ημερομηνίες παράδοσης. Με άλλα λόγια, ορίζεται ως ένα σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη χρονοδιαγραμμάτων που υποδεικνύουν πότε πρέπει να πραγματοποιηθεί μία εργασία, να χρησιμοποιηθεί ένας εξοπλισμός ή να αξιοποιηθεί ένα σύνολο πόρων, προκειμένου να παραχθεί ένα προϊόν εντός ενός προαποφασισμένου χρονικού διαστήματος. Μέσω του χρονικού προγραμματισμού επιτυγχάνεται ο συντονισμός όλων των παραγωγικών διεργασιών, καθώς ορίζεται τι θα παραχθεί, πότε θα παραχθεί και σε ποια ποσότητα, τόσο σε βραχυπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο χρόνο.

Ως εργασία (job) ορίζεται μία δραστηριότητα που πρέπει να πραγματοποιηθεί, η οποία έχει συγκεκριμένο χρόνο επεξεργασίας (processing time). Στην περίπτωση της γαλακτοβιομηχανίας η κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί μόνο όταν έχουν ολοκληρωθεί οι προηγούμενες της, καθώς η ροή κατά μήκος της γραμμής παραγωγής είναι συνεχής. Επιπλέον, ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών της παρουσιάζει μία πρόσθετη δυσκολία, τον μεταβαλλόμενο χρόνο προετοιμασίας και αλλαγής από μία εργασία σε μία άλλη. Ο χρόνος προετοιμασίας (setup time) για να γίνει μία εργασία εξαρτάται από την προηγούμενη εργασία και, καθώς ο χρόνος αυτός είναι μη παραγωγικός, ένας από τους στόχους του προγραμματισμού είναι η ελαχιστοποίηση των χρόνων προετοιμασίας στην αλληλουχία.

Οι χρόνοι προετοιμασίας εξαρτώνται από την αλληλουχία των εργασιών και συχνά αναφέρονται ως "Sequence Dependent Setup Times". Ως μηχανή (machine) ορίζεται ένας πόρος όπου γίνεται η επεξεργασία των εργασιών. Ο χρονικός προγραμματισμός είναι επίσης γνωστός και ως έλεγχος παραγωγής (ημερήσιος χρονικός προγραμματισμός και παρακολούθηση της παραγωγής), έλεγχος εργοστασίου (Shop Floor Control – SFC) και έλεγχος παραγωγικής δραστηριότητας (Production Activity Control – PAC). Ανεξάρτητα από τον βασικό στόχο του προγραμματισμού, τα μοντέλα μοιράζονται τρία κοινά σημεία ελέγχου, τη φόρτιση, την αλληλουχία και την παρακολούθηση.

→ **Φόρτιση:** Ορίζεται ως η διαδικασία ανάθεσης μίας εργασίας σε ορισμένους πόρους, με παράλληλο έλεγχο της διαθεσιμότητας των υλικών και των μηχανών. Η διαθεσιμότητα των υλικών προγραμματίζεται και παρακολουθείται από το

σύστημα μηχανογραφημένου ελέγχου αποθεμάτων και προγραμματισμού παραγωγής MRP (Material Requirements Planning). Το πρόγραμμα των υλικών μετατρέπεται σε πρόγραμμα απαιτήσεων δυναμικότητας μέσω του CRP (Capacity Requirements Planning), το οποίο παράλληλα παρουσιάζει ενδεχόμενες υπερφορτώσεις και υποφορτώσεις πόρων.

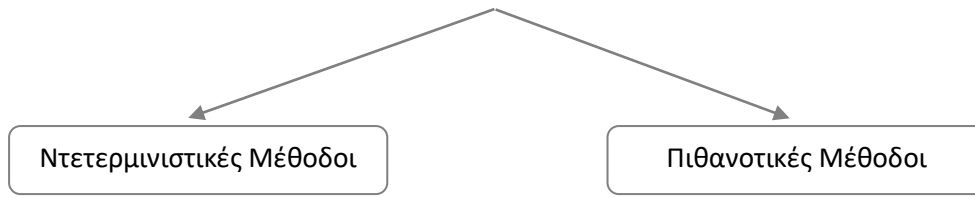
- **Αλληλουχία (Sequencing):** Ορίζεται ως η διαδικασία καθορισμού προτεραιοτήτων. Επιτυγχάνεται μέσω της απελευθέρωσης των προγραμματισμένων εντολών της παραγωγής στο εργοστάσιο και της διανομής λιστών προτεραιότητας (Dispatch Lists) για μεμονωμένες μηχανές. Οι λίστες προτεραιότητας δεν είναι παρά κατάλογοι εντολών παραγωγής, οι οποίοι κυκλοφορούν στο εργοστάσιο και ορίζουν τη σειρά με την οποία πρέπει να ολοκληρωθούν οι εργασίες. Η ύπαρξη τους είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον συντονισμό της παραγωγής, καθώς λόγω του μεγάλου αριθμού εντολών που δίνονται σε ένα κέντρο εργασίας είναι απαραίτητο να οριστούν προτεραιότητες, ώστε ο χειριστής να γνωρίζει ποιες εργασίες πρέπει να ολοκληρωθούν πρώτες. Αν δεν ορίζεται συγκεκριμένη σειρά, ο χειριστής θα επεξεργαστεί πιθανότατα την εργασία που έφτασε πρώτη. Αυτή η εξ ορισμού αλληλουχία ονομάζεται «έρχεται πρώτη, ολοκληρώνεται πρώτη (First-In, First-Out - FIFO)».
- **Παρακολούθηση:** Επιτυγχάνεται μέσω της διατήρησης αναφορών προόδου για κάθε εντολή μέχρι την ολοκλήρωσή της. Η παρακολούθηση της εξέλιξης της παραγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ορισμένες εργασίες ενδέχεται να χρειάζονται αναπρογραμματισμό λόγω αλλαγών στο σύστημα. Πέρα από την έγκαιρη συλλογή δεδομένων, η παρακολούθηση περιλαμβάνει την χρήση των διαγραμμάτων Gantt και των διαγραμμάτων ελέγχου εισροών/εκροών (Input/Output Control).

#### 4.2.1 Ανασκόπηση μεθόδων χρονικού προγραμματισμού

Η ανάπτυξη μεθόδων χρονικού προγραμματισμού πρωτοεμφανίζεται στις αρχές του 20ου αιώνα και αποτελεί την απότοκο της ολοένα και αυξανόμενης απαίτησης για συνεπή οργάνωση σε μεγάλα και σύνθετα έργα υποδομής. Καθ' όλη τη διάρκεια του 20ου αιώνα, σημειώθηκαν σημαντικά βήματα με ανάπτυξη πολλών νέων μεθόδων, βασισμένων είτε σε αναλυτικούς υπολογισμούς είτε σε γραφικές προσεγγίσεις με ικανοποιητικές επιδόσεις στην επίτευξη του χρονικού στόχου αλλά και με διάφορες εγγενείς αδυναμίες.

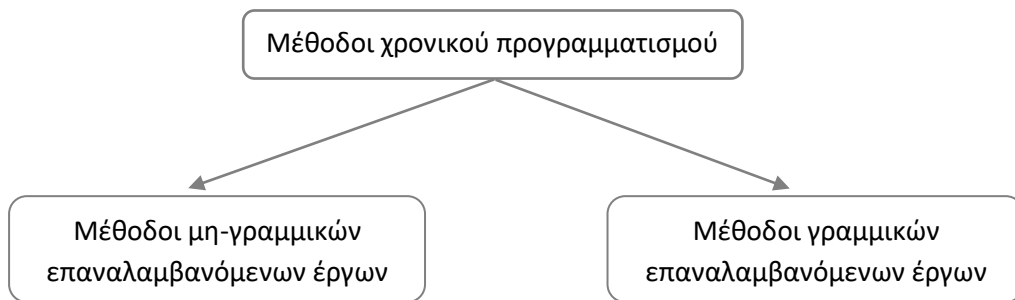
Εξετάζοντας τις σημαντικότερες εξ' αυτών μεθόδους με γνώμονα τη συχνότητα εμφάνισής τους σε ακαδημαϊκό και πρακτικό επίπεδο, μια πρώτη κατηγοριοποίηση τους θα προέκυπτε με κριτήριο τη θεώρηση της χρονικής διάρκειας των δραστηριοτήτων με απόλυτα ή σχετικά μεγέθη. Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση αφορά μεθοδολογίες βασισμένες σε δραστηριότητες (Kenley & Serpanen, 2009). Έτσι, ένας αρχικός διαχωρισμός των μεθόδων βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

Μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού



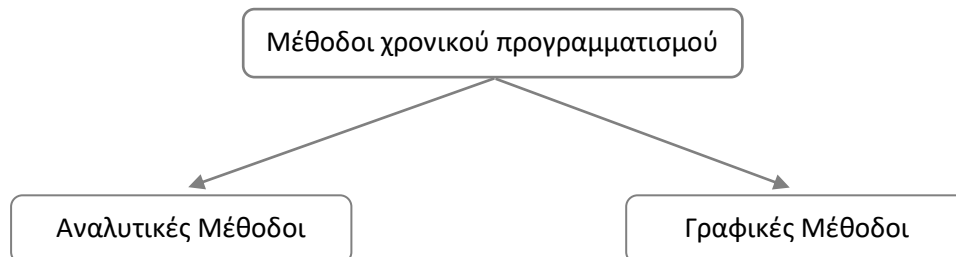
Σχήμα 4-2: Κατηγοριοποίηση μεθόδων βάσει θεώρησης χρονικής διάρκειας δραστηριοτήτων

Επίσης, αν τεθεί ως κριτήριο η φύση του εξεταζόμενου έργου σε σχέση με την επανάληψη ή μη εργασιών καθ' όλη τη διάρκεια του έργου ή σε σχέση με τη γραμμικότητα των εργασιών, τότε ένας επόμενος διαχωρισμός των μεθόδων μπορεί να είναι ο ακόλουθος:



Σχήμα 4-3: Κατηγοριοποίηση μεθόδων βάσει γραμμικής – επαναλαμβανόμενης ή μη φύσης των έργων

Τέλος, η κατηγοριοποίηση των μεθόδων ανάλογα με την αναλυτική ή γραφική τους βάση ανάπτυξης, δίνει έναν ακόμη διαχωρισμό όπως ακολούθως:



Σχήμα 4-4: Κατηγοριοποίηση μεθόδων βάσει τρόπου ανάπτυξης

### 4.3 Εργαλεία χρονικού προγραμματισμού

Οι στόχοι του χρονικού προγραμματισμού στην παραγωγή είναι κοινοί για κάθε βιομηχανία παραγωγής και συνοψίζονται στα εξής:

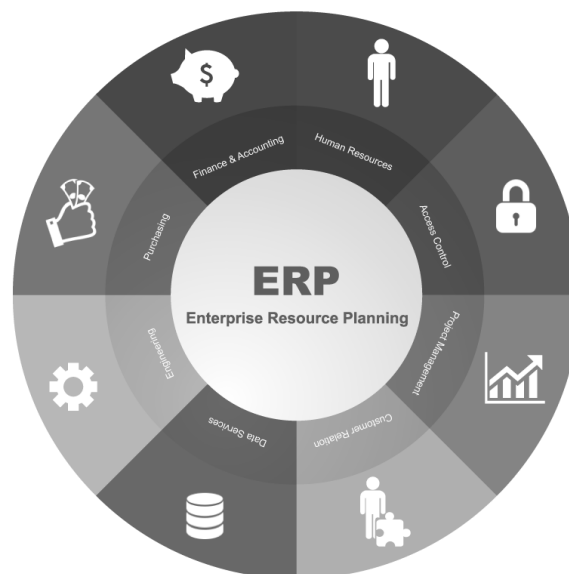
- Αύξηση παραγωγικότητας,
- Ελαχιστοποίηση κόστους παραγωγής,

- Ικανοποίηση πελατών - έγκαιρη παράδοση προϊόντων- σεβασμός προθεσμιών για τις ημερομηνίες παράδοσης – ποιότητα,
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου υλοποίησης του προγράμματος (Lead Time),
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου ή κόστους ρύθμισης του εξοπλισμού του κέντρου (Setup Time),
- Ελαχιστοποίηση των εκκρεμοτήτων διεργασιών στο σύστημα,
- Μεγιστοποίηση χρησιμοποίησης εξοπλισμού ή ανθρώπινου δυναμικού.

Η πολυπλοκότητα, το μέγεθος και η δυναμική φύση των τεχνικών έργων επέβαλε από νωρίς την χρήση επιστημονικών μεθόδων και προσεγγίσεων περισσότερο ωστόσο σε θεωρητικό παρά σε πρακτικό επίπεδο.

Στο παρόν κεφάλαιο, επιχειρείται η ανασκόπηση των πλέον σημαντικών μεθόδων χρονικού προγραμματισμού σε σχέση με τη συχνότητα εμφάνισής τους τόσο σε ακαδημαϊκό επίπεδο όσο και σε πρακτικές εφαρμογές. Οφείλουμε να λάβουμε υπόψη μας τα επίπεδα αποθεμάτων, τις προβλέψεις, τις απαιτήσεις σε πόρους με στόχο την βελτιστοποίηση της κατανομής τους και την παραγωγή του προϊόντος. Ακόμα, ο έλεγχος που γίνεται στα σημεία παραγωγής κατά τη διάρκειά της, τροφοδοτεί με χρήσιμες πληροφορίες το χρονοπρογραμματισμό προκειμένου να διενεργηθεί ο χρονικός προγραμματισμός με αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία. Ως εκ τούτου, πολυάριθμες μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς ενώ η ερευνητική διαδικασία παραμένει σε εξέλιξη με στόχο την κατάστρωση ευέλικτων μοντέλων με μεγάλη ακρίβεια αποτελεσμάτων.

#### 4.3.1 Προγραμματισμός Παραγωγής Με Σύστημα Ενδοεπιχειρησιακού Σχεδιασμού - Enterprise resource planning (ERP)



Εικόνα 14: Modules ενός λογισμικού ERP

Το ακρωνύμιο ERP προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Enterprise Resource Planning, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στα ελληνικά ως «σύστημα επιχειρησιακού σχεδιασμού». Τα Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (Enterprise Resource

Planning Systems – ERP Systems) αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Gupta, 2000, Jacobs et al., 2007). Χαρακτηρίζονται ως ένα αναπόσπαστο εργαλείο των επιχειρήσεων καθώς θεωρούνται μία επιχειρηματική λύση η οποία προσφέρει μία ολοκληρωμένη ενοποίηση και αυτοματοποίηση σε όλες τις λειτουργίες και πληροφορίες της επιχείρησης μέσω μίας κοινής βάσης δεδομένων (Beheshti, 2006). Αποτελούνται από ένα σύνολο υποσυστημάτων (modules), τα οποία διαχειρίζονται μία συγκεκριμένη λειτουργία της επιχείρησης (Beheshti, 2006, Gupta, 2000).

Με άλλα λόγια, ο προγραμματισμός εταιρικών πόρων (ERP) είναι ένας τύπος λογισμικού συστήματος που βοηθά τις επιχειρήσεις να αυτοματοποιούν και να έχουν τον πλήρη έλεγχο των βασικών τους δραστηριοτήτων σε πραγματικό χρόνο με στόχο την αύξηση του business performance. Πιο συγκεκριμένα, το λογισμικό ERP είναι μία σουίτα από εργαλεία για επιχειρήσεις, η οποία συντονίζει τη ροή δεδομένων μεταξύ των επιχειρηματικών διεργασιών μιας εταιρείας συνδέοντας μεταξύ τους τις οικονομικές δραστηριότητες, τις πρώτες ύλες και την αλυσίδα εφοδιασμού πόρων, τις παραγωγικές διαδικασίες, τις πωλήσεις, και το ανθρώπινο δυναμικό. Κάνοντας χρήση του ERP μια εταιρεία έχει τη δυνατότητα να εκσυγχρονίσει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί και τον τρόπο με τον οποίο εσωτερικές διαδικασίες καταγράφονται και εκτελούνται.

Πιο συγκεκριμένα μία λύση ERP βοηθά μία επιχείρηση να:

- Αυξήσει τα έσοδα της
- Βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της, ενοποιώντας διάφορες εργασίες (Finance & Accounting, Manufacturing, Supply Chain, Customer Relationship, Management, Human Resources, BI/Reporting)
- Αυξήσει την παραγωγικότητα των ανθρώπων της αυτοματοποιώντας τις διαδικασίες της
- Μειώσει τα λειτουργικά της έξοδα
- Αυξήσει την ασφάλεια των επιχειρησιακών της δεδομένων
- Αντλήσει και να αξιοποιήσει πληροφορίες από διαφορετικά τμήματα της εταιρίας

Στην ουσία ένα σύστημα ERP αποτελείται από ενσωματωμένες επιμέρους εφαρμογές (γνωστές ως modules), τις οποίες η επιχείρηση αξιοποιεί για να συγκεντρώνει, να αποθηκεύει, να διαχειρίζεται και σε τελική ανάλυση, να ερμηνεύει δεδομένα για πολλές (ιδανικά όλες) από τις δραστηριότητες της. Μερικά από τα modules ενός ERP συστήματος είναι:

- Εμπορική Διαχείριση
- Οικονομική Διαχείριση
- Έσοδα - Έξοδα
- Γενική Λογιστική
- Διαχείριση Παγίων
- Διαχείριση Αποθήκης
- Διαχείριση Ανθρώπινων Πόρων (HRM)
- Μισθοδοσία
- Διαχείριση Διανομής
- Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας (SCM)
- Διαχείριση Πελατειακών Σχέσεων (CRM)
- Διαχείριση Λιανικής
- Προϊοντικός Σχεδιασμός



- Διαχείριση Παραγωγής
- Διαχείριση Υπηρεσιών
- Χρηματοοικονομική Λογιστική
- Πωλήσεις
- Marketing
- Τιμολόγηση

Το πιο δημοφιλές λογισμικό ERP που χρησιμοποιείται από περισσότερες από 65.000 επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο είναι το “SAP Business One”, έχοντας περισσότερους από ένα εκατομμύριο χρήστες καθημερινά. Το αποτύπωμα του SAP είναι τόσο μεγάλο, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την εμπιστοσύνη που δείχνουν σε αυτό τα πιο γνωστά brand names του κόσμου, όπως είναι η Google, η Microsoft, η Apple, το Alibaba και η Amazon.

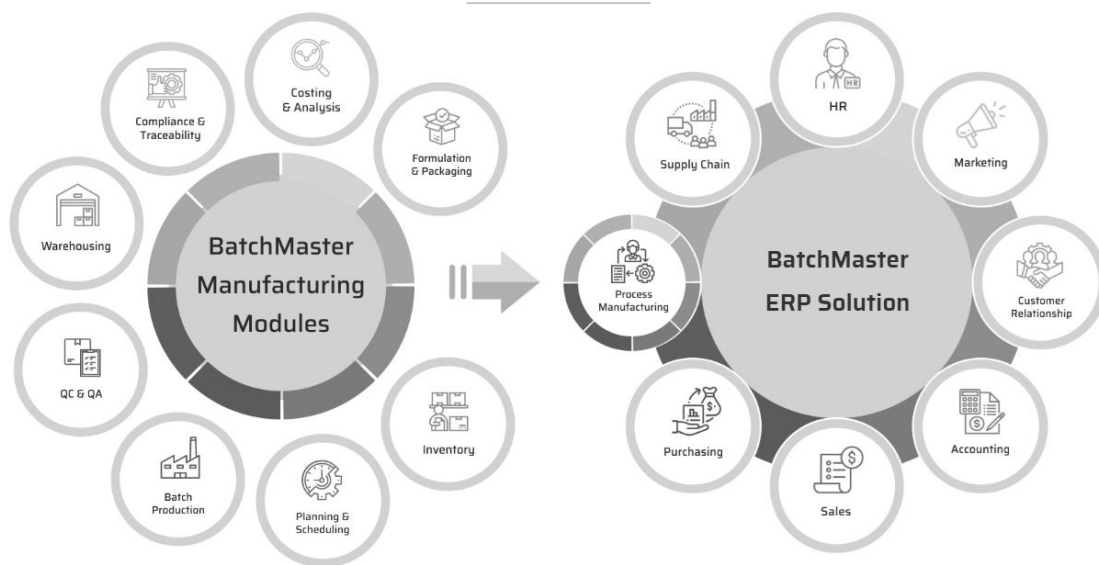


**Εικόνα 15: Λογότυπο και εφαρμογές SAP**

Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων που έχει ενσωματώσει στη μηχανογράφηση του τη χρήση ενός λογισμικού ERP τα περισσότερα τμήματα επωφελούνται από αυτό, από τις πωλήσεις, το marketing, το ανθρώπινο δυναμικό (HR), μέχρι τα τμήματα παραγωγής και διανομής. Οι υπεύθυνοι παραγωγής και οι ομάδες τους χρησιμοποιούν το ERP για να προσδιορίσουν τι πρέπει να κατασκευαστεί και σε πόσο χρονικό διάστημα προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση, για να υπολογίσουν ποιες πρώτες ύλες ή συστατικά απαιτούνται και σε τι ποσότητες και να σχεδιάσουν και να εκτελέσουν κύκλους παραγωγής.

Τα τμήματα διανομής των εταιριών κατασκευής ή logistics χρησιμοποιούν το ERP για να παρακολουθούν τις απογραφές, να αγοράζουν αγαθά και πρώτες ύλες, να παραλαμβάνουν και να συσκευάζουν τα πωλούμενα προϊόντα και να τα μεταφέρουν στους πελάτες.

Τα λογιστικά τμήματα χρησιμοποιούν το ERP για τη δημιουργία οικονομικών αρχείων για όλες τις λειτουργίες που περιγράφονται παραπάνω. Το ERP βοηθά τις λογιστικές ομάδες να παρακολουθούν το κόστος, τις τιμές, την αξία του αποθέματος ή των αγαθών που πωλούνται και την κερδοφορία της εταιρίας.



Εικόνα 16: Τμήματα που επωφελούνται από τη χρήση λογισμικού ERP

#### 4.3.2 Προγραμματισμός Παραγωγής Στο Περιβάλλον Του Microsoft Excel

Προτού τα συστήματα ERP να γίνουν τόσο δημοφιλή στον τομέα της οργάνωσης και του προγραμματισμού της παραγωγής, βασικό εργαλείο οργάνωσης και κατασκευής χρονοδιαγραμμάτων αποτελούσε για χρόνια το Microsoft Excel, το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα σε μικρότερες επιχειρήσεις με ελεγχόμενο κωδικολόγιο, λόγω της απλότητας του στη χρήση. Στην περίπτωση αυτή η διαχείριση των παραγγελιών πραγματοποιείται χειροκίνητα με την χρήση Excel και βασίζεται σε εμπειρικούς κανόνες και ανθρώπινους χειρισμούς.

Το Microsoft Excel ως γνωστόν αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς ώστε να διαχειριστεί, να αναλύσει και να παρουσιάσει δεδομένα. Με το Excel μπορεί κανείς να ταξινομήσει, να διαχειριστεί και να χρησιμοποιήσει για υπολογισμούς έναν τεράστιο όγκο δεδομένων από διαφορετικές πηγές, που υπό άλλες συνθήκες θα ήταν πολύ δύσκολο να τον διαχειριστεί. Διαθέτει εργαλεία σύνθετων υπολογισμών, εργαλεία γραφημάτων και συγκεντρωτικούς πίνακες. Πρόκειται για μία πολύ ευρέως διαδεδομένη πλατφόρμα υπολογιστικών φύλλων που ταιριάζει σε κάθε βιομηχανικό πρότυπο.

Κομμάτι της τεράστιας γκάμας επιλογών που διαθέτει το γνωστό σε όλους περιβάλλον του Excel, στις περιπτώσεις που κάποιος να επιθυμεί να βρει έναν πιο εύκολο τρόπο να παρουσιάσει κάποια τετριμμένη και επαναλαμβανόμενη εργασία ή να εκτελέσει κάποια εφαρμογή, είναι η Visual Basic for Applications (VBA), μία γλώσσα προγραμματισμού macro, που δίνει την δυνατότητα να διευρυνθούν οι εφαρμογές αυτές εντός του περιβάλλοντος του Excel. Η VBA αποτελεί μία αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού. Αυτό σημαίνει ότι λειτουργεί με αντικείμενα (objects), δηλαδή αυτόνομες οντότητες με δικά τους χαρακτηριστικά η κάθε μία. Τα αντικείμενα ανήκουν σε

συλλογές όπως για παράδειγμα η συλλογή των βιβλίων εργασίας στο Excel περιέχει όλα τα ανοιχτά βιβλία (Workbooks), την συλλογή όλων των φύλλων εργασίας (Worksheets), την συλλογή των γραφημάτων και τα λοιπά.

Φαίνεται, λοιπόν, πως το Microsoft Excel διαθέτει εργαλεία ικανά να καλύψουν σε μεγάλο βαθμό τις επαγγελματικές ανάγκες κάθε είδους βιομηχανικού περιβάλλοντος, έχοντας όμως μία βασική διαφορά με το ERP. Το Microsoft Excel «αναθέτει» το μεγαλύτερο μερίδιο του έργου στον εκάστοτε υπεύθυνο παραγωγής, σε αντίθεση με το ERP που παρουσιάστηκε παραπάνω, όπου οι αλγόριθμοι και τα προσχέδια για την κατασκευή των οργανογραμμάτων είναι έτοιμα και απαιτούν κατά κύριο λόγο την εισαγωγή δεδομένων. Στην περίπτωση του Excel ο υπεύθυνος παραγωγής καλείται πέρα από την καταγραφή των ζητήσεων και του ορίζοντα προγραμματισμού, να ορίσει και να κατασκευάσει ο ίδιος τις συναρτήσεις και τον τρόπο υπολογισμού με βάση την δυναμικότητα της γραμμής παραγωγής του.

Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που η βιομηχανία δεν κάνει χρήση του ERP ο υπεύθυνος παραγωγής καλείται να αρχειοθετεί λεπτομερώς όλες τις παραγγελίες όλων των ετών, ώστε να είναι σε θέση να προβλέψει τις επερχόμενες ζητήσεις αντίστοιχων διαστημάτων, καθώς και τον χρόνο περάτωσης αυτών προκειμένου να υπολογίσει το ύψος του κόστους των πρώτων υλών, την κατάλληλη περίοδο αδειοδότησης ή εκπαίδευσης του προσωπικού, την εγκατάσταση νέων μηχανημάτων και την τροποποίηση της γραμμής παραγωγής. Από τη στιγμή που έχει στα χέρια του τις νέες παραγγελίες και τους χρόνους παράδοσης, ο υπεύθυνος παραγωγής καταγράφει τα νέα δεδομένα στο Excel και οργανώνει βασιζόμενος στην εμπειρία του τη σειρά παραγωγής των ζητούμενων κωδικών.

Το πλήθος των παραγγελιών που καλείται να διαχειριστεί ενδέχεται να είναι περισσότερες από πεντακόσιες σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες. Κάθε παραγγελία ουσιαστικά ισοδυναμεί με μία γραμμή ενός αρχείου Excel, η οποία περιέχει τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την ζήτηση, τον χρόνο ολοκλήρωσης και τον πελάτη για τον οποίο προορίζεται. Αφού καταγραφούν όλες οι παραγγελίες, αυτές πρέπει να ομαδοποιηθούν ανά τύπο προϊόντος, ώστε να καταγραφούν τα σύνολα των παραγγελιών που θα δοθούν για παραγωγή.

Στο σημείο αυτό ο υπεύθυνος για τον προγραμματισμό της παραγωγής έχοντας την εμπειρία από προηγούμενες αντίστοιχες παραγγελίες κατασκευάζει το χρονοδιάγραμμα παραγωγής. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι εμπειρικοί κανόνες που εφαρμόζονται συνήθως και εξασφαλίζουν την αποφυγή άσκοπων εναλλαγών είναι οι εξής:

- Η παραγωγή των προϊόντων πρέπει να ακολουθεί αυξανόμενη πορεία ως προς την λιποπεριεκτικότητα (increasing fat level).
- Η παραγωγή πρέπει να ακολουθεί πορεία από το προϊόν με την πιο απαλή γεύση προς αυτό με την πιο έντονη (from the lower taste to the stronger).
- Η παραγωγή πρέπει να ακολουθεί πορεία από το προϊόν με το πιο ανοιχτό χρώμα προς αυτό με το πιο σκούρο (from the brighter color to the darker).

Όπως είναι λογικό όμως, η διαχείριση ενός τόσο μεγάλου όγκου παραγγελιών σε ένα φύλλο του Excel, που ενδέχεται να υπερβαίνουν ακόμη και τις 500 γραμμές, καθίσταται

πολύ δύσκολη. Πέραν τούτου, ο χρόνος επεξεργασίας ενός τέτοιου είδους αρχείου είναι πάρα πολύ μεγάλος και η ποιότητα του αποτελέσματος δεν είναι ανάλογη με τον χρόνο που αφιερώνεται σε αυτό. Για τον λόγο αυτό η χρήση του Excel ως εργαλείο κατασκευής βιομηχανικών χρονοδιαγραμμάτων είναι μία λύση που απευθύνεται κυρίως σε μικρότερες γαλακτοβιομηχανίες με χαμηλές απαιτήσεις σε πιο ευέλικτους τρόπους οργάνωσης. Οι βιομηχανίες αυτές χαρακτηρίζονται από μικρό κωδικολόγιο, με απλές και τετριμμένες εναλλαγές και σταθερές ποσότητες παραγωγής με ζητήσεις από τοπικούς πελάτες.

#### 4.3.3 Προγραμματισμός Παραγωγής Με Χρήση Διαγράμματος Gantt

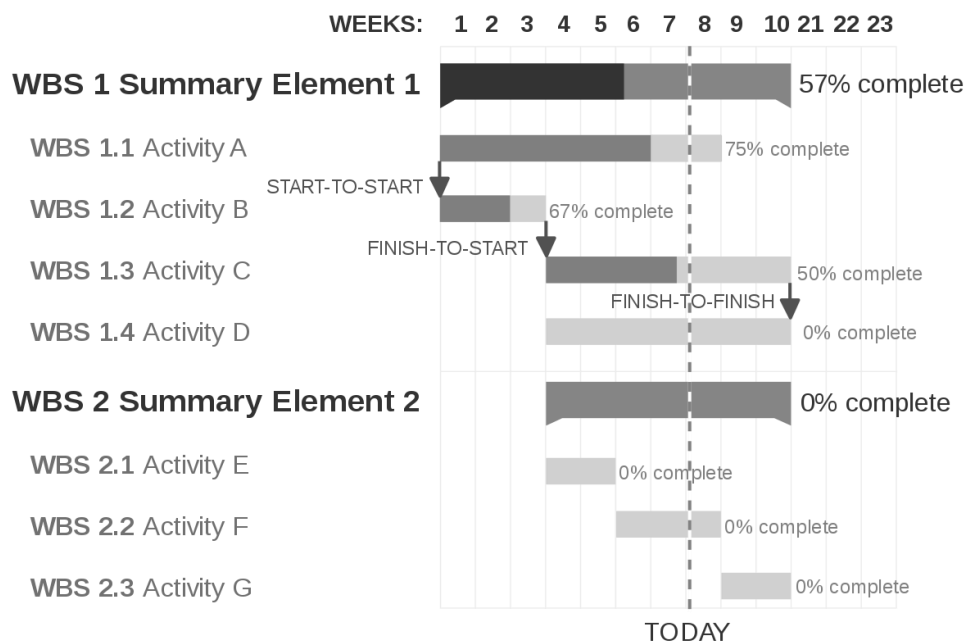
Το διάγραμμα Gantt είναι ένα οριζόντιο ιστόγραμμα που αναπτύχθηκε ως εργαλείο ελέγχου παραγωγής το 1917 από τον Αμερικανό μηχανολόγο μηχανικό Henry Gantt (1869-1919), από τον οποίο πήρε και το όνομα του. Πρόκειται για μία από τις δημοφιλέστερες τεχνικές προγραμματισμού ενός έργου, το οποίο απεικονίζει στην ουσία την σχέση των διαφορετικών δράσεων του μέσα στον χρόνο. Το διάγραμμα Gantt παρέχει μια γραφική απεικόνιση ενός έργου που βοηθά το σχεδιασμό, τον συντονισμό και την εξειδίκευση των εργασιών σε ένα έργο. Ένα διάγραμμα Gantt κατασκευάζεται με έναν οριζόντιο άξονα που αντιπροσωπεύει τη συνολική χρονική έκταση του έργου, που χωρίζεται σε διαστήματα (π.χ., ημέρες, εβδομάδες, ή μήνες) και ένα κάθετο άξονα που αντιπροσωπεύει τις εργασίες που απαρτίζουν το έργο. (Βικιπαίδεια)

Τα διαγράμματα Gantt είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την χρονική μελέτη ενός έργου. Πιο συγκεκριμένα βρίσκουν χρήση στον προγραμματισμό μελλοντικών ενεργειών σε ένα έργο, στη διάθεση πόρων και πρώτων υλών και στη διαχείριση της πορείας ενός έργου από την άποψη της ημερομηνίας ολοκλήρωσης του. Για να σχεδιαστεί ένα διάγραμμα Gantt, πρέπει αρχικά να απαριθμηθούν όλες οι δραστηριότητες του έργου και οι αντίστοιχες διάρκειες τους. Στη συνέχεια γίνεται η χάραξη των δραστηριοτήτων πάνω σε ένα έντυπο γραφικών παραστάσεων, σχεδιάζονται όλες οι δραστηριότητες και τέλος παρουσιάζεται η ανάλυση. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τοποθετείται ο χρόνος σε κατάλληλες υποδιαιρέσεις που ταιριάζουν με τις ανάγκες και την χρονική διάρκεια του έργου, ενώ στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται οι τίτλοι των δράσεων του έργου. Η σειρά τοποθέτησής τους συνήθως είναι προς τα πάνω αυτές που αρχίζουν νωρίτερα και προς τα κάτω αυτές που αρχίζουν αργότερα. Στο κύριο τώρα τμήμα του διαγράμματος τοποθετούνται για κάθε δράση και σε οριζόντια διάταξη οι ράβδοι αποτύπωσης του χρόνου, με μήκος ανάλογο με την χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της. Κάθε ράβδος αρχίζει από το σημείο που στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί με το χρονικό σημείο έναρξης της συγκεκριμένης δράσης. (Βικιπαίδεια)

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η σαφής απεικόνιση της χρονικής διάρκειας και της αλληλουχίας των δράσεων, η εύκολη και γρήγορη κατασκευή του, αλλά και η ευκολία με την οποία μπορεί να κατανοήσει ακόμα και κάποιο μη εξειδικευμένο άτομο τις πληροφορίες που το διάγραμμα Gantt παρέχει στον χρήστη του. Αυτό καθιστά το διάγραμμα Gantt το κατάλληλο εργαλείο για τον

προγραμματισμό της παραγωγής σε βιομηχανίες γάλακτος με περιορισμένο αριθμό διαφορετικών κωδικών, οι οποίοι μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά ως προς τα συστατικά και δεν απαιτούν μεγάλο αριθμό εναλλαγών.

Βέβαια τα διαγράμματα Gantt δεν έχουν μεγάλες δυνατότητες πληροφόρησης και έτσι συνήθως χρησιμοποιούνται σε λιγότερο πολυσύνθετα έργα. Συνεπώς δεν απευθύνονται σε γαλακτοβιομηχανίες με μεγάλο κατάλογο προϊόντων που συνεπάγεται πολύπλοκες και πολυάριθμες εναλλαγές. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν επαρκούν για περίπλοκους σχεδιασμούς έργων, διότι δεν απεικονίζονται οι σχέσεις αλληλεξάρτησης των επιμέρους εργασιών. Δεν είναι δηλαδή εμφανές ποιες εργασίες πρέπει να αποπερατωθούν ώστε να καταστεί δυνατή η έναρξη εκτέλεσης μιας ορισμένης εργασίας και δεν παρουσιάζει την επίδραση μιας καθυστέρησης ή επίσπευσης σε κάποια φάση του έργου. Ένα ακόμη μειονέκτημά τους είναι η δυσκολία στην αναπροσαρμογή τους όταν παρουσιάζονται μεταβολές στην χρονική διάρκεια εκτέλεσης κάποιων δράσεων ή δραστηριοτήτων, καθώς επίσης και η δυσκολία της εφαρμογής τους σε έργα με μεγάλο αριθμό δράσεων, λόγω του σημαντικού χώρου που απαιτεί η απεικόνισή τους. Ακόμα υπάρχει αδυναμία στην απεικόνιση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των δράσεων του έργου και τέλος αδυναμία για την παρουσίαση των κρίσιμων δράσεων ή δραστηριοτήτων για την επιτυχή ολοκλήρωση του συνολικού έργου.



Εικόνα 17: Ενδεικτικό διάγραμμα Gantt

#### 4.3.4 Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής για την ΝΕΟΓΑΛ Α.Ε

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η Βιομηχανία Γάλακτος Δράμας ΝΕΟΓΑΛ είναι μια από τις πρώτες γαλακτοβιομηχανίες της Βόρειας Ελλάδας, η οποία δραστηριοποιείται στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων για 50 και πλέον χρόνια και η παρουσία της είναι ιδιαίτερα σημαντική στην τοπική αγορά και όχι μόνο, εφόσον κατέχει περίπου το 3% του φρέσκου παστεριωμένου γάλακτος πανελλαδικά. Καθώς έχει θέσει υψηλούς στόχους, όπως παραγωγή νέων προϊόντων, ανάπτυξη πανελλαδικού δικτύου διανομής, περισσότερες συνεργασίες με το εξωτερικό, δημιουργία τμήματος έρευνας και τεχνολογίας και βιολογικά προϊόντα, ήταν μεγάλη πρόκληση για την βιομηχανία να εξασφαλίσει την αυτοματοποιημένη λειτουργία σε όλες τις δραστηριότητες της.

Παράλληλα ένα ασφαλές «άνοιγμα» σε επιχειρηματικό επίπεδο προϋποθέτει τον πλήρη έλεγχο των ροών εξόδων και τη διάθεση όλων των απαραίτητων εργαλείων οργάνωσης και πληροφόρησης για κάθε τομέα δραστηριότητας. Για τον λόγο αυτό είναι σημαντικό το εργαλείο προγραμματισμού να είναι προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις της γαλακτοβιομηχανίας και φυσικά να είναι απόλυτα σύμφωνο με τις αρχές, τις προτεραιότητες και τους στόχους της.

Εφόσον οι εργαζόμενοι αποτελούν την κινητήριου δύναμη για την παραγωγική ικανότητα της επιχείρησης, πρωταρχικός στόχος της γαλακτοβιομηχανίας είναι η τήρηση ενός προγράμματος εργασίας που βασίζεται στην αποφυγή των υπερωριών και των βαρδιών εν μέσω αργιών. Πολιτική της επιχείρησης, λοιπόν, είναι η τήρηση του νόμιμου ωραρίου εργασίας με εναλλαγή κυλιόμενων βαρδιών, μία πρωινή και μία απογευματινή, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από έξι εργαζόμενους. Μέσω της αποφυγής αυτών των βαρδιών που δεν ανήκουν στο πλήρες εβδομαδιαίο ωράριο εργασίας μακροπρόθεσμα επιτυγχάνεται και η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους.

Υψίστης σημασίας είναι και η ολοκλήρωση των παραγγελιών εντός του ορίζοντα φόρτωσης και η ικανοποίηση των ημερομηνιών παράδοσης στους πελάτες. Σε make-to-order περιβάλλον, η απόδοση μιας παραγωγικής μονάδας μπορεί να μετρηθεί με το επίπεδο εξυπηρέτησης (service level), το οποίο εκφράζει το ποσοστό των εργασιών που ολοκληρώθηκαν πριν την προθεσμία τους. Λόγω της φύσης των προϊόντων και της μικρής τους διάρκειας ζωής (Short Shelf Life) δεν υπάρχει περιθώριο καθυστέρησης των παραγγελιών (No Tardiness), καθώς αυτό μπορεί να οδηγήσει στην μη επιλογή τους από τους καταναλωτές και κατά συνέπεια στην επιστροφή τους στην γαλακτοβιομηχανία με σημαντικό για αυτήν κόστος. Ταυτόχρονα, η ελαχιστοποίηση στις καθυστερήσεις των παραγγελιών συμβάλλει τόσο στη σύναψη σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ επιχείρησης και πελατών, όσο και στην ανάπτυξη νέου πελατολογίου οφειλόμενη στην αναγνώριση της γαλακτοβιομηχανίας ως αξιόπιστο προμηθευτή.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της ελαχιστοποίησης του χρόνου ανταπόκρισης στις παραγγελίες είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος παραμονής των προϊόντων στο σύστημα και ο χρόνος ολοκλήρωσης των διεργασιών. Ωστόσο, λόγω των πολλών διαφορετικών κωδικών προϊόντων, η ύπαρξη νεκρών χρόνων εναλλαγής στο σύστημα είναι αναπόφευκτη. Για αυτόν το λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντική η ομαδοποίηση των διαφορετικών κωδικών σε «οικογένειες προϊόντων» (Batch Production), με κοινά

χαρακτηριστικά, όπως η τυποποίηση λίπους και το γευστικό προφίλ. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι χρόνοι εναλλαγής, αλλά και το κόστος που οφείλεται σε αυτές.

Εξίσου σημαντική είναι η μεγιστοποίηση του βαθμού απασχόλησης των μηχανών και των εργασιών (Utilization) και η εκμετάλλευση της μέγιστης δυναμικότητας τους. Φυσικά αυτό δεν αναιρεί την τήρηση των προτύπων υγιεινής που υποχρεώνουν την παραγωγή σε αναγκαστική διακοπή μετά από δέκα έξι ώρες συνεχόμενης παραγωγής, καθώς πρέπει να λάβει χώρα ο διεξοδικός καθαρισμός όλων των γραμμών και των μηχανών με το σύστημα (Cleaning In Place – CIP).

Η επίτευξη όλων των παραγωγικών στόχων της γαλακτοβιομηχανίας με την ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των φυσικών, δυναμικών και οικονομικών περιορισμών αναπόφευκτα οδηγεί στην υποβοήθηση του προγραμματισμού με χρήση κατάλληλου λογισμικού. Τα βασικότερα κριτήρια για την επιλογή της σωστής λύσης μηχανογράφησης ήταν η αξιοπιστία, η ποιότητα των υπηρεσιών, αλλά και η εξειδίκευση στις ανάγκες που προκύπτουν από τη δραστηριότητα της εταιρίας. Έτσι, η Βιομηχανία Γάλακτος Δράμας εγκατέστησε στη μηχανογράφηση της το ERP σύστημα Galaxy Enterprise Suite® της Singular Logic, με στόχο την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο σε όλες τις διαδικασίες και συναλλαγές της. Το Galaxy σε αντίθεση με άλλες λύσεις της αγοράς πληροφορικής έδειξε να πληροί όλα τα κριτήρια της εταιρίας.



**Εικόνα 18: Λογότυπο Galaxy ERP**

Η εγκατάσταση του Galaxy, η εκπαίδευση των χειριστών του, η μεταφορά όλων των δεδομένων από το προηγούμενο σύστημα μηχανογράφησης, η παραμετροποίηση με βάση τις τρέχουσες ανάγκες της βιομηχανίας, η ζωντανή λειτουργία σε καθημερινή βάση επιτεύχθηκαν σε σύντομο χρονικό διάστημα χάρη στη βοήθεια των εξειδικευμένων συμβούλων της Singular Logic. Σύμφωνα με τον διευθύνων σύμβουλο της ΝΕΟΓΑΛ, Χριστόφορο Σεβαστίδη, το σύστημα ERP Galaxy αποδεικνύεται ορθή επιλογή, εφόσον εξασφάλισε στην εταιρεία την αυτοματοποίηση που ζητούσε και τον έλεγχο όλων των διαδικασιών και συναλλαγών.

Σύμφωνα με τη Singular Logic, τα οφέλη από τη χρήση του συστήματος Galaxy είναι:

- Μείωση των λειτουργικών εξόδων
- Ουσιαστικός έλεγχος στα αποθέματα, τα κόστη παραγωγής, τις παραλαβές, τις διανομές και το λογιστήριο
- Παρακολούθηση στόλου αυτοκινήτων, που αφορά σε βυτία μεταφοράς γάλακτος και αυτοκίνητα διανομής γάλακτος
- Γρήγορη, αξιόπιστη και δομημένη πληροφορία που αποτελεί εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων για επεκτάσεις και νέες επενδύσεις

Με το Galaxy η εταιρία διαχειρίζεται και εξυπηρετεί το σύνολο των παραγγελιών της, ακόμα και των παραγγελιών που αποστέλλονται από τους Merchandisers, μέσω τρίτου συστήματος απευθείας στο ERP. Η παραγγελία ολοκληρώνει τον κύκλο της, από τη λήψη μέχρι και την αποστολή της στον τελικό πελάτη με αυτοματοποιημένο τρόπο, ακόμα και αν αποστέλλεται από 3<sup>rd</sup> Party Logistics, με τη χρήση κατάλληλων interfaces του λογισμικού. Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών συμβάλλει σημαντικά στην ταχύτερη και χωρίς λάθη ολοκλήρωση των παραγγελιών της εταιρίας, εξυπηρετώντας αποτελεσματικότερα τους πελάτες της. Η ευελιξία του συστήματος να εφαρμόζει πολλαπλές και πολυδιάστατες εμπορικές και εκπαιδευτικές πολιτικές βάσει συμφωνιών, συμβάλλει αφενός στη διαφανή συνεργασία της με τους πελάτες της, αλλά και στην περεταίρω ανάπτυξη της και εδραίωση της εταιρίας ως αξιόπιστου προμηθευτή.

Στις διαδικασίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας, μέσω του Galaxy ERP και του RF αποθηκών, διαχειρίζεται την αποθήκη και το κέντρο διανομής της τόσο για το κομμάτι της παραγωγής όσο και των έτοιμων προϊόντων που διαθέτει, είτε είναι owned brand, είτε private labeled, προσφέροντας ταχύτερη και καλύτερη εξυπηρέτηση στους πελάτες της. Η παρακολούθηση των αποθεμάτων γίνεται βάσει barcode, παρτίδων, θέσης στην αποθήκη ή και στο ράφι, με αυτοματοποιημένη πρόταση εξαγωγής των παρτίδων βάσει FIFO (First In First Out), συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση του κόστους διαχείρισης αλλά και συνολικού κόστους των προϊόντων της.

Στον τομέα της βάσης δεδομένων παλαιότερων παραγγελιών, το σύστημα Galaxy διατηρεί αρχείο όλων των ζητήσεων από την ημερομηνία έναρξης, για κάθε ημέρα και για κάθε περίοδο, δίνοντας στη γαλακτοβιομηχανία τη δυνατότητα να προβλέψει τη ζήτηση για τα επερχόμενα διαστήματα και να προγραμματίσει διαδικαστικά θέματα, όπως το πότε θα είναι το πιο κατάλληλο διάστημα για να δώσει άδεια στο προσωπικό της καθώς η ζήτηση δε θα είναι τόσο απαιτητική, ή πότε θα μπορέσει να επενδύσει σε νέα προϊόντα, χωρίς να θέσει σε κίνδυνο τη συνέπεια της στους πελάτες της. Εξίσου σημαντική είναι και η παροχή δεδομένων εποχικότητας στην κατανάλωση, τα οποία είναι απαραίτητα για την παρουσίαση ενός νέου προϊόντος στην αγορά.





Εικόνα 19: Ενδεικτικό περιβάλλον εργασίας της σουίτας Galaxy

Η διαχείριση της Παραγωγικής Διαδικασίας γίνεται μέσα από το εν λόγω λογισμικό από τη ροή των πρώτων υλών από την αποθήκη, τις μετακινήσεις των αποθεμάτων, την παρακολούθηση τους, τη διαχείριση τους, έως την τελική παραγωγή του προϊόντος, με πλήρη ιχνηλασιμότητα των παρτίδων. Το σύστημα επιτρέπει στην εταιρία να διαμορφώνει εναλλακτικά συνταγολόγια παραγωγής με εύκολο τρόπο χωρίς την ανάγκη να δημιουργούνται καινούρια. Αυτό προσφέρει σημαντική ευελιξία στην παραγωγική διαδικασία της, ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά στις απαιτήσεις των πελατών της (καλύτεροι χρόνοι παράδοσης σε έκτακτες παραγγελίες). Με το Galaxy η εταιρία μπορεί να προσδιορίσει το πραγματικό κόστος για κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας.

Η κυριότερη χρήση του Galaxy ωστόσο είναι η κατάστρωση του εβδομαδιαίου προγράμματος παραγωγής, με βάση την εβδομαδιαία ζήτηση. Οι πιο απαιτητικές ως προς τον χρόνο παράδοσης είναι οι παραγγελίες των πελατών του εξωτερικού, οι οποίες λαμβάνονται από την γαλακτοβιομηχανία κάθε Παρασκευή και πρέπει να είναι έτοιμες για αποστολή την επόμενη Πέμπτη, ενώ οι παραγγελίες των πελατών του εσωτερικού λαμβάνονται καθημερινά, αλλά παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τον χρόνο παράδοσης, καθώς μπορούν να είναι άμεσα διαθέσιμες στους πελάτες χωρίς να μεσολαβεί διάστημα αποστολής. Ο προγραμματισμός της παραγωγής γίνεται στην αρχή της εβδομάδας, ημέρα Δευτέρα, και για χρονικό ορίζοντα μίας εργάσιμης εβδομάδας παραγωγής, δηλαδή Δευτέρα με Παρασκευή. Το Σάββατο θεωρείται για την παραγωγή εφεδρική ημέρα ασφαλείας και λογίζεται ως υπερωρία. Ο ορίζοντας φόρτωσης και κατ' επέκταση ο ορίζοντας προγραμματισμού ταυτίζονται με αυτό το διάστημα της μίας εβδομάδας με έναρξη τη Δευτέρα και λήξη την Παρασκευή.

Με άλλα λόγια ο ορίζοντας προγραμματισμού ορίζεται ως το διάστημα που μεσολαβεί από την Δευτέρα όπου αρχίζει η επεξεργασία των νεοληφθέντων παραγγελιών μέχρι την Παρασκευή όπου ολοκληρώνεται και οι παραγγελίες αποστέλλονται στους πελάτες. Η γαλακτοβιομηχανία μέσω του προγράμματος αρχειοθέτησης των παραγγελιών στο Galaxy, όπου υπάρχουν οι ζητήσεις όλων των περασμένων ετών, ο υπεύθυνος παραγωγής καταχωρεί τις νέες.

Η διαδικασία του χρονοπρογραμματισμού παραγωγής επαναλαμβάνεται κάθε εβδομάδα και ξεκινά με την λήψη των εντολών αγοράς σε επίπεδο τελικού προϊόντος (Purchase Orders – POs) στο σύστημα ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού (Enterprise Resource Planning – ERP). Αφού γίνει γνωστή η ζήτηση, ακολουθεί η διαμόρφωση του Βασικού Χρονοδιαγράμματος. Η ζήτηση για κάθε τελικό προϊόν αποστέλλεται από τα διάφορα κανάλια πώλησης που διαθέτει η ΝΕΟΓΑΛ υπό την μορφή πρόβλεψης. Τα εν λόγω καταστήματα έχουν έδρα σε διάφορες χώρες του κόσμου και είναι υπεύθυνα να διανέμουν τα προϊόντα στην αγορά. Από τη στιγμή που οι προβλέψεις της ζήτησης θα παραληφθούν από την βιομηχανία, αυτές «μεταφράζονται» σε εντολές αγοράς (Purchase order – PO) και είναι έτοιμες για επεξεργασία από την ομάδα του προγραμματισμού παραγωγής του εργοστασίου. Ένα πολύ σημαντικό βήμα για την σωστή λειτουργία κάθε εργοστασίου είναι η διαχείριση της εκάστοτε ζήτησης και η δημιουργία των κατάλληλων παραγγελιών παραγωγής για την κάλυψή της. Εδώ λοιπόν, έρχεται η διαδικασία του χρονοπρογραμματισμού της παραγωγής η οποία πραγματοποιείται με τη βοήθεια του Galaxy.

Ο υπεύθυνος παραγωγής της γαλακτοβιομηχανίας εισάγει στο τέλος της εκάστοτε εβδομάδας, δηλαδή κάθε Παρασκευή, το μέγεθος της ζήτησης για κάθε κωδικό προϊόντος στο Galaxy, καθώς και τον ορίζοντα φόρτωσης αυτών και το πρόγραμμα υπολογίζει βάσει της δυναμικότητας τις ποσότητες που πρέπει να παραχθούν ημερησίως μεταφράζοντας τις σε εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα υπό τη μορφή πίνακα. Το χρονοδιάγραμμα του Galaxy αποτελεί τον οδηγό για την οργάνωση της παραγωγής, αλλά τροποποιείται από τον υπεύθυνο παραγωγής προκειμένου να ικανοποιεί τους περιορισμούς που θέτουν οι εμπειρικοί κανόνες προγραμματισμού. Καθώς οι ζητήσεις είναι σχεδόν σταθερές και παραλαμβάνονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα παρατηρείται ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο παραγωγής.

Το επαναλαμβανόμενο αυτό πρόγραμμα παραγωγής προκύπτει από τον εμπειρικό κανόνα που ορίζει ότι τα προϊόντα που πρέπει να παραχθούν σε μεγαλύτερες ποσότητες εισάγονται με προτεραιότητα στο εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα. Ο κανόνας αυτός εξασφαλίζει το περιθώριο αντίδρασης που είναι απαραίτητο για κάθε επιχείρηση που λειτουργεί σε make-to-order περιβάλλον με ευπαθή προϊόντα, προκειμένου να εξασφαλίσει χρόνο αντίδρασης για να κάνει αναπρογραμματισμό της παραγωγής και να είναι συνεπής στην καταληκτική ημερομηνία παράδοσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως ακόμα και σε περίπτωση βλάβης στη γραμμή παραγωγής, οι ημέρες που ακολουθούν θα καλύπτονται από προϊόντα που θα παραχθούν σε μικρότερες ποσότητες επιτρέποντας έτσι την συμπληρωματική παραγωγή μέρους ή ακόμα και όλης της ποσότητας των κωδικών που καθυστέρησαν.

Εμπειρικά, λοιπόν, οι εργαζόμενοι στην παραγωγή γνωρίζουν ότι κάθε Δευτέρα παράγεται γιαούρτι με περιεκτικότητα 2% σε λιπαρά, κάθε Τρίτη γιαούρτι 0%, λευκό και με γεύσεις, και κάθε Τετάρτη 10% στραγγιστό λευκό γιαούρτι. Επιπλέον, καθώς το γιαούρτι 0% παράγεται σε πολύ μικρότερες ποσότητες δεν παράγεται κάθε εβδομάδα. Εν συνεχεία, κάθε Πέμπτη και Παρασκευή επεξεργάζονται οι παραγγελίες του εσωτερικού τηρώντας τους ίδιους εμπειρικούς κανόνες, δηλαδή κατά αύξοντα αριθμό τεμαχίων.

# Κεφάλαιο 5: Συγκριτική Ανασκόπηση Μαθηματικών Μοντέλων και Μεθόδων Προγραμματισμού Παραγωγής

Τις τελευταίες δεκαετίες ερευνητές και επαγγελματίες στο χώρο των βιομηχανιών μεταποίησης τροφίμων εκφράζουν τις ανησυχίες τους σχετικά με την οργάνωση και τον προγραμματισμό των σύνθετων και πολυτμηματικών γραμμών παραγωγής του κλάδου. Πολυάριθμες προσεγγίσεις έχουν αναπτυχθεί για να διατυπώσουν μαθηματικά το πρόβλημα και να δώσουν εναλλακτικές λύσεις στην ανάγκη για βέλτιστη οργάνωση ενός κλάδου στον οποίο ο χρόνος μεταφράζεται κυριολεκτικά σε χρήμα, καθώς έρχεται αναπόφευκτα αντιμέτωπος με την φθαρτότητα των ακατέργαστων πρώτων υλών. Ωστόσο η ανάπτυξη όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικών μαθηματικών μοντέλων αντιπροσωπεύοντας πραγματικές ροές παραγωγής δεν είναι απλή υπόθεση και ενέχει δυσκολίες ειδικότερα ως προς την επίλυση αυτών. Για τον σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές επίλυσης, η εφαρμογή των οποίων οδηγεί σε διαφορετικές προτάσεις για τη λύση του προβλήματος του production planning.

Ανατρέχοντας στη σχετική βιβλιογραφία εντοπίζονται διαφορετικά μοντέλα και προσεγγίσεις με σκοπό να δώσουν λύση στο πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού και του βέλτιστου τρόπου εναλλαγής μεταξύ των παραγόμενων προϊόντων. Ο γενικός στόχος των ερευνών είναι ο καθορισμός των απαιτούμενων πόρων για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών της κάθε βιομηχανίας. Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής έχει μελετηθεί εκτενώς, καθώς δίνει στους κατασκευαστές τη δυνατότητα να αυξήσουν τα κέρδη της επιχείρησης τους εκμεταλλευόμενοι στον μέγιστο βαθμό και με τον βέλτιστο τρόπο τους διαθέσιμους πόρους της. Στην πραγματικότητα η διαδικασία λήψης αποφάσεων σε ότι αφορά τον χρονοπρογραμματισμό πέρα από τη διαχείριση των επιχειρησιακών πόρων αφήνει το περιθώριο για αμεσότερη υλοποίηση των μελλοντικών στόχων της.

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η συγκριτική ανασκόπηση των μαθηματικών μοντέλων της βιβλιογραφίας με στόχο τον εντοπισμό των κοινών, αλλά και των μοναδικών τους σημείων και την ταξινόμηση αυτών με βάση τον τρόπο προσέγγισης και εύρεσης της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού. Η ταξινόμηση θα γίνει απαντώντας στις ερωτήσεις που τίθενται παρακάτω ως εξής:

**RQ1.** Με ποιον τρόπο μπορούν να ταξινομηθούν τα προβλήματα οργάνωσης και προγραμματισμού της παραγωγής και εύρεσης της βέλτιστης αλληλουχίας;

**RQ2.** Ποιες διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται στα προβλήματα οργάνωσης και προγραμματισμού της παραγωγής και εύρεσης της βέλτιστης αλληλουχίας και ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους;

**RQ3.** Ποιες μέθοδοι ή τεχνικές προτείνονται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης στα προβλήματα οργάνωσης και προγραμματισμού της παραγωγής και εύρεσης της βέλτιστης αλληλουχίας;

**RQ4.** Ποιες μέθοδοι ή τεχνικές μπορούν να συμβάλλουν στην επίλυση πραγματικών, μεγάλης κλίμακας προβλημάτων και ποια είναι η ποιότητα της λύσης τους;

Προκειμένου να δοθούν απαντήσεις στις τέσσερις ερωτήσεις που τέθηκαν παραπάνω κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί πρώτα μία διεξοδική έρευνα και μελέτη της βιβλιογραφίας και να καταστρωθεί λεπτομερώς το προτεινόμενο σχέδιο αξιολόγησης των διαθέσιμων μοντέλων οργάνωσης και προγραμματισμού της παραγωγής και εύρεσης της βέλτιστης αλληλουχίας. Εν συνεχεία, με στόχο την παρουσίαση των κυριότερων σημείων της κάθε μελέτης, πραγματοποιείται στη ροή του παρόντος κεφαλαίου μία λεπτομερής ανάλυση του τρόπου προσέγγισης του κάθε μοντέλου, των τεχνικών και του εργαλείου επίλυσης, των προοπτικών που ανεγείρονται, του πεδίου εφαρμογών και της ποιότητας και φυσικής σημασίας της κάθε λύσης. Τέλος, επισημαίνονται και συζητούνται τα επικείμενα αποτελέσματα.

Για την συστηματική διαλογή των σχετικών ερευνών που θα αναλυθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας από τις διαθέσιμες της βιβλιογραφίας υιοθετείται μία διαρθρωμένη μεθοδολογία που επιτρέπει την ταυτοποίηση των επιστημονικών ευρημάτων και των κατευθυντήριων γραμμών και τον εντοπισμό των κενών σημείων της κάθε μελέτης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρουσία εργασία στηρίζεται στο ερευνητικό έργο των Seuring and Müller [7] και Seuring and Gold [8] και αποτελείται από τέσσερα (4) βήματα:

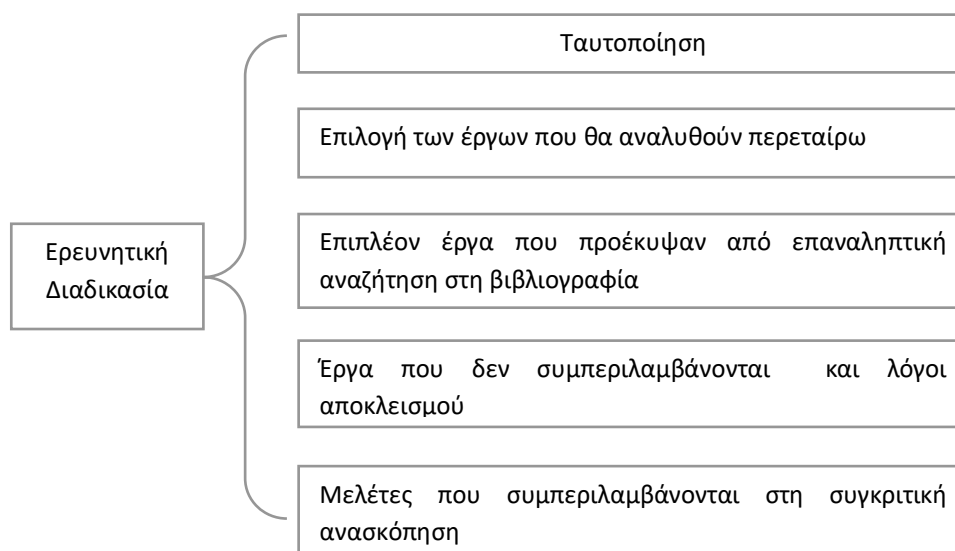
- Τη συλλογή του ερευνητικού υλικού
- Την περιγραφική ανάλυση του
- Την κατηγοριοποίηση των δεδομένων
- Την αξιολόγηση των συλλεχθέντων πληροφοριών

## 5.1 Συλλογή και επεξεργασία ερευνητικού υλικού

Οι βιβλιογραφικές αναφορές στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας συλλέχτηκαν από το Google Scholar. Οι λέξεις κλειδιά για την αναζήτηση των βιβλιογραφικών αναφορών είναι οι: 'Planning', 'Scheduling', 'Yogurt production', 'Optimal production scheduling', 'Food industry', 'Dairy industry' και 'Lot-sizing' σε συνδυασμό με τις 'Mixed-Integer Linear Programming (MILP)' και 'Mathematical Programming'. Οι λέξεις κλειδιά επιλέχθηκαν με στόχο να πραγματοποιηθεί μία πρώτη συλλογή των πιο σχετικών ερευνητικών έργων της βιβλιογραφίας. Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η ερευνητική στρατηγική που ακολουθήθηκε για την τήρηση της διαρθρωμένης κριτικής ανάλυσης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας.

Ωστόσο, στη συγκριτική ανασκόπηση των μεθόδων δεν συμπεριλαμβάνονται όλα τα αποτελέσματα της αναζήτησης παρ' όλο που εμπεριέχουν τις παραπάνω λέξεις-κλειδιά. Με βάση την περιληπτική τους ανάλυση, από την παρούσα ανάλυση απουσιάζουν οι μελέτες που δεν ικανοποιούν τα παρακάτω κριτήρια:

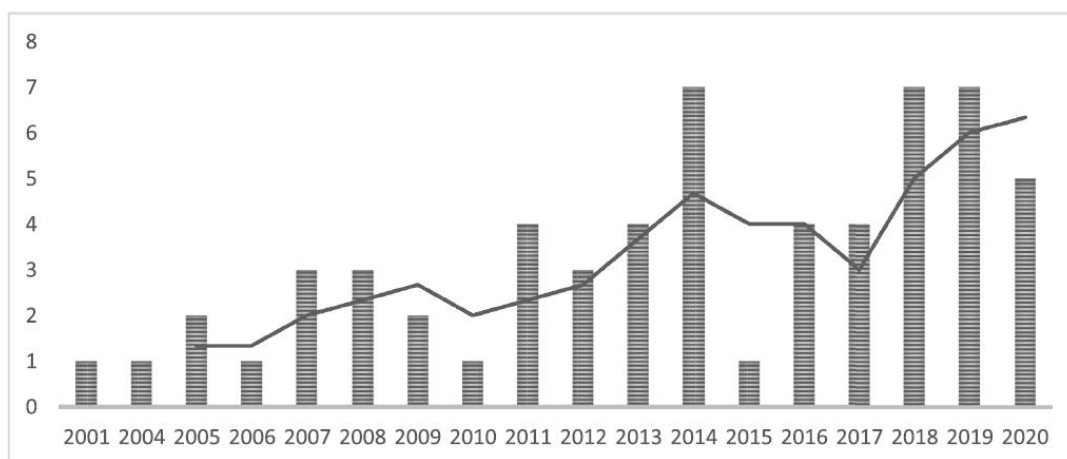
- Αναφορά στα στάδια της γραμμής παραγωγής που είναι από τη φύση τους πιο πολύπλοκα και αποτελούν το αντικείμενο βελτιστοποίησης για τον τομέα της οργάνωσης παραγωγής, δηλαδή στο στάδιο της συσκευασίας και της εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών προϊόντων
- Ανάπτυξη μοντέλου βελτιστοποίησης ή ευρετικού/ μεθευρετικού αλγόριθμου ως λύση στο πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού και της εύρεσης της βέλτιστης αλληλουχίας μεταξύ διαφορετικών προϊόντων



Διάγραμμα 5.1: Βήματα ερευνητικής διαδικασίας

Έπειτα από συγκέντρωση των βιβλιογραφικών αναφορών που δημοσιεύτηκαν μεταξύ των ετών 2000 και 2020 παρατηρείται μία μικρή αυξητική τάση κατά τα τρία

τελευταία χρόνια του ορίζοντα μελέτης. Η ανάγκη για συνεχή αύξηση του δείκτη αποτελεσματικότητας της γραμμής παραγωγής ολοένα και αυξάνεται όσο διευρύνονται τα κωδικολόγια των γαλακτοβιομηχανιών και συστήνονται στην αγορά νέα προϊόντα με διαφορετικά διατροφικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα όσο απομακρυνόμαστε από το τέλος του ορίζοντα μελέτης τόσο μειώνεται η παρουσία σχετικών ερευνητικών έργων.



Εικόνα 20: Γραφική κατανομή των βιβλιογραφικών αναφορών στον χρονικό ορίζοντα των 20 ετών

Για να δοθεί απάντηση στην πρώτη ερευνητική ερώτηση RQ1 που τέθηκε παραπάνω προτείνεται ένα ολιστικό πλαίσιο στο οποίο συνοψίζονται οι πιο σημαντικές πτυχές που χαρακτηρίζουν τον προγραμματισμό της παραγωγής, την χρονοδρομολόγηση και την αλληλουχία των παραγόμενων προϊόντων. Το ολιστικό πλαίσιο προκύπτει από την ενσωμάτωση των βιβλιογραφικών αναφορών. Στο ολιστικό αυτό πλαίσιο περιγράφονται λεπτομερώς όλα τα διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης ενός μοντέλου χρονικού προγραμματισμού, καθώς και τα πιο βασικά σημεία ενός τέτοιου ερευνητικού έργου, που είναι τα εξής: ο στόχος της αντικειμενικής συνάρτησης, ο ορίζοντας χρονικού προγραμματισμού, η οπτική γωνία προσέγγισης του μοντέλου, το πεδίο εφαρμογής, η προτεινόμενη λύση στο πρόβλημα, το εύρος των δεδομένων, η ποιότητα της τελικής λύσης και η εφαρμοσιμότητα σε αληθινά προβλήματα χρονικού προγραμματισμού. Με το πέρας της καταγραφής των ερευνητικών άρθρων πραγματοποιήθηκε επανέλεγχος εγκυρότητας του κάθε άρθρου, ο οποίος διαβεβαίωσε ότι το παραπάνω παρέχει επαρκείς και τεκμηριωμένες επιστημονικές πληροφορίες.

## 5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Τα προβλήματα χρονικού προγραμματισμού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με την έκταση και την επιρροή της λύσης τους «μεταφρασμένες» σε μεταβλητές χρόνου σε στρατηγικά, τακτικά και λειτουργικά.

Τα στρατηγικά, ή αλλιώς μακροπρόθεσμα, μοντέλα χρονικού προγραμματισμού οριοθετούν έναν χρονικό ορίζοντα από 4 έως 10 έτη. Λόγω του μεγάλου διαστήματος που μεσολαβεί από την έναρξη του προγραμματισμού μέχρι τη λήψη απόφασης, αυτός ο τρόπος προσέγγισης συνεπάγεται μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας, το οποίο επηρεάζει τον σχεδιασμό, την παραμετροποίηση και την αναζήτηση της καταλληλότερης χρονικής στιγμής για την υλοποίηση νέων επιχειρηματικών εγχειρημάτων. Επιπλέον, οι αποφάσεις που λαμβάνονται από στρατηγικά μοντέλα αλληλεπιδρούν και με την ανάπτυξη νέων προϊόντων, την ταυτοποίηση των καναλιών διανομής, την επιλογή των προμηθευτών και την επιλογή των τεχνολογικών πληροφοριών.

Τα τακτικά μοντέλα χρονικού προγραμματισμού στοχεύουν στην οργάνωση ενδιάμεσων δραστηριοτήτων και οριοθετούν έναν χρονικό ορίζοντα από έναν ή μερικούς μήνες μέχρι και 2 χρόνια. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τακτικά μοντέλα δεν είναι μόνο θεωρητικές, αλλά πρόκειται να υλοποιηθούν και είναι σε συμφωνία με τις αντίστοιχες που λαμβάνονται σε στρατηγικό επίπεδο. Οι αποφάσεις αυτές περιλαμβάνουν δραστηριότητες όπως η οργάνωση της παραγωγής, η διαχείριση των διαθέσιμων πόρων, ο προγραμματισμός της διανομής και της αποθήκευσης, ο καταμερισμός της δυναμικότητας, η διαχείριση του αποθέματος και οι διαδικασίες συντήρησης.

Τα λειτουργικά μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού, ή αλλιώς βραχυπρόθεσμα, σε επιχειρησιακό επίπεδο χαρακτηρίζονται από αποφάσεις που λαμβάνονται σε εβδομαδιαία, ημερήσια ή ωριαία βάση εστιάζοντας ουσιαστικά στον προγραμματισμό των επαναλαμβανόμενων καθημερινών παραγωγικών δραστηριοτήτων. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τα διεκπεραιωτικά αυτά μοντέλα αφορούν την αλληλουχία μεταξύ των παραγόμενων προϊόντων, τον χρονοπρογραμματισμό, τη συσκευασία, τον υπολογισμό του μεγέθους παρτίδας, τον καταμερισμό των διαδρομών και την φόρτωση των μεταφορικών οχημάτων. Ο στόχος του επιπέδου αυτού είναι η εξασφάλιση της ομαλής ροής των προϊόντων κατά μήκος της παραγωγικής αλυσίδας.

Ωστόσο, παρά την εμφανή διαφοροποίηση των τριών τύπων μαθηματικών μοντέλων σε θεωρητικό επίπεδο, στην πράξη η διάκριση αυτή δεν είναι εξίσου εύκολο να πραγματοποιηθεί, καθώς για την λήψη αποφάσεων ενδέχεται να απαιτείται συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων.



Επίπεδο απόφασης	Βιβλιογραφική αναφορά
Στρατηγικό	George Liberopoulos & Panagiotis Tsarouhas [2]
Τακτικό	Sillekens et al. [14]
Λειτουργικό	Philip Doganis & Sarimveis [3], P Doganis & Sarimveis [10], Georgios M. Koranos & Luis Puigjanera & Michael C. Georgiadis [4], Marinelli et al. [6], Entrup et al. [5], Sel et al. [9], Amorim et al. [15]
Τακτικό και λειτουργικό	Rodopulu et al. [13]

Πίνακας 4: Επίπεδα λήψης αποφάσεων των βιβλιογραφικών αναφορών

Οι Doganis et al. (2007) [10] εστιάζουν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης της γραμμής παραγωγής μίας μεγάλης γαλακτοβιομηχανίας με έδρα την Αθήνα και προτείνουν ένα μαθηματικό μοντέλο αποτελούμενο από μία γραμμή παραγωγής (single production line). Στο μοντέλο τους εισάγουν, πέραν των κλασικών περιορισμών (δυναμικότητα μηχανών, περιορισμοί ανθρώπινου δυναμικού και περιορισμοί αποθεμάτων), περιορισμούς που προκύπτουν από τα ειδικά χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος, όπως η λιποπερικτικότητα του, τα οποία οδηγούν σε χρόνους και κόστη εναλλαγής. Η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης ελαχιστοποιεί τα λειτουργικά και αποθεματικά κόστη, και μειώνει τον παράγοντα συμβολής των εξόδων στησίματος (setup costs) στα συνολικά έξοδα της γραμμής παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο τους είναι κατασκευασμένο με τρόπο τέτοιο, ώστε μία εναλλαγή με υψηλότερο κόστος setup που απαιτεί μικρότερο χρόνο εναλλαγής να προτιμάται, από μία άλλη που επιβαρύνει το μοντέλο με χαμηλότερο κόστος αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο. Έτσι, η αντικειμενική συνάρτηση που παρουσιάζεται στο μοντέλο τους στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των μεγαλύτερων πηγών εξόδων χωρίς όμως να θυσιάζεται ο παραγωγικός χρόνος της γραμμής παραγωγής. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την επίλυση του μαθηματικού τους μοντέλου είναι ολόκληρο το πρόγραμμα παραγωγής για τα 18 διαφορετικά προϊόντα γιαουρτιού και για όλη τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα των έξι ημερών.

Οι Koranos et al. (2010) [4] προσεγγίζοντας το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής και του βέλτιστου μεγέθους παρτίδας (lot-sizing) παρουσίασαν στη συνεργασία τους ένα μοντέλο μεικτού συνεχούς-διακριτού χρόνου (mixed discrete/continuous-time) βασισμένο στις αρχές του μεικτού γραμμικού-ακέραιου προγραμματισμού (mixed-integer linear programming, MILP). Οι συγγραφείς προτείνουν ένα μοντέλο στο οποίο οι δύο ευρύτερες κατηγορίες γιαουρτιού, set και στραγγιστό, ομαδοποιούνται περεταίρω σε κατηγορίες με βάση τη συνταγή τους, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τον χρόνο εναλλαγής από κωδικό σε κωδικό, ο οποίος μεταφράζεται σε χρόνο αδράνειας της μηχανής, όσο και το επακόλουθο κόστος. Το μοντέλο εστιάζεται κυρίως στο στάδιο της συσκευασίας επιβάλλοντας κατά συνέπεια τόσο χρονικούς περιορισμούς όσο και περιορισμούς δυναμικότητας, με σεβασμό στα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, δηλαδή στην παστερίωση, την ομογενοποίηση και τη ζύμωση. Ο στόχος του μοντέλου τους είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, το οποίο προκύπτει από το άθροισμα του κόστους που επιφέρει η διατήρηση και αποθήκευση ενός αποθέματος

ασφαλείας συν τα βασικά λειτουργικά έξοδα, το κόστος ζύμωσης κάθε τύπου προϊόντος, το κόστος λειτουργίας των μηχανών παραγωγής και τα έξοδα εναλλαγής από έναν παραγόμενο κωδικό σε έναν άλλο. Βασική μεταβλητή της αντικειμενικής συνάρτησης ελαχιστοποίησης είναι ο αριθμός των απαιτούμενων εναλλαγών στη ροή της παραγωγής, καθώς την θέτει σε παύση και αντιτίθεται στη μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής. Όπως είναι προφανές ο άμεσος στόχος είναι η οργάνωση του προγράμματος συσκευασίας με τρόπο τέτοιο, ώστε να αποφεύγονται οι άσκοπες εναλλαγές μεταξύ των προϊόντων και ο χρόνος αδράνειας της κάθε συσκευαστικής μηχανής να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος για τους συγγραφείς έγκειται στο γεγονός ότι μεγάλος αριθμός προϊόντων παράγεται από μικρό αριθμό αρχικών πρώτων υλών και συνταγών.

Οι Entrup et al. (2005) [5] προτείνουν στην πρωτοποριακή τους έρευνα τρία μοντέλα μεικτού ακέραιου-γραμμικού προγραμματισμού (MILP), στα οποία εντάσσουν μία σημαντική παράμετρο, η οποία χαρακτηρίζει την προσέγγισή τους, τη διάρκεια ζωής των τελικών προϊόντων, καθώς οι καταναλωτές τείνουν να επιλέγουν τα πιο φρέσκα προϊόντα με την πιο μακρινή ημερομηνία λήξης. Τα μοντέλα έχουν ως αντικείμενο τον προγραμματισμό της παραγωγής γιαουρτιού αναδευμένου τύπου (stirred yogurt) σε εβδομαδιαία βάση εστιάζοντας στο στάδιο της διαμόρφωσης του γευστικού προφίλ και της συσκευασίας, με την αναπαράσταση του χρόνου να γίνεται τόσο με συνεχή όσο και με διακριτό τρόπο. Η διαφορά τους έγκειται στη χρονική βάση που επιλέγεται κάθε φορά (Model with day bounds, Model with set-up conservation, Position-based model). Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί σε κάθε περίπτωση τη συνεισφορά στα κέρδη (contribution margin), λαμβάνοντας υπόψη τα έσοδα και τις διάφορες πηγές εξόδων με τη διάρκεια ζωής να μεταφράζεται σε έναν παράγοντα τιμολόγησης, χωρίς ωστόσο να εισάγονται παράμετροι που αντιπροσωπεύουν τους χρόνους και τα εναλλαγής. Έτσι, το μοντέλο εφαρμόζεται αποτελεσματικότερα σε περιπτώσεις οργάνωσης (planning) της παραγωγής και όχι τόσο σε προβλήματα προγραμματισμού (scheduling) αυτής.

Οι Marinelli et al. (2007) [6] στο ερευνητικό τους έργο αναζητούν λύση στο πρόβλημα του προγραμματισμού μίας γραμμής παραγωγής γιαουρτιού που αποτελείται από 5 παράλληλες μηχανές συσκευασίας γυάλινων δοχείων στις οποίες κατανέμονται 17 διαφορετικά προϊόντα. Ο στόχος του μαθηματικού μοντέλου που αναπτύσσουν είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγωγής και του στησίματος σε συνδυασμό με τον περιορισμό των εξόδων διατήρησης αποθέματος. Στο μοντέλο τους δεν υπολογίζεται ο νεκρός χρόνος παραγωγής που προκύπτει από εναλλαγές μεταξύ των παραγόμενων προϊόντων που δεν είναι οι βέλτιστες και μεταφράζεται σε προστιθέμενο κόστος. Οι ερευνητές παρουσιάζουν μία ευρετική μέθοδο βελτιστοποίησης δύο σταδίων, η οποία βασίζεται στον διαχωρισμό του προβλήματος του βέλτιστου μεγέθους παρτίδας από το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού της παραγωγής και έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση «σχεδόν βέλτιστων» λύσεων των δύο υπό-προβλημάτων σε μικρό υπολογιστικό χρόνο. Οι απαραίτητοι υπολογιστικοί έλεγχοι πραγματοποιούνται με βάση τα πραγματικά δεδομένα που παρέχονται από τη γαλακτοβιομηχανία μελέτης. Ως ορίζοντας προγραμματισμού στο μοντέλο τους ορίζεται η μία εβδομάδα, η οποία χωρίζεται σε 5 βάρδιες. Το μοντέλο επιλύεται με τη CPLEX 8.0 ILP-solver και στη λύση τους συνυπολογίζεται και ο δείκτης εποχικότητας στην κατανάλωση των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Οι Sel et al. (2017) [9] αναπτύσσουν ένα στοχαστικό μοντέλο πιθανοτικού δυναμικού προγραμματισμού, με τη χρήση του οποίου οι γαλακτοβιομηχανίες μπορούν να διαχειριστούν την αβεβαιότητα που συνεπάγεται η φθαρτότητα των ημιέτοιμων προϊόντων (intermediate mixture/bulks). Ο στόχος του μαθηματικού τους μοντέλου είναι η εύρεση του βέλτιστου μεγέθους παρτίδας και η επίτευξη του ημερήσιου στόχου παραγωγής στον ελάχιστο δυνατό χρόνο ολοκλήρωσης (minimum makespan: total time needed to finish the daily production), με γνώμονα τη διαφύλαξη της ποιότητας του ενδιάμεσου προϊόντος που προκύπτει κατά την επεξεργασία του γάλακτος, καθώς αυτό θεωρείται το πιο ευάλωτο. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των ως άνω αναφερόμενων συγγραφέων και των υπόλοιπων του κλάδου είναι το γεγονός ότι το κρίσιμο σημείο κατά την παραγωγική διαδικασία είναι η διασφάλιση της ποιότητας του ημιέτοιμου προϊόντος παρά το γεγονός ότι για τους εμπόρους λιανικής μείζον ζήτημα αποτελεί η εναπομένουσα διάρκεια ζωής. Ο ισχυρισμός τους βασίζεται στο ότι ενώ τα τελικά προϊόντα έχουν διάρκεια ζωής από μερικούς μήνες έως και χρόνια, τα ενδιάμεσα προϊόντα έχουν διάρκεια ζωής μερικές μόλις ώρες. Τα προϊόντα που βρίσκονται σε ημιτελικό στάδιο υπόκεινται σε ποιοτικές αλλοιώσεις που οφείλονται σε έμφυτες ζυμώσεις που λαμβάνουν χώρα όσο παραμένουν σε αναμονή και δεν επεξεργάζονται. Η ποιοτική αλλοίωση σε συνάρτηση με τον χρόνο εισάγεται στο μαθηματικό μοντέλο ως Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας και εξαρτάται από εν μέρει ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης. Καθώς η διάρκεια ζωής των ενδιάμεσων προϊόντων δεν είναι σταθερή, η ποιοτική αλλοίωση είναι συνάρτηση του χρόνου και περιγράφεται από μία μη-γραμμική συνεχή κατανομή.

Οι Doganis et al. (2008) [3] επεκτείνουν το αρχικό τους μοντέλο της μίας γραμμής παραγωγής μελετώντας περεταίρω την ίδια γαλακτοβιομηχανία της πρώτης τους έρευνας [3] και προτείνουν ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο λαμβάνουν χώρα διεργασίες συσκευασίας σε περισσότερες από μία μηχανές παράλληλα. Η αντικειμενική συνάρτηση του νέου μοντέλου στοχεύει στον προσδιορισμό των βέλτιστων αλληλουχιών μεταξύ 25 διαφορετικών προϊόντων τα οποία κατανέμονται σε δύο (ή τρεις) συνδεδεμένες γραμμές συσκευασίας για την καθολική κάλυψη της εβδομαδιαίας ζήτησης κατά μήκος του χρονικού ορίζοντα των 5 ημερών. Στο μαθηματικό τους μοντέλο λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι κόστους που προκύπτουν από τις εναλλαγές μεταξύ των προϊόντων και νεκρού χρόνου παραγωγής κατά τη διάρκεια των εναλλαγών. Ταυτόχρονη συσκευασία πολλαπλών προϊόντων δεν επιτρέπεται από τη στιγμή που οι αντίστοιχες μηχανές μοιράζονται κοινούς πόρους. Ο παραπάνω περιορισμός σε συνδυασμό με τον περιορισμένο αριθμό των παραγόμενων προϊόντων απλοποιούν το πρόβλημα και μειώνουν τον απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο. Η φαινομενική μείωση των χρόνων εναλλαγής μεταφράζεται σε χρόνο αδράνειας (idle time) των μηχανών συσκευασίας, ενώ στο παρόν ερευνητικό έργο αγνοούνται οι περιορισμοί που εισάγονται στην πραγματική ροή της παραγωγής από το στάδιο της ζύμωσης των πρώτων υλών.

Οι Liberopoulos et al. [11], αναλύοντας την γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου ρητίνης PET, χρησιμοποιούν μία προσέγγιση που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους που προκύπτει από τις εναλλαγές ανάμεσα στην παραγωγή προϊόντων διαφορετικής απόχρωσης, όπως για παράδειγμα για την εναλλαγή από το καθαρό πλαστικό μπουκάλι νερού στο ελαφρώς χρωματισμένο και μεγαλύτερης σκληρότητας πλαστικό

μπουκάλι ανθρακούχου ροφήματος. Οι εναλλαγές αυτές παρόλο που θεωρούνται ανεπιθύμητες, καθώς επηρεάζουν και καθυστερούν τη συνεχή ροή της παραγωγής, είναι απαραίτητες προκειμένου να αποφευχθεί η μετανάστευση χρώματος και υλικών από έναν τύπο προϊόντος σε έναν άλλο και να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ποιότητα των τελικών προϊόντων. Οι συγγραφείς μέσα από το μοντέλο τους απλοποιούν το πρακτικά περίπλοκο πρόβλημα του χημικού εργοστασίου, εξασφαλίζοντας πως η ζήτηση θα καλυφθεί εντός του ορίζοντα προγραμματισμού με το ελάχιστο κόστος εναλλαγών, χωρίς να παραβιάζεται κανένας περιορισμός δυναμικότητας, προσδίδοντας στο μοντέλο τους τη δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής και ευελιξίας.

	Βιβλιογραφική αναφορά	Χαρακτηριστικά προβλήματος				Προσέγγιση μοντέλου				
		Make	Pack	Shelf-life	Int. lifetime	MILP	MINP	SM	SP	CP
Yoghurt and/or dairy production	[4]	•	•			•				
	[3]		•			•				
	[10]		•			•				
	[5]		•	•		•				
	[6]	•	•			•				
	[9]	•	•		U	•		•	•	
Non-dairy two-stage production	[11]	•				•				

Πίνακας 5: Συνοπτική περιγραφή των χαρακτηριστικών των μαθηματικών μοντέλων της βιβλιογραφίας

( v ) Defined otherwise undefined, (F) Fixed or (U) Uncertain lifetime of intermediate mixture, (MILP) Mixed-Integer Linear Programming, (MINP) Mixed- Integer Non-linear Programming, (SM) Simulation, (SP) Stochastic Programming, (CP) Constraint

## Συμπεράσματα

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε μία πολύπλευρη βιβλιογραφική επισκόπηση της παραγωγικής διαδικασίας των γαλακτοκομικών προϊόντων και πιο συγκεκριμένα των προϊόντων γιαούρτης. Η επιλογή αυτών ως αντικείμενο μελέτης στηρίζεται στην αυξανόμενη δημοτικότητα του γιαουρτιού και στη δυναμικότητα του ως εξαγωγικό προϊόν. Η βιομηχανική παραγωγή γιαουρτιού ωστόσο συνεπάγεται μία ευρεία γκάμα προϊόντων, η οργάνωση των οποίων αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τον τομέα της Οργάνωσης Παραγωγής, ειδικότερα κατά το στάδιο της συσκευασίας, στο οποίο λαμβάνουν χώρα πολυάριθμες εναλλαγές μεταξύ παρόμοιων προϊόντων που όμως δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις διαρκώς μεταβαλλόμενες ποσότητες παραγωγής, την περιορισμένη διάρκεια ζωής και τον κίνδυνο σημαντικής αύξησης του παραγωγικού κόστους καθιστούν το γιαούρτι ως ένα από τα πιο ιδανικά αντικείμενα μελέτης για την εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων χρονικού προγραμματισμού.

Είναι σημάδι των καιρών πως το πιο σημαντικό ίσως χαρακτηριστικό που καθορίζει την επιτυχία των γαλακτοβιομηχανιών είναι η προσαρμοστικότητα. Για τον λόγο αυτό απώτερος στόχος της εργασίας είναι η κατηγοριοποίηση της εκτενέστατης διαθέσιμης βιβλιογραφίας γύρω από τον Προγραμματισμό της Παραγωγής προκειμένου να αξιοποιηθεί στον μέγιστο βαθμό η παραγωγική δυναμικότητα της κάθε επιχείρησης μέσω της μαθηματικής μοντελοποίησης. Μέσω του χρονικού προγραμματισμού καθίσταται δυνατή η διαχείριση έκτακτων καταστάσεων όπως κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης, έλλειψη πρώτων υλών και συμπληρωματικές παραγγελίες με μικρό περιθώριο διαχείρισης.

Μερικά από τα ερωτήματα που έχουν μείνει αναπάντητα και θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο για περαιτέρω εργασίες είναι το πώς θα μπορούσαν τα μοντέλα χρονικού προγραμματισμού να διευρυνθούν προκειμένου να παρέχουν ακόμα μεγαλύτερη ευελιξία στους χρήστες τους.

## Βιβλιογραφία

- [1] Διπλωματική εργασία «Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΜΑΡΚΕΤΙΝΓΚ ΚΑΙ ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΕΙΘΟΥΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΛΙΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠΟΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΜΜΕ, ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ», ΡΑΛΛΟΥ ΚΟΥΛΟΥΔΗ, ΠΥΡΓΟΣ 2016.
- [2] Liberopoulos, G. and Tsarouhas, P., 2005. Reliability analysis of an automated pizza production line. *Journal of Food Engineering*, 69(1), pp.79-96.
- [3] Doganis, P.; Sarimveis, H.s;. (2008). Optimal production scheduling for the dairy industry. (159), pp. 315-331.
- [4] Kopanos, G., Puigjaner, L., & Georgiadis, M. (2010). Optimal Production Scheduling and Lot sizing in Dairy Plants: The yogurt production line. *Ind.Eng.Chem.* (49), pp. 701-718.
- [5] Entrup, M; Gunther, H.O.; Van Beek, P.; Seiler, T. (2005). Mixed integer linear programming approaches to shelf life integrated planning and scheduling in yogurt production. (43), pp. 5071-5100.
- [6] Marinelli, F; Nenni, M.; Sforza, A. (2007). Capacitated lot sizing and scheduling with parallel machines and shared buffers. A case study in a packaging company. (150), pp. 177-192.
- [7] Seuring, S. and Müller, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of cleaner production*, 16(15), pp.1699-1710.
- [8] Seuring, S. and Gold, S., 2012. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- [9] Sel, Ç., Bilgen, B. and Bloemhof-Ruwaard, J., 2017. Planning and scheduling of the make-and-pack dairy production under lifetime uncertainty. *Applied mathematical modelling*, 51, pp.129-144.
- [10] Doganis, P. and Sarimveis, H., 2007. Optimal scheduling in a yogurt production line based on mixed integer linear programming. *Journal of Food Engineering*, 80(2), pp.445-453.
- [11] Liberopoulos, G., Pandelis, D.G. and Hatzikonstantinou, O., 2013. The stochastic economic lot sizing problem for non-stop multi-grade production with sequence-restricted setup changeovers. *Annals of Operations Research*, 209(1), pp.179-205.
- [12] Τσιούτρα Σ. (2013). Βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής σε γαλακτοβιομηχανία για την περίπτωση του γιαουρτιού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
- [13] Rodoplu, M., Arbaoui, T. and Yalaoui, A., 2020. A fix-and-relax heuristic for the single-item lot-sizing problem with a flow-shop system and energy constraints. *International Journal of Production Research*, 58(21), pp.6532-6552.
- [14] Sillegens, T., Koberstein, A. and Suhl, L., 2011. Aggregate production planning in the automotive industry with special consideration of workforce flexibility. *International Journal of Production Research*, 49(17), pp.5055-5078.
- [15] Mattik, I., Amorim, P. and Günther, H.O., 2014. Hierarchical scheduling of continuous casters and hot strip mills in the steel industry: a block planning application. *International Journal of Production Research*, 52(9), pp.2576-2591.

- [16] Cardoen, B., Demeulemeester, E. and Beliën, J., 2010. Operating room planning and scheduling: A literature review. *European journal of operational research*, 201(3), pp.921-932.
- [17] Guzman, E., Andres, B. and Poler, R., 2022. Models and algorithms for production planning, scheduling and sequencing problems: A holistic framework and a systematic review. *Journal of Industrial Information Integration*, 27, p.100287.
- [18] Ιστοσελίδα της γαλακτοβιομηχανίας Νεογάλ Α.Ε. <https://neogal.gr//>
- [19] Ιστοσελίδα <https://www.naftemporiki.gr/business/960539/elliniko-giaourti-me-diethni-kariera/>
- [20] Graves, S.C., Kletter, D.B. and Hetzel, W.B., 1998. A dynamic model for requirements planning with application to supply chain optimization. *Operations Research*, 46(3-supplement-3), pp.S35-S49.
- [21] «Γενικός Οδηγός για την Εφαρμογή Συστήματος Βάσει των Αρχών του HACCP σε Μικρές Γαλακτοκομικές Επιχειρήσεις», Ενιαίος Φορέας Ελέγχου Τροφίμων – ΕΦΕΤ, Αθήνα 2012.
- [22] Ιστοσελίδα <https://www.insider.gr/epiheiriseis/86956/pos-diamorfonetai-o-hartis-stin-agera-galaktos>
- [23] Κολέτσος Ι., Στογιάννης Δ. (2017). Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα, εκδόσεις Καλαμάρα Έλλη
- [24] Mula, J., Poler, R., García-Sabater, J.P. and Lario, F.C., 2006. Models for production planning under uncertainty: A review. *International journal of production economics*, 103(1), pp.271-285.
- [25] Mundi, I., Alemany, M.M.E., Poler, R. and Fuertes-Miquel, V.S., 2019. Review of mathematical models for production planning under uncertainty due to lack of homogeneity: proposal of a conceptual model. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), pp.5239-5283.
- [26] Peidro, D., Mula, J., Poler, R. and Lario, F.C., 2009. Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3), pp.400-420.