



**ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΔΑ ΥΗΤ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΥΜΩΝ»**

Εισηγητής

Κουλούρης Αλέξανδρος

Φοιτήτρια

Γιαννούλη Ελένη

**ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων &  
Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 54101  
Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 14561**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	8
<b>2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ</b> .....	9
2.1. ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ .....	9
2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	9
2.1.2. ΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ .....	12
2.1.3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ .....	13
2.1.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ Johnson .....	19
2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	20
2.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	20
2.2.2. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	21
2.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	24
2.3.1. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	24
2.3.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	27
2.3.3. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ .....	28
2.3.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ .....	28
2.4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	29
2.4.1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ (JOB SHOP SCHEDULING) .....	29
2.4.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΦΙΕΞΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	30
2.4.3. ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ .....	30
2.4.4. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΕΡΓΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΩΝ .....	30
2.4.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗ ΣΕ ΜΗΧΑΝΗ .....	30
2.4.6. ΚΑΝΟΝΕΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ .....	31
2.5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ (ERP) .....	31
2.5.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ERP .....	31
2.5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ERP .....	32
2.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ .....	35
2.6.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΧΥΜΩΝ .....	35
2.6.2. ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗΣ ΧΥΜΩΝ .....	36
2.6.3. ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΜΦΙΑΛΩΣΗΣ ΧΥΜΩΝ .....	38

2.7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ .....	39
<b>3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ Schedule Pro®</b> .....	41
3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ .....	42
3.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ .....	50
<b>4. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b> .....	54
<b>5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	55
5.1. ΥΛΙΚΑ/ΣΥΣΚΕΥΕΣ .....	55
5.2. ΤΡΟΠΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	55
5.3. ΠΡΟΪΟΝΤΑ .....	57
5.4. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (Equipment/Storage/Staff) .....	57
5.5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΑΓΩΝ (RECIPES) .....	58
<b>6. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ</b> .....	75
6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ .....	75
6.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ .....	81
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	87
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	90

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b> Μονάδες μέτρησης δυναμικότητας.....	21
<b>Πίνακας 2.</b> Ενδεικτική ελάχιστη απαιτούμενη δυναμικότητα.....	22
<b>Πίνακας 3.</b> Μέθοδοι προβλέψεων.....	25
<b>Πίνακας 4.</b> Απαιτήσεις μιας τυχαίας ημερήσιας παραγωγής χυμών.....	75
<b>Πίνακας 5.</b> Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή 18tn φρουτοποτού ροδάκινου.....	76
<b>Πίνακας 6.</b> Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή 5tn φυσικού χυμού ανανά.....	77
<b>Πίνακας 7.</b> Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή των 20tn φρουτοποτού βύσσινου.....	78
<b>Πίνακας 8.</b> Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή των 3tn φυσικού χυμού λεμονιού.....	79

**Πίνακας 9.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την Παρασκευή των 16tn χυμού νέκταρ πορτοκάλι.....80

**Πίνακας 10.** Οι χρόνοι εκτέλεσης των περιοριστικών σταδίων για τις 3 παρτίδες ημερήσιας παραγωγής.....87

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.</b> Δεξαμενή παρασκευής και ανάδευσης χυμών.....	36
<b>Σχήμα 2.</b> Μηχανή παστερίωσης.....	37
<b>Σχήμα 3.</b> Μηχανή εμφιάλωσης.....	39
<b>Σχήμα 4.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> από το λογισμικό πρόγραμμα <i>SchedulePro</i> ® .....	51
<b>Σχήμα 5.</b> Γράφημα Equipment/Staff Occurancy Profile.....	52
<b>Σχήμα 6.</b> Γράφημα Resourceprofile/Labor χρησιμοποιημένοι πόροι εργατών.....	53
<b>Σχήμα 7.</b> Γράφημα Inventory για τελικό προϊόν.....	53
<b>Σχήμα 8.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού βύσσινου.....	59
<b>Σχήμα 9.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φρουτοποτού βύσσινου.....	60
<b>Σχήμα 10.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού λεμονιού.....	61
<b>Σχήμα 11.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φρουτοποτού λεμονιού.....	62
<b>Σχήμα 12.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού ροδάκινου.....	63
<b>Σχήμα 13.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φρουτοποτού ροδάκινου.....	64
<b>Σχήμα 14.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής χυμού νέκταρ πορτοκάλι.....	65
<b>Σχήμα 15.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> χυμού νέκταρ πορτοκάλι.....	66
<b>Σχήμα 16.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής χυμού νέκταρ 3 φρούτων.....	67
<b>Σχήμα 17.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> χυμού νέκταρ 3 φρούτων.....	68
<b>Σχήμα 18.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού ανανά.....	69
<b>Σχήμα 19.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φυσικού χυμού ανανά.....	70
<b>Σχήμα 20.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού μήλου.....	71
<b>Σχήμα 21.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φυσικού χυμού μήλου.....	72
<b>Σχήμα 22.</b> Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού πορτοκαλιού.....	73
<b>Σχήμα 23.</b> Γράφημα <i>Gantt</i> φυσικού χυμού πορτοκαλιού.....	74
<b>Σχήμα 24.</b> Διάγραμμα <i>Gantt</i> για την ημερήσια πραγματική παραγωγή χυμών.....	81

<b>Σχήμα 25.</b> Διάγραμμα Gantt για την βελτιωμένη ημερήσια παραγωγή.....	82
<b>Σχήμα 26.</b> Διάγραμμα Gantt για τις περιοριστικές παρτίδες (ροδάκινο, βύσσινο και νέκταρ πορτοκάλι).....	84
<b>Σχήμα 27.</b> Διάγραμμα Gantt για τις περιοριστικές παρτίδες και με παστερίωση της παρτίδας βύσσινου από τον παστεριωτή $\Pi_1$ αντί του $\Pi_2$ .....	85
<b>Σχήμα 28.</b> Διάγραμμα Gantt με βάση τον αλγόριθμο Johnson.....	87

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγικής διαδικασίας μονάδας υψηλής παστερίωσης (UHT) χυμών φρούτων γίνεται με βάση την ανάλυση πραγματικών συνθηκών λειτουργίας και προσομοιάζεται με το πρόγραμμα SchedulePro®. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι κατά το δυνατόν μείωση του συνολικού χρόνου ημερήσιας παραγωγής με την χρήση του μοντέλου που αναπτύχθηκε.

Έγινε καταγραφή της λειτουργίας της μονάδας, των προϊόντων που παράγει και των διεργασιών που εμπλέκονται στην παραγωγή τους. Η ανάπτυξη του μοντέλου παραγωγής έγινε με την βοήθεια δεδομένων που συλλέχθηκαν από την μονάδα και τα οποία αφορούσαν τους παραγωγικούς πόρους (διαθέσιμες συσκευές) της μονάδας, τις διαδικασίες παραγωγής των προϊόντων της μονάδας (συνταγές) και τις επιθυμητές ποσότητες παραγωγής ανά προϊόν. Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό SchedulePro® το οποίο επιτρέπει την ανάλυση του χρονικού προγραμματισμού της λειτουργίας της μονάδας. Με την ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται πιο εύκολα η αποτελεσματική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων παραγωγής.

Η μονάδα παράγει 8 διαφορετικά είδη χυμών με συνταγές οι οποίες είναι παρόμοιες. Η εκτέλεση όμως των συνταγών αυτών για την ικανοποίηση των παραγγελιών δεν αντανακλά την συμμετρία των συνταγών γιατί υπάρχουν αρκετές ιδιομορφίες στον εξοπλισμό (πχ. δεξαμενές με διαφορετική χωρητικότητα, εμφιαλωτικές με διαφορετική δυναμικότητα, παστεριωτήρες με διαφορετικό τρόπο λειτουργίας). Το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής δεν είναι επομένως εύκολο. Ως συνέπεια, η μονάδα υποχρεούται να λειτουργήσει πολλές φορές με υπερωρίες υπερβαίνοντας κατά πολύ το προγραμματισμένο ωράριο λειτουργίας.

Με την βοήθεια του μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας έγινε δυνατόν να εντοπιστούν οι παραγγελίες, τα στάδια και οι συσκευές που καθορίζουν τον συνολικό χρόνο ημερήσιας παραγωγής. Γύρω από τις περιοριστικές διεργασίες

αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία που αξιοποιεί τον αλγόριθμο Johnson για την εύρεση του βέλτιστου προγράμματος που ελαχιστοποιεί τον συνολικό χρόνο παραγωγής.

### **ABSTRACT**

Real-time operation data are used to model and schedule with the help of the software SchedulerPro® the operation of a Ultra-High-Temperature (UHT) processing unit producing fruit juices. The objective of the study is to reduce, to the extent possible, the makespan of the orders executed daily.

The operation recipes, the products and processes involved in their production are identified and represented in the software. The development of a realistic model was possible with the use of data collected from the plant and which related to the use of resources (equipment), the production processes (recipes) and the daily orders per product. These data were entered in the model developed in SchedulePro which is a scheduling software tailored for batch processes. The development of a realistic and detailed production model allows the fast and effective evaluation of different daily production scenarios.

The plant produces 8 different types of juice through recipes which are pretty similar. The execution of these recipes in the plant, however, does not reflect the symmetry of the recipes because there are many irregularities in the available equipment (tanks of variable size, fillers of different throughput, pasteurizers with different downstream connectivity). Scheduling the operation of such a plant is, therefore, not trivial. As a consequence, the plant, in many instances, has to operate overtime exceeding by many hours the projected shift time.

With the help of the production model, it was possible to pinpoint the orders, production stages and equipment which determine the total makespan for a daily production. A scheduling methodology based on the Johnson algorithm was developed around those bottleneck processes so that the daily makespan is minimized by optimally ordering the processes to be executed.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανία τροφίμων είναι μια παραδοσιακή βιομηχανία η οποία όμως δεν μένει ανεπηρέαστη από τις σύγχρονες τάσεις της αγοράς για καινοτομία στην ανάπτυξη και προώθηση νέων προϊόντων. Η ανάγκη για καινοτομία με την σειρά της επιτάσσει ευέλικτες παραγωγικές διαδικασίες που να μπορούν να ενσωματώνουν και να εξυπηρετούν τα νέα προϊόντα. Η τάση για μεγαλύτερη ποικιλομορφία στα προϊόντα, η ανάγκη για ανάπτυξη συσκευασιών για συγκεκριμένους πελάτες, οι ειδικές προσφορές, οι ειδικές παραγγελίες για εξαγωγές κλπ. είναι κάποιοι άλλοι παράγοντες που συνηγορούν στην ανάγκη για παραγωγική ευελιξία.

Η γρήγορη ανταπόκριση της βιομηχανίας στις διαμορφούμενες συνθήκες της αγοράς απαιτεί τον αποτελεσματικό και γρήγορο χρονικό προγραμματισμό των παραγωγικών δραστηριοτήτων των μονάδων. Σήμερα, παρά την ύπαρξη αυτοματοποιημένων λύσεων προγραμματισμού, το ημερήσιο ή εβδομαδιαίο πλάνο παραγωγής διαμορφώνεται με βάση τις γνώσεις και την εμπειρία του υπεύθυνου παραγωγής. Χωρίς να υποκαθιστά τον ανθρώπινο παράγοντα, ένα σχεδιαστικό μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στην ανάλυση εναλλακτικών σεναρίων βραχυπρόθεσμου ή μακροπρόθεσμου προγραμματισμού και την επιλογή του καταλληλότερου. Θα μπορούσε επίσης να υποβοηθήσει στην αντιμετώπιση σε πραγματικό χρόνο προβλημάτων της παραγωγής που προέρχονται από έκτακτα περιστατικά (π.χ. βλάβες εξοπλισμού) ή αλλαγή στις προτεραιότητες παραγωγής (π.χ. εισαγωγή μιας επείγουσας παραγγελίας).

Ως «μοντέλο» νοείται η αναπαράσταση ενός παραγωγικού συστήματος με σκοπό την περιγραφή του, την κατανόηση της δομής και λειτουργίας του, την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του στις επιδράσεις του με το περιβάλλον ή την δοκιμή εναλλακτικών σχεδίων δράσης πριν από την τελική επιλογή και την εφαρμογή τους στο σύστημα. Οι πτυχές του συστήματος που αναπαριστώνται στο μοντέλο εξαρτώνται από τον σκοπό που καλείται να επιτελέσει το μοντέλο. Έτσι, ένα μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας με σκοπό τον χρονικό προγραμματισμό



θα πρέπει να εμπεριέχει όλα τα στοιχεία που αφορούν τις χρονικές παραμέτρους των διαδικασιών που εκτελούνται στην μονάδα (διάρκεια, αλληλουχία) και τους πόρους (συσκευές) που πρέπει να είναι διαθέσιμοι για την εκτέλεσή τους.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής χυμών φρούτων σε βιομηχανική μονάδα υψηλής παστερίωσης (UHT). Το μοντέλο θα αναπτυχθεί με την βοήθεια του λογισμικού SchedulePro της εταιρίας Intelligen, Inc.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού με έμφαση στη βιομηχανία τροφίμων. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται ο εξοπλισμός της βιομηχανικής μονάδας παραγωγής χυμών φρούτων. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται περιγραφή του λογισμικού SchedulePro. Ο σκοπός της εργασίας αυτής παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4, ενώ ο τρόπος μοντελοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας για τη μονάδα παραγωγής χυμών παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο 6 περιγράφεται μία ημερήσια παραγωγή χυμών και η ανάλυση για βελτιστοποίηση του χρόνου ημερήσιας παραγωγής. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα του κεφαλαίου 7.

## **2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1. ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ**

#### **2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ**

Προγραμματισμός είναι το σχέδιο εκτέλεσης ενός πλήθους δραστηριοτήτων οι οποίες δεσμεύουν πόρους (χρήμα, χρόνο, μηχανές, συστήματα μεταφοράς, ανθρώπινο δυναμικό κλπ.). Στα συστήματα παραγωγής οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν μεταφορά προϊόντων σε διάφορα στάδια παραγωγής, κατεργασίες που εκτελούνται από μηχανές, συσκευές και εργαζόμενους, προετοιμασία μηχανών (αλλαγές εργαλείων κοπής, φόρτωση/εκφόρτωση κομματιών, πλύση και καθαρισμός συσκευών κλπ.). Στόχος του προγράμματος παραγωγής είναι ο συνδυασμός των ακόλουθων:

- αύξηση παραγωγικότητας
- ικανοποίηση πελατών - έγκαιρη παράδοση προϊόντων - ποιότητα

- ελαχιστοποίηση κόστους παραγωγής.

Το πρόβλημα του προγραμματισμού περιπλέκεται λόγω του πλήθους περιορισμών οι οποίοι συνδέουν πόρους και δραστηριότητες. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν τον κανόνα σε πραγματικά συστήματα και η επίλυση του προβλήματος παρουσιάζει αξεπέραστες μαθηματικές δυσκολίες.

Ο χρονικός προγραμματισμός είναι ένα πρόβλημα όπου ο λύτης προσπαθεί να βρει τη βέλτιστη ανάθεση εντολών παραγωγής σε μηχανές στο χρόνο, με απώτερο σκοπό να βελτιστοποιήσει ως προς κάποιο συνδυασμό των ακόλουθων στόχων – οι οποίοι πολλές φορές μπορεί να είναι αντικρουόμενοι:

- Ικανοποίηση χρόνων παράδοσης
- Ομαδοποίηση Παραγγελιών
- Αξιοποίηση Μηχανών
- Ελαχιστοποίηση αποθεμάτων (Work in Progress, WIP)
- Ελαχιστοποίηση των χρόνων εξάρμωσης

Για την επίλυση ενός προβλήματος χρονικού προγραμματισμού, απαιτούνται κατ' αρχήν πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων, όπως προκύπτουν από τις προβλέψεις ή/και τις παραγγελίες των πελατών.

Το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής πρέπει να λυθεί χωρίς να αγνοηθούν οι περιορισμοί του συστήματος, που αφορούν τη δυναμικότητα (διαθέσιμος παραγωγικός εξοπλισμός), την ακολουθία των δραστηριοτήτων που ορίζει η υπάρχουσα τεχνολογία, τις απαιτήσεις για συντήρηση των μηχανών, και τα δεδομένα του συγκεντρωτικού προγράμματος παραγωγής για το συνολικό επίπεδο της παραγωγής, του ανθρώπινου δυναμικού και των αποθεμάτων. (Πάππης, 2008a)

Η διαδικασία αυτή είναι φανερό ότι διευκολύνεται με τη χρήση ενός κατάλληλου μοντέλου. Η διαμόρφωση ενός τέτοιου μοντέλου περιλαμβάνει:

1. Το συγκεκριμένο πρόβλημα, για το οποίο απαιτείται λήψη απόφασης (π.χ. ζήτηση προϊόντων).
2. Τον προσδιορισμό των σταθερών χαρακτηριστικών του συστήματος (π.χ. ανάλωση πρώτων υλών, εργασίας και ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, διαθέσιμοι πόροι).

3. Τον προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ μεταβλητών και σταθερών του συστήματος, που περιγράφουν τη λειτουργία του συστήματος υπό τους περιορισμούς του περιβάλλοντος, των διαθέσιμων πόρων, της διάρθρωσης του συστήματος και της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας.

4. Τον προσδιορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function), δηλαδή μιας συνάρτησης των ελεγχόμενων μεταβλητών που περιγράφει την απόδοση του συστήματος που θέλει να βελτιστοποιήσει η διοίκηση (π.χ. κέρδος, κόστος).

Η διαμόρφωση του μοντέλου είναι δύσκολο έργο που αν αποτύχει, οδηγεί φυσικά στη λήψη λανθασμένων αποφάσεων. Ο αναλυτής ενός συστήματος διατρέχει τον κίνδυνο να βρει τη σωστή λύση σε λάθος πρόβλημα (αν το μοντέλο δεν είναι ορθή αναπαράσταση του συστήματος αλλά η μέθοδος βελτιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ορθή) ή λάθος λύση σε σωστό πρόβλημα (αν συμβαίνει το αντίθετο). (Πάππης, 2008a)

Τα συστήματα παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop), τα συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop) και τα συστήματα κατασκευής έργων (projects). Για κάθε κατηγορία συστημάτων, εκτός από το στρατηγικό πρόβλημα του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού της δυναμικότητας τους, τίθεται το πρόβλημα του προγραμματισμού σε μεσοπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη βάση των διατιθέμενων πόρων (ανθρώπινο δυναμικό, μηχανολογικός εξοπλισμός, οικονομικοί πόροι), ώστε τα συστήματα να εκπληρώσουν τους στόχους τους, ανταποκρινόμενα στη ζήτηση των προϊόντων τους.

Κάθε πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού ορίζεται από σειρά παραμέτρων. Σε κάθε τέτοιο πρόβλημα, με βάση τη διαθέσιμη δυναμικότητα, τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων, που καθορίζονται από τη ζήτηση και διάφορους τεχνολογικούς και άλλους περιορισμούς ζητείται η καλύτερη δυνατή τιμή των μεταβλητών απόφασης, δηλαδή η τιμή που αντιστοιχεί στην καλύτερη δυνατή τιμή μιας συνάρτησης κόστους (ή οφέλους). Έτσι, από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων, ζητείται το καλύτερο, αν και συχνά ο καθορισμός του είναι ανέφικτος, οπότε το ζητούμενο είναι να βρεθεί ένα «καλό» πρόγραμμα.

Ειδικότερα, για την επίλυση ενός προβλήματος χρονικού προγραμματισμού, απαιτούνται πρώτα-πρώτα πληροφορίες σχετικά με τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων, όπως προκύπτουν από τις προβλέψεις ή/και τις παραγγελίες των πελατών. Οι απαιτήσεις αυτές μεταφράζονται μέσω των φασεολογιών, των πινάκων υλικών, των προβλέψεων και των παραγγελιών των πελατών σε απαιτήσεις για παραγωγικούς πόρους, δηλαδή για τις ειδικότητες και τις μηχανές που απαιτούνται, για τις επεξεργασίες και τη σειρά που θα γίνουν, για τις προθεσμίες και, γενικά, τους χρόνους παραγωγής κ.λπ.



Το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής πρέπει να λυθεί χωρίς να αγνοηθούν οι περιορισμοί του συστήματος, που αφορούν τη δυναμικότητα (διαθέσιμος παραγωγικός εξοπλισμός), την ακολουθία των δραστηριοτήτων που ορίζει η υπάρχουσα τεχνολογία, τις απαιτήσεις για συντήρηση των μηχανών, και τα δεδομένα του συγκεντρωτικού προγράμματος παραγωγής για το συνολικό επίπεδο της παραγωγής, του ανθρώπινου δυναμικού και των αποθεμάτων.

Οι μεταβλητές απόφασης μπορεί να αφορούν το μέγεθος μιας παρτίδας παραγωγής (πόσα κομμάτια ανά παρτίδα), τη φόρτωση των μηχανών (ποια παραγγελία εκτελείται σε ποια μηχανή), τη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών κ.λπ.

Τέλος, η συνάρτηση κόστους/οφέλους αφορά την πλήρωση κάποιων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στην εξυπηρέτηση των πελατών, στο συνολικό κόστος λειτουργίας, στην αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας κ.λπ. Έτσι, ένα πρόγραμμα παραγωγής είναι καλύτερο από ένα άλλο αν το πρώτο ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια που έχουν τεθεί (π.χ. ικανοποιούνται ταχύτερα οι παραγγελίες), πράγμα που εκφράζεται με την τιμή που παίρνει αντίστοιχα η συνάρτηση κόστους/οφέλους.

### 2.1.2. ΤΟ ΓΕΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Στη γενική περίπτωση, το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής μπορεί να εκφραστεί με μια συμβολογραφία που περιλαμβάνει τέσσερεις παραμέτρους  $n/m/A/B$ , όπου:

-   $n$ : είναι ο αριθμός των εργασιών,
-   $m$ : είναι ο αριθμός των επεξεργαστών (μηχανών),

✚ A: περιγράφει τον τρόπο ή κανόνα ροής των εργασιών στο χώρο των επεξεργαστών. Αν  $m = 1$ , η θέση του A αφήνεται κενή. Διαφορετικά στη θέση του A τίθεται:

✚ F: στην περίπτωση του συστήματος συνεχούς ροής (flow-shop), όταν όλες οι εργασίες εκτελούνται στους επεξεργαστές ακολουθώντας την ίδια ακριβώς πορεία (πρώτα στον επεξεργαστή 1, μετά στον επεξεργαστή 2 κ.ο.κ.)

✚ P: όπως στην προηγούμενη περίπτωση, με το πρόσθετο περιορισμό ότι σε κάθε επεξεργαστή οι εργασίες εκτελούνται με την ίδια ακριβώς σειρά (στον επεξεργαστή  $x$  πρώτα θα εκτελεσθεί η εργασία 1, μετά η εργασία 2 κ.ο.κ.)

✚ G: στην περίπτωση του συστήματος παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop), όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί στη μορφή τεχνολογικών περιορισμών,

✚ B: αφορά τον δείκτη απόδοσης, με τον οποίο αξιολογείται ένα πρόγραμμα παραγωγής.

Έτσι,  $n/2/G/N_T$  σημαίνει  $n$  εργασίες, 2 επεξεργαστές, πρόβλημα συστήματος κατά παραγγελία, όπου δείκτης απόδοσης είναι ο αριθμός  $N_T$  των αργοπορημένων εργασιών.

Σε πιο σύνθετες περιπτώσεις προβλημάτων χρησιμοποιούνται συμβολογραφίες που περιλαμβάνουν μεγαλύτερο αριθμό παραμέτρων. (Πάππης, 2006)

Στη βιομηχανία τροφίμων τα συστήματα παραγωγής που απαντώνται σχεδόν κατά κανόνα είναι αυτά του τύπου συνεχούς ροής. (Κουλούρης, 2014)

### 2.1.3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Βασικό στοιχείο της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι η διαμόρφωση ενός μαθηματικού μοντέλου του προβλήματος του οποίου επιδιώκεται η λύση. Ανάλογα με τον τύπο των προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στην πράξη έχουν μελετηθεί διάφορα μοντέλα και έχουν αναπτυχθεί αντίστοιχες τεχνικές για την βελτιστοποίησή τους. Μερικές τεχνικές αναφέρονται στην συνέχεια:

#### α) Μαθηματικός Προγραμματισμός (Mathematical Programming).

Αφορά το σύνολο των μαθηματικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων κατανομής πόρων σε διάφορες δραστηριότητες. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν όταν οι διαθέσιμοι πόροι (κεφάλαια, πρώτες ύλες,

μηχανολογικός εξοπλισμός) είναι περιορισμένοι. Με τις τεχνικές του μαθηματικού προγραμματισμού οι διαθέσιμοι πόροι κατανέμονται σε μια σειρά από δραστηριότητες με τρόπο που να προκαλούν μέγιστη ωφέλεια. Στις τεχνικές αυτές περιλαμβάνονται ο Γραμμικός Προγραμματισμός (γραμμικές σχέσεις μεταβλητών για την επίλυση γενικών γραμμικών προβλημάτων) (Πάππης, 2008a), ο Τετραγωνικός Προγραμματισμός (οι μεταβλητές εμφανίζονται με τα τετράγωνα τους στις σχέσεις που τις συνδέουν), ο Ακέραιος Προγραμματισμός (κάποιες από τις μεταβλητές παίρνουν ακέραιες τιμές) και ο Στοχαστικός Προγραμματισμός (για προβλήματα όπου οι σχέσεις των μεταβλητών είναι πιθανολογικές).

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη (και προτιμώμενη) μέθοδος είναι αυτή του Γραμμικού Προγραμματισμού. Το γενικό πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού συνιστάται στην βελτιστοποίηση μιας γραμμικής συναρτήσεως κάτω από γραμμικές συνθήκες. Οι συνθήκες του προβλήματος ορίζουν ένα σύστημα άνισο-εξισώσεων που παριστάνουν τους φυσικούς περιορισμούς στους οποίους υπόκειται το πρόβλημα. Η προς βελτιστοποίηση γραμμική συνάρτηση είναι η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος και εκφράζει τον επιδιωκόμενο στόχο. Μια σειρά μεθόδων έχουν αναπτυχθεί για την επίλυση του γραμμικού προγραμματισμού με κύρια την μέθοδο Simplex και τα παράγωγά της. (Μπότσαρης Χ., 1998)

### β) Θεωρία Αναμονής (Queuing Theory)

Στατιστική θεωρία με τη οποία αντιμετωπίζονται προβλήματα εξυπηρέτησης σειρών αναμονής. Τέτοια προβλήματα εμφανίζονται συχνά στην παραγωγή. Σε ένα τυπικό σύστημα αναμονής δεδομένα είναι ο κανόνας άφιξης των πελατών στο σύστημα και ο χρόνος εξυπηρέτησής τους καθώς και ο κανόνας προτεραιότητας στην εξυπηρέτηση του συστήματος ώστε να βελτιστοποιείται η λειτουργία του με κριτήριο το συνολικό κόστος.

### γ) Προσομοίωση (Simulation)

Τεχνική που χρησιμοποιείται για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων αποφάσεων, ιδίως όταν δεν μπορούν να λυθούν με μαθηματική ανάλυση. Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος πραγματοποιείται με την κατασκευή ενός μοντέλου που αναπαριστάνει τη λογιστική δομή του προβλήματος. Η μελέτη του προβλήματος πραγματοποιείται συνήθως με την χρησιμοποίηση τυχαίων αριθμών

που παράγονται στον υπολογιστή με την τεχνική *MonteCarlo*. Οι τυχαίοι αυτοί αριθμοί αντιστοιχούν σε πιθανότητες εμφάνισης συγκεκριμένων τιμών των εισροών του συστήματος. (Πάππης, 2008a)

#### δ) Έλεγχος των αποθεμάτων (*Inventory Control*)

Αφορά προβλήματα διαχείρισης αποθεμάτων, π.χ. πρώτων υλών, ετοιμών προϊόντων, ανθρώπινου δυναμικού, χρηματικών πόρων κλπ. Στα προβλήματα αυτά είναι δεδομένη η συνάρτηση ζήτησης ενός αγαθού, η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας του χρόνου παράδοσης, η συνάρτηση των δαπανών του αποθέματος και η μέθοδος διαχείρισής του και ζητούνται οι οδηγίες διαχείρισης του αποθέματος, δηλαδή κάθε πότε και πόσο πρέπει να παραγγελθεί.

#### ε) Θεωρία Παιγνίων (*Game Theory*)

Εξετάζει τα προβλήματα ανταγωνισμού, δηλαδή ύπαρξης δύο ή περισσότερων μερών με συγκρουόμενα συμφέροντα. Στα προβλήματα αυτά οι μεταβλητές σε ένα πρόβλημα αποφάσεων για κάθε μέρος παρακολουθούνται και ελέγχονται από τα υπόλοιπα μέρη, που αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα απόφασης και επιδιώκουν να το λύσουν προς το δικό τους συμφέρον. Έτσι ο όρος «παίγνιο» αντιστοιχεί σε μια ανταγωνιστική κατάσταση, ενώ «παίκτες» είναι οι ανταγωνιστές, καθένας από τους οποίους έχει να επιλέξει από έναν αριθμό εναλλακτικών τρόπων δράσης. Λύση του προβλήματος είναι η εύρεση της καλύτερης στρατηγικής για κάθε παίκτη και της αξίας του παιγνίου, δηλαδή των κερδών και των ζημιών που προκύπτουν για καθένα.

#### στ) Θεωρία Αντικατάστασης (*Replacement Theory*)

Αφορά προβλήματα αντικατάστασης και συντήρησης μηχανικού εξοπλισμού. Τέτοια προβλήματα εμφανίζονται στη βιομηχανία, όπου η απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού μειώνεται με τη χρήση είτε απόλυτα είτε σχετικά, σε σύγκριση με πιο σύγχρονο εξοπλισμό, δηλαδή βλάβης που συμβαίνει σε χρόνους όχι γνωστούς από πριν εξαιτίας της περιορισμένης διάρκειας ζωής ενός συστήματος ή μερών του. Το ζητούμενο πρόβλημα είναι να βρεθεί ο χρόνος αντικατάστασης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού με καινούργιο.

#### ζ) Θεωρία Δικτύων (*Network Theory*)

Αφορά προβλήματα που μπορούν να εξομοιωθούν με δίκτυο, δηλαδή σύνολα κόμβων που διασυνδέονται με προσανατολισμένα τόξα. Με τα δίκτυα

παριστάνονται δραστηριότητες που συσχετίζονται λογικά μεταξύ τους και έχουν κάποια διάρκεια. Με την «Μέθοδο του κρίσιμου δρόμου» (*Critical Path Method*), που χρησιμοποιεί στοιχεία της θεωρίας, λύνονται προβλήματα χρονικού προγραμματισμού σύνθετων έργων που εμφανίζονται στις κατασκευές, στην έρευνα και ανάπτυξη (*R&D*), στην προπαρασκευή προσφορών σε διαγωνισμούς, στην προώθηση νέων προϊόντων, στην κατανομή του χρόνου ηλεκτρονικών υπολογιστών κλπ. Βασική προϋπόθεση είναι ότι οι χρόνοι εκτέλεσης των επιμέρους δραστηριοτήτων του έργου μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια. Αν δεν συμβαίνει αυτό, χρησιμοποιείται η μέθοδος PERT (*Project Evaluation and Review Technique*), όπου χρησιμοποιούνται πιθανολογικές εκτιμήσεις για την διάρκεια εκτέλεσης των δραστηριοτήτων. Με τις μεθόδους αυτές προσδιορίζεται ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου σε κρίσιμες δραστηριότητες, δηλαδή εκείνες από την έγκαιρη εκτέλεση των οποίων εξαρτάται η τήρηση του ελάχιστου χρόνου. Γενικότερα, με τις μεθόδους αυτές είναι δυνατή η παρακολούθηση και ο έλεγχος της προόδου ενός έργου με τρόπο που να ελαχιστοποιείται το κόστος του.

#### η) Πολυκριτηριακή Λήψη Αποφάσεων (*Multicriteria Decision Making*)

Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται σε προβλήματα όπου η λύση πρέπει να βασιστεί σε ένα σύνολο κριτηρίων (*multicriteriad.m.*) ή να εξασφαλίζει την κάλυψη ενός συνόλου στόχων (*multiobjectived.m.*) που εκφράζονται ποσοτικά ή/και ποιοτικά. Κάθε εναλλακτική λύση ικανοποιεί σε διαφορετικό βαθμό τους στόχους. Η αξιολόγηση των λύσεων γίνεται με τη βοήθεια μιας συνάρτησης με την οποία σε κάθε κριτήριο αποδίδεται ένας αντίστοιχος συντελεστής βαρύτητας και γίνεται η σύνθεση ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση.

#### θ) Ευρετικές Μέθοδοι (*Heuristics*)

Πρόκειται για μεθόδους που εφαρμόζονται ειδικά για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων που η αντιμετώπιση τους είναι είτε αδύνατη είτε ασύμφορη με άλλες μεθόδους. Αντικειμενικός σκοπός των ευρετικών μεθόδων είναι η εύρεση ικανοποιητικών (αν και όχι απαραίτητα βέλτιστων) λύσεων. Η εύρεση μιας τέτοιας μεθόδου εξαρτάται από την εμπειρία και την ικανότητα του αναλυτή, ο οποίος αξιοποιεί τα ειδικά χαρακτηριστικά του προβλήματος ώστε η λύση να προκύπτει



σύντομα και να αποτελεί βελτίωση σε σχέση με τυχόν αποτελέσματα που ήδη υπάρχουν από προηγούμενες προσεγγίσεις. (Πάππης, 2008a)

#### ι) Η Αλγοριθμική Προσέγγιση

Η μέθοδος αυτή απαιτεί μια μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος που θα περιέχει στόχους και περιορισμούς. Η όλη διαδικασία χωρίζεται σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι αυτό της προεπεξεργασίας (*preprocessing*): το πρόβλημα αναλύεται και υπολογίζονται διάφορα στατιστικά όπως ο μέσος χρόνος επεξεργασίας (*Average Processing Time, APT*), ο μέγιστος χρόνος επεξεργασίας, η στενότητα των χρόνων παράδοσης (*due date tightness*) κλπ. Το δεύτερο στάδιο περιέχει τους αλγόριθμους και τις ευρετικές μεθόδους οι οποίες είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιούν τα στατιστικά που υπολογίσθηκαν στο πρώτο στάδιο. Πολλές φορές υπάρχει και το τρίτο στάδιο μετεπεξεργασίας, όπου η λύση που πήραμε από το δεύτερο στάδιο τροφοδοτείται σε μια διαδικασία *simulated annealing* ή *tabu-search* για να διερευνηθεί αν είναι δυνατές οι βελτιώσεις της υπάρχουσας λύσης. Όπως είναι προφανές η όλη διαδικασία είναι καθαρά διαδικαστική και μπορεί να κωδικοποιηθεί σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού όπως *Fortran*, *Pascal* ή *C/C++*.

#### ια ) Γνωσιακή Βάση Δεδομένων (*knowledge-base*)

Διαφέρει από την αλγοριθμική στο ότι προσανατολίζεται στο να εκφράσει με μη ποσοτικό τρόπο δομές του προβλήματος που είναι δύσκολο να εκφραστούν σε αναλυτική μορφή. Έτσι, για να αποτυπωθεί η γνώση του χρήστη για το σύστημα, χρησιμοποιούνται κανόνες και αντικείμενα (*objects*). Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται κυρίως όταν θέλουμε απλά να βρούμε μια δυνατή λύση που να ικανοποιεί όλους τους κανόνες και τους περιορισμούς. Είναι φυσικό όμως κάποιες από τις λύσεις να είναι «καλύτερες» με βάση τα κριτήρια που έχουμε θέσει, οπότε χρησιμοποιούμε μια ευρετική μέθοδο που επιλέγει την καλύτερη με βάση τα κριτήρια που έχουμε θέσει. Ο τρόπος προγραμματισμού τέτοιων μοντέλων (*modules*) διαφέρει σημαντικά σε σχέση με αυτή των αλγοριθμικών. Αν η γνώση απεικονίζεται μέσα από μια σειρά κανόνων *IF-THEN*, τότε το σύστημα μπορεί να προγραμματισθεί σε ένα έμπειρο σύστημα όπως το *OPSS* το οποίο μέσα από τεχνικές *forward* και *backward chaining* βρίσκει μια εφικτή λύση. Αντίθετα αν η γνώση απεικονίζεται μέσα από κανόνες τότε η ιδανική γλώσσα προγραμματισμού είναι η *Prolog*. Αντίθετα, αν έχουμε απεικόνιση της γνώσης μέσα από *frames* (ή

*schemata* που δίνουν μια δομημένη απεικόνιση ενός αντικειμένου ή συλλογής αυτών) τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού όπως η *C++* ή η *LISP*. Κάθε μια από τις δύο προσεγγίσεις έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Γενικά, μια αλγοριθμική προσέγγιση υπερέχει όταν:

- το πρόβλημα μπορεί να μοντελοποιηθεί αναλυτικά
- ο αριθμός των εργασιών προς προγραμματισμό είναι μεγάλος
- η αβεβαιότητα στο σύστημα είναι μικρή
- πρέπει να γίνεται βελτιστοποίηση συχνά και σε πραγματικό χρόνο
- οι γενικοί κανόνες ακολουθούνται στην πλειονότητα των περιπτώσεων

Η προσέγγιση με βάση την γνωσιακή βάση δεδομένων υπερέχει όταν απαιτείται απλά μια εφικτή λύση. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι είναι ευκολότερη η αντιμετώπιση αλλαγών στο περιβάλλον προγραμματισμού (π.χ. αλλαγή στην προτίμηση μηχανής για κάποια εργασία) σε τέτοιου είδους συστήματα. Αυτή η άποψη έχει πολεμηθεί από πολλούς που ισχυρίζονται πως η προσπάθεια που απαιτείται για να μετατραπεί ένα τέτοιο σύστημα εξαρτάται περισσότερο από το πόσο καλά δομημένος είναι ο κώδικας και όχι από την προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε.

Το μεγάλο μειονέκτημα της γνωσιακής προσέγγισης είναι ότι για να πάρουμε ένα αποδοτικό πρόγραμμα, χρειάζεται σημαντικά περισσότερη υπολογιστική προσπάθεια απ' ό,τι στην αλγοριθμική προσέγγιση. Αυτό είναι μεγάλο πρόβλημα καθώς πολλά συστήματα πρέπει ουσιαστικά να λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο (π.χ. σε περιπτώσεις που η διαδικασία του προγραμματισμού είναι επαναληπτική με επεμβάσεις από το χρήστη στο ενδιάμεσο). Υπάρχουν όμως και εφαρμογές που επιτρέπουν τους ολονύκτιους υπολογισμούς (π.χ. σε αεροπορικές εταιρίες, ο προγραμματισμός των δρομολογίων είναι τόσο σημαντικός για την επιχείρηση που πολλές φορές αφιερώνεται ακόμα και μια βδομάδα υπολογισμών σε έναν υπερ-υπολογιστή).

Οι δύο προσεγγίσεις τείνουν να συγκλίνουν και η νέα τάση αφορά υβριδικά συστήματα. Σε τέτοια συστήματα προτιμάται η *C++*, καθώς είναι καλή για

κωδικοποίηση αλγορίθμων αλλά έχει και αντικειμενοστραφή χαρακτηριστικά. (Παπαντωνίου, 2000)

#### 2.1.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ Johnson

Η θεωρία του χρονικού προγραμματισμού μονάδων συνεχούς ροής έχει επηρεαστεί από την εργασία του Johnson (1954). Η εργασία του είχε σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία της έδιναν την δυνατότητα να ασκεί επιρροή σε επόμενες έρευνες. Πρώτον, έδινε έμφαση στις ιδιότητες του προγραμματισμού εργασιών κοινής διάταξης και επικέντρωνε την έρευνα του σε προβλήματα ρεαλιστικού μεγέθους. Δεύτερον, η ανάλυση για δύο μηχανές στην οποία επικετρώθηκε ο αλγόριθμος Johnson φαίνεται να έχει συλλάβει την ουσία των μεγαλύτερων προβλημάτων. Για αυτούς τους λόγους, η εφαρμογή του αλγορίθμου για την ανακάλυψη ερευνητικών τεχνικών για μεγαλύτερου μεγέθους προβλήματα είχε πάντα αξιοσημείωτη επιτυχία.

Ο κανόνας του Johnson λέει ότι η εργασία  $i$  προηγείται της εργασίας  $j$  σε μια ιδανική ακολουθία εργασιών αν:  $\min \{t_{i1}, t_{j2}\} \leq \min \{t_{i2}, t_{j1}\}$ . Εφαρμόζοντας αυτό τον κανόνα στο πρόβλημα παραγωγικών μονάδων συνεχούς ροής με δύο μηχανές και κριτήριο απόδοσης την ελαχιστοποίηση του χρόνου περάτωσης ή αλλιώς το  $N/2/F/c_{\max}$  πρόβλημα, τότε η λύση του μπορεί να προκύψει από την εφαρμογή του εξής αλγορίθμου:

Βήμα 1: εύρεση του  $\min \{t_{i1}, t_{j2}\}$

Βήμα 2α: εάν ο ελάχιστος χρόνος περάτωσης απαιτεί την μηχανή 1, τοποθετείται η εργασία στην πρώτη ελεύθερη θέση στην ακολουθία και ακολουθεί το βήμα 3

Βήμα 2β: εάν ο ελάχιστος χρόνος περάτωσης απαιτεί την μηχανή 2, τοποθετείται η εργασία στην τελευταία ελεύθερη θέση στην ακολουθία και ακολουθεί το βήμα 3

Βήμα 3: απομάκρυνση της εργασίας που έχει επιλεγεί από την λίστα εργασιών και επιστροφή στο βήμα 1. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθούν όλες οι θέσεις στην ακολουθία.

Ο παραπάνω αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση της επίλυσης του  $N/3/F/c_{\max}$  προβλήματος όταν η πρώτη ή η τρίτη μηχανή επικρατούν της δεύτερης. Δηλαδή θα ισχύει:

1. εάν  $\min_k \{t_{k1}\} \geq \max_k \{t_{k2}\}$  τότε η εργασία  $i$  προηγείται της εργασίας  $j$  σε ένα ιδανικό πρόγραμμα όταν  $\min \{t_{i1}+t_{i2}, t_{j2}+t_{j3}\} \leq \min \{t_{i2}+t_{i3}, t_{j1}+t_{j2}\}$

2. εάν  $\min_k \{t_{k3}\} \geq \max_k \{t_{k2}\}$  τότε η εργασία  $i$  προηγείται της εργασίας  $j$  σε ένα ιδανικό πρόγραμμα όταν  $\min \{t_{i1}+t_{i2}, t_{j2}+t_{j3}\} \leq \min \{t_{i2}+t_{i3}, t_{j1}+t_{j2}\}$

Για την εφαρμογή αυτών των αποτελεσμάτων σε έναν αλγόριθμο, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω αλλάζοντας το πρώτο βήμα του. Συγκεκριμένα βρίσκεται το ελάχιστο με βάση αυτή τη σχέση  $\min \{t_{i1}+t_{i2}, t_{i2}+t_{i3}\}$  και όχι σύμφωνα με τον ελάχιστο χρόνο περάτωσης. Επιπρόσθετα, αν δεν υπάρχει κυριαρχία της δεύτερης μηχανής και η εφαρμογή του αλγόριθμου του Johnson φέρει την ίδια ιδανική ακολουθία εργασιών για τα υπό-προβλήματα δύο μηχανών, που εκφράζονται από τα σεντ  $\{t_{i1}+t_{i2}\}$  και  $\{t_{i2}+t_{i3}\}$ , τότε η ακολουθία αυτή είναι η ιδανική και για το πρόβλημα των τριών μηχανών. (Ποδαρά,2005)

## 2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

### 2.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο σχεδιασμός της δυναμικότητας ενός παραγωγικού συστήματος αποτελεί ένα από τα βασικά του στρατηγικού σχεδιασμού. Η δυναμικότητα ή παραγωγική ικανότητα ορίζεται ως η οριακή ικανότητα ενός παραγωγικού συστήματος να παράγει προϊόντα ή υπηρεσίες σε μια χρονική περίοδο. Ο ορισμός αυτός ανάγει τη μέτρηση της δυναμικότητας στον καθορισμό της μέγιστης ποσότητας των τελικών προϊόντων ή υπηρεσιών που μπορεί να παράγει ένα σύστημα σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Εναλλακτικά, όταν δεν είναι δυνατό να γίνει χρήση μιας κοινής φυσικής μονάδας για τη μέτρηση της ποσότητας των τελικών προϊόντων του συστήματος, η δυναμικότητα μπορεί να οριστεί ως η μέγιστη ποσότητα του κρίσιμου (για την παραγωγή προϊόντων ή υπηρεσιών) πόρου που διαθέτει το σύστημα στη μονάδα του χρόνου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η δυναμικότητα ενός συστήματος μπορεί να μετρηθεί είτε με φυσικές μονάδες προϊόντων ή υπηρεσιών που παράγει το σύστημα, π.χ. τόνοι ενός προϊόντος ή αριθμός οχημάτων, στη μονάδα του χρόνου που χαρακτηρίζει το σύστημα, π.χ. μια βάρδια, είτε με μονάδες του κρίσιμου πόρου, π.χ. ανθρωπόωρες.

Στον πίνακα 1 δίνονται σχετικά παραδείγματα.

**Πίνακας 1.** Μονάδες μέτρησης δυναμικότητας.

<b>Παραγωγική Μονάδα</b>	<b>Μονάδα Μέτρησης</b>	<b>Μετρούμενο Μέγεθος</b>
Χαλυβουργία	Τόννοι/ μέρα	Τελικό προϊόν
Υποδηματοποιία	Ζεύγη/βάρδια	Τελικό προϊόν
Εργοστάσιο μαρμάρου	m <sup>2</sup> /βάρδια	Τελικό προϊόν
Ενεργειακός σταθμός	megawatts	Τελικό προϊόν
Ζυθοποιία	κιβώτια/βάρδια	Τελικό προϊόν
Χαρτοποιία	Τόννοι/ μέρα	Τελικό προϊόν
Ξενοδοχείο	Αριθμός κρεβατιών	Κρίσιμος πόρος
Μηχανουργείο	Μηχανώρες/βάρδια	Κρίσιμος πόρος
Στάδιο	Αριθμός θέσεων	Κρίσιμος πόρος

### **2.2.2. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Το πρόβλημα του καθορισμού της δυναμικότητας ενός συστήματος προκύπτει όχι μόνο κατά τη φάση του αρχικού σχεδιασμού του συστήματος αλλά και αφού το σύστημα έχει εγκατασταθεί. Στη δεύτερη περίπτωση, η δυναμικότητα του συστήματος που έχει σχεδιαστεί με δεδομένα τις συνθήκες του περιβάλλοντος (ζήτηση, ανταγωνισμός κλπ.) και τους σκοπούς του συστήματος, υπόκειται σε περιοδική αναθεώρηση αφού τα δεδομένα αυτά μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Αν, για παράδειγμα, ένα σύστημα έχει σχεδιαστεί για να ανταποκρίνεται σε ένα επίπεδο ζήτησης και προβλέπεται ότι μετά από ένα χρονικό διάστημα η ζήτηση αυτή θα διπλασιαστεί, τότε προκύπτει πρόβλημα αναπροσαρμογής της δυναμικότητάς του ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί στα νέα δεδομένα της ζήτησης.

Και στις δύο περιπτώσεις, πάντως, δηλαδή είτε κατά τον αρχικό σχεδιασμό είτε μετά την εγκατάσταση του συστήματος, η σημαντικότερη παράμετρος του σχεδιασμού της δυναμικότητας είναι η ζήτηση που στοχεύει να ικανοποιεί το σύστημα. Έτσι, τα διάφορα στοιχεία της ζήτησης επηρεάζουν έντονα αντίστοιχα στοιχεία της δυναμικότητας. Ειδικότερα η ποσότητα, ο χρόνος, η ποιότητα και ο τόπος ζήτησης των προϊόντων ενός συστήματος αποτελούν βασικές παραμέτρους που παίρνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το επίπεδο της δυναμικότητας, το χρόνο που πρέπει να είναι αυτή διαθέσιμη, το είδος της δυναμικότητας όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του συστήματος και τον τόπο εγκατάστασής του.

Τόσο η ζήτηση που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη αγορά στην οποία διαθέτει τα προϊόντα του ένα παραγωγικό σύστημα, όσο και η τεχνολογία που χαρακτηρίζει το παραγωγικό δυναμικό του συστήματος, προσδιορίζουν μια ελάχιστη τιμή δυναμικότητας, κάτω από την οποία η επιβίωση του συστήματος είναι προβληματική. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων ελαχίστων τιμών που θα μπορούσαν να ισχύουν στην Ελλάδα δίνονται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Ενδεικτική ελάχιστη απαιτούμενη δυναμικότητα.

<b>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ</b>
Παραγωγή χαρτιού υγείας	10.000 τόνοι/έτος
Συντήρηση (ψυκτικοί χώροι)	5.000 m <sup>3</sup>
Παραγωγή μύρας	500.000 εκατόλιτρα/έτος
Κυλινδρόμυλος	100 τόνοι/24ωρο
Πυρηνελαιουργείο	300 τόνοι/24ωρο
Παραγωγή τοματοπολτού	600 τόνοι/24ωρο
Παραγωγή τσιμέντου	1,5 εκατ. Τόνοι/έτος

Η απόφαση για την δυναμικότητα του συστήματος επηρεάζει άλλους παράγοντες που σχετίζονται με τη λειτουργία και την αποδοτικότητα του συστήματος. Σε αυτούς περιλαμβάνεται το κόστος παραγωγής, το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό, η χρηματοοικονομική λειτουργία κλπ.

Γενικότερα, προβλήματα που σχετίζονται με τη δυναμικότητα συστημάτων εμφανίζονται και στα τρία επίπεδα λήψης αποφάσεων. Στο στρατηγικό επίπεδο το πρόβλημα αφορά το σχεδιασμό της δυναμικότητας σε μακροχρόνια βάση (π.χ. 5 ή 10 χρόνια) και με δεδομένα που αφορούν προβλεπόμενες μακροπορόθεσμες εξελίξεις στη ζήτηση. Η ανάγκη για τη λήψη τέτοιων αποφάσεων εμφανίζεται είτε κατά τον αρχικό σχεδιασμό ενός συστήματος είτε κατά την περιοδική αναθεώρηση της στρατηγικής ενός ήδη εγκατεστημένου συστήματος. Επειδή ο σχεδιασμός βασίζεται σε προβλέψεις, και μάλιστα μακροπρόθεσμες, για μελλοντικά γεγονότα που συχνά έχουν έντονο το στοιχείο της αβεβαιότητας, οι σχετικές αποφάσεις συνδέονται με σημαντικούς επιχειρηματικούς κινδύνους, δηλαδή με την πιθανότητα να προκύψει ζημία αντί κέρδος. Στο επίπεδο αυτό οι αποφάσεις που παίρνονται συνεπάγονται δέσμευση σημαντικών πόρων του συστήματος που επενδύονται σε πάγιες εγκαταστάσεις, όπως στην περίπτωση της εγκατάστασης μιας χαρτοποιητικής μηχανής, αγοράς ενός αεροσκάφους ή εγκατάστασης γραμμής με την οποία ολοκληρώνεται οριζόντια ή κάθετα ένα σύστημα και η παραγωγή του.

Στο τακτικό επίπεδο το πρόβλημα αφορά μεσοπρόθεσμη (π.χ. για 1-2 χρόνια) και περιορισμένη προσαρμογή της δυναμικότητας. Το πρόβλημα προκύπτει από εποχιακές διακυμάνσεις της ζήτησης, που μεταβάλλεται περιοδικά, ή από έκτακτες ανάγκες αύξησης της ζήτησης (π.χ. μια ασυνήθιστα μεγάλη παραγγελία). Οι αποφάσεις που παίρνονται στο επίπεδο αυτό δεν συνεπάγονται δέσμευση σημαντικών πόρων του συστήματος. Συνήθως το πρόβλημα της προσαρμογής της δυναμικότητας λύνεται με χρήση αποθεμάτων (δημιουργία αποθέματος κατά την περίοδο με τη χαμηλή ζήτηση και διάθεσή του κατά την περίοδο μεγάλης ζήτησης), μεταβλητής εργατικής δύναμης (εποχιακή απασχόληση πρόσθετου προσωπικού μόνο κατά την περίοδο που απαιτείται επέκταση της δυναμικότητας), υπερωριών δεύτερης ή τρίτης βάρδιας, εργασίας κατά τις ημέρες αργιών και υποκατασκευαστών. Συνήθως η προσαρμογή της δυναμικότητας με τέτοιους τρόπους συνεπάγεται αυξημένο λειτουργικό κόστος, π.χ. εξαιτίας επιβάρυνσης του ωρομισθίου, λόγω υπερωριακής απασχόλησης. Από την άλλη μεριά, οι αποφάσεις που αφορούν την προσαρμογή της δυναμικότητας στο τακτικό επίπεδο βασίζονται σε προβλέψεις που χαρακτηρίζονται σε πολύ μικρότερο βαθμό από το στοιχείο της

αβεβαιότητας. Γι' αυτό και ο επιχειρηματικός κίνδυνος είναι πολύ μικρότερος απ' ό,τι στην περίπτωση των αποφάσεων στο στρατηγικό επίπεδο.

Τέλος, στο λειτουργικό επίπεδο το πρόβλημα αφορά μικρές προσαρμογές της παραγωγικής ικανότητας με καλύτερη αξιοποίηση των πόρων που ήδη διαθέτει το σύστημα. Το πρόβλημα προκύπτει όταν βραχυπρόθεσμες τυχαίες μεταβολές στη ζήτηση ή άλλοι τυχαίοι παράγοντες δημιουργούν την ανάγκη να ανταποκριθεί το παραγωγικό σύστημα σε μια κατάλληλη αναδιάταξη των παραγωγικών πόρων και του επιπέδου απασχόλησής τους. Στους τυχαίους παράγοντες που είναι δυνατό να δημιουργήσουν πρόβλημα περιλαμβάνονται βλάβες σε κάποιο υποσύστημα, εμφάνιση μπουτυλιάριατος (bottleneck) σε κάποιο σημείο της γραμμής παραγωγής κ.λπ. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να εμφανίζονται σε βραχυπρόθεσμη βάση (π.χ. στη διάρκεια μιας εργάσιμης ημέρας ή μιας εβδομάδας). (Πάππης,2008b)

### **2.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Ειδικά όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων που αφορούν το σχεδιασμό της δυναμικότητας στο στρατηγικό επίπεδο, η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει την πρόβλεψη της ζήτησης, τον προσδιορισμό των απαιτήσεων δυναμικότητας, τη διαμόρφωση εναλλακτικών σχεδίων αποφάσεων για τη δυναμικότητα, την οικονομική τους ανάλυση, την επιλογή του καλύτερου και τον προσδιορισμό του αναγκαίου εξοπλισμού και προσωπικού.

#### **2.3.1.ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ**

Η πρόβλεψη της ζήτησης στο χρόνο στον οποίο αναφέρεται ο σχεδιασμός (π.χ. στη διάρκεια 5 χρόνων από τη στιγμή έναρξης λειτουργίας του συστήματος) γίνεται με τη χρήση διαφόρων μεθόδων που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό ακρίβειας, κόστος και απαιτήσεις σε στοιχεία. Στον πίνακα 3 συνοψίζονται διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται γενικά για προβλέψεις. Από τις μεθόδους αυτές στην περίπτωση του στρατηγικού σχεδιασμού της δυναμικότητας συστημάτων χρησιμοποιούνται κυρίως οι προγνωστικές μέθοδοι, ιδίως όταν πρόκειται για ανάπτυξη νέων προϊόντων και οι αιτιακές μέθοδοι, ιδίως για προβλέψεις που αφορούν υπάρχοντα προϊόντα. Στους παράγοντες που επηρεάζουν



τη ζήτηση και που παίρνονται υπόψη στο σχεδιασμό της δυναμικότητας περιλαμβάνονται η τεχνολογία, ο ανταγωνισμός, η υπάρχουσα κλαδική δυναμικότητα και η διάρθρωσή της, οι γενικότερες τάσεις στην αγορά, το διαθέσιμο εισόδημα των καταναλωτών κ.λπ.

**Πίνακας 3.** Μέθοδοι προβλέψεων.

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
<b>A. ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ</b>	
Κινούμενοι μέσοι	Οι προβλέψεις στηρίζονται σε δεδομένα χρονοσειρών που εξομαλύνονται με ένα κινούμενο μέσο παίρνοντας υπόψη τάσεις και εποχιακές διακυμάνσεις. Απαιτούνται δεδομένα τουλάχιστον για τα δύο τελευταία χρόνια. Εφαρμόζονται για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις σε λειτουργίες που αφορούν αποθέματα, οργάνωση παραγωγής, έλεγχο, τιμολόγηση κ.λπ. Έχει κόστος χαμηλό.
Εκθετικοί κινούμενοι μέσοι	Όπως παραπάνω με τη διαφορά ότι τα πιο πρόσφατα στοιχεία βαρύνουν περισσότερο στις προβλέψεις.
Σειρές Fourier	Μια πεπερασμένη σειρά Fourier προσαρμόζεται σε εμπειρικά δεδομένα προβάλλοντας τάσεις και εποχιακές διακυμάνσεις. Απαιτείται ηλεκτρονικός υπολογιστής και δεδομένα για τα δύο τελευταία χρόνια τουλάχιστον. Εφαρμογές όπως παραπάνω. Κόστος χαμηλό ως μεσαίο.

B. ΑΙΤΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	
Ανάλυση συσχέτισης	Οι προβλέψεις βασίζονται στη συσχέτιση της βασικής μεταβλητής με παράγοντες που την επηρεάζουν. Εφαρμόζεται για βραχυπρόθεσμες και μεσοπρόθεσμες προβλέψεις που αφορούν υπάρχοντα προϊόντα (πωλήσεις, παραγωγή, δυναμικότητα). Μεσαίο κόστος.
Οικονομικότερα μοντέλα	Οι προβλέψεις στηρίζονται σε συστήματα εξισώσεων μεταβλητών που αλληλοεξαρτώνται. Εφαρμογές όπως παραπάνω. Κόστος υψηλό.
Γ. ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	
Delphi	Ένας αριθμός εμπειρογνομόνων απαντά σε ερωτηματολόγια. Οι απαντήσεις σε κάθε ερωτηματολόγιο συνοψίζονται και βοηθούν στο να διαμορφωθεί και να απαντηθεί το επόμενο. Η μέθοδος εφαρμόζεται για μακροπρόθεσμες προβλέψεις σε νέα προϊόντα. Κόστος μεσαίο έως μεγάλο.
Έρευνα αγοράς	Διερεύνηση των προτιμήσεων και τάσεων της αγοράς με ερωτηματολόγια, συνεντεύξεις, δοκιμαστική εισαγωγή προϊόντων κ.λπ. Εφαρμογές όπως παραπάνω. Κόστος μεγάλο.
Ανάλυση αναλόγων και κύκλου ζωής	Οι προβλέψεις στηρίζονται σε ανάλυση και σύγκριση με την ανάπτυξη και εξέλιξη παρόμοιων προϊόντων και

	στον προσδιορισμό του κύκλου ζωής (για νέα προϊόντα). Εφαρμογές όπως παραπάνω. Κόστος μεσαίο.
--	---

### 2.3.2.ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Οι απαιτήσεις δυναμικότητας προσδιορίζονται με βάση τις προβλέψεις για τις μεταβολές της ζήτησης μέσα στο χρόνο του σχεδιασμού. Οι απαιτήσεις αυτές καθορίζονται ποσοτικά και χρονικά, καθορίζεται δηλαδή το μέγεθος της απαιτούμενης δυναμικότητας και ο χρόνος κατά τον οποίο αυτή θα απαιτηθεί. Επειδή συνήθως η ζήτηση μεταβάλλεται συνεχώς, οι απαιτήσεις δυναμικότητας είναι διαφορετικές κάθε στιγμή μέσα στο χρόνο σχεδιασμού. Φυσικά η δυναμικότητα του συστήματος που θα εγκατασταθεί δεν είναι δυνατό, για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, να παρακολουθεί τη ζήτηση στις χρονικές διακυμάνσεις της. Η δυναμικότητα που εγκαθίσταται σε ένα σύστημα, ιδίως όσον αφορά τα μηχανικά μέσα παραγωγής και γενικά τις πάγιες εγκαταστάσεις, είναι σταθερή για μεγάλα χρονικά διαστήματα και το μέγεθος της συνήθως υπερκαλύπτει το μέγεθος της ζήτησης κατά τα διαστήματα αυτά. Από την άλλη μεριά, η κατάλληλη αξιοποίηση της δυναμικότητας του συστήματος επιτρέπει την προσαρμογή του στις διακυμάνσεις της ζήτησης. Έτσι, οι διακυμάνσεις της ζήτησης, που συχνά είναι εποχιακές, δηλαδή χαρακτηρίζονται από εναλλασσόμενες περιόδους χαμηλής και υψηλής ζήτησης στη διάρκεια ενός έτους, μπορούν -όπως αναφέρθηκε- να καλύπτονται με διάφορους τρόπους: με τη δημιουργία αποθεμάτων κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης, που θα καλύπτουν την αυξημένη ζήτηση κατά τις αντίστοιχες περιόδους, με τη χρήση δεύτερης ή τρίτης βάρδιας ή υπερωριών, με απασχόληση του συστήματος κατά τις ημέρες αργίας και με τη χρήση υποκατασκευαστών.

Ο προσδιορισμός των απαιτήσεων δυναμικότητας αφορά το χρόνο

$$T_{\sigma} = T_o - T_{\varepsilon}$$

Όπου:

$T_{\sigma}$  : ο χρόνος σχεδιασμού, δηλαδή ο χρόνος από την έναρξη λειτουργίας του σχεδιαζόμενου συστήματος μέχρι το τέλος του χρονικού ορίζοντα που αφορά ο σχεδιασμός (συνήθως ισούται με 5-10 χρόνια).

$T_{\circ}$  : ο χρόνος από την έναρξη της διαδικασίας σχεδιασμού μέχρι το τέλος του χρονικού ορίζοντα σχεδιασμού.

$T_{\epsilon}$  : ο χρόνος που απαιτείται για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση του συστήματος (lead time), δηλαδή για την εκπόνηση σχεδίων, κατασκευή κτιρίων, αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού, πρόσληψη και εκπαίδευση προσωπικού κ.λπ.

### **2.3.3. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ**

Μετά τον καθορισμό των απαιτήσεων δυναμικότητας στο χρόνο σχεδιασμού ακολουθεί η διαμόρφωση εναλλακτικών σχεδίων αποφάσεων για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων. Κάθε εναλλακτικό σχέδιο αναφέρεται σε ένα διαφορετικό τρόπο εγκατάστασης της απαιτούμενης δυναμικότητας. Στην πραγματικότητα, κάθε τέτοιο σχέδιο εκφράζει μια διαφορετική σχέση του σταθερού και μεταβλητού κόστους της παραγωγικής μονάδας που σχεδιάζεται.

### **2.3.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ**

Η αύξηση της δυναμικότητας συχνότερα και κατά μικρότερα τμήματα συνεπάγεται συνήθως αυξημένες πάγιες δαπάνες εγκατάστασης ανά μονάδα δυναμικότητας σε σχέση με μεγαλύτερες αυξήσεις που γίνονται κατά αραιότερα διαστήματα. Πράγματι, η ανά μονάδα δυναμικότητας πάγια δαπάνη για την προμήθεια και εγκατάσταση ενός παραγωγικού συστήματος είναι κατά κανόνα τόσο μικρότερη όσο μεγαλύτερη είναι η δυναμικότητα του συστήματος. Από την άλλη μεριά, ένα παραγωγικό σύστημα που υπολειτουργεί παράγοντας κάτω από το επίπεδο της δυναμικότητάς του συνεπάγεται αυξημένο κόστος προϊόντος που είναι ανάλογο προς το μέγεθος της δυναμικότητας που δεν αξιοποιείται. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες (κόστος κεφαλαίου που έχει χρησιμοποιηθεί για την προμήθεια του συστήματος που δεν αξιοποιείται πλήρως, δαπάνες λειτουργίας ανά μονάδα προϊόντος, που ελαχιστοποιούνται όταν το σύστημα λειτουργεί κοντά στο 100% της δυναμικότητάς του).

Η χρήση, άλλωστε, εναλλακτικών πηγών δυναμικότητας για ορισμένα διαστήματα συνεπάγεται σχεδόν πάντα αυξημένο κόστος. Αυτό οφείλεται π.χ. στην αυξημένη αποζημίωση της υπερωριακής απασχόλησης σε σχέση με την εργασία κατά το κανονικό ωράριο ή στην απώλεια παραγωγικού χρόνου που συνεπάγεται η ανάγκη προσαρμογής στις απαιτήσεις της παραγωγής εργαζομένων που προσλαμβάνονται εποχιακά.

Κατά συνέπεια, για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σχεδίων πρέπει να ληφθεί υπόψη το συνολικό αποτέλεσμα των οικονομικών κλίμακας που συνεπάγεται κάθε σχέδιο. (Πάππης,2008b)

## **2.4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**

Ο προγραμματισμός εκτέλεσης εργασιών έχει μεγάλη σπουδαιότητα. Στα εργοστάσια πρέπει να υπάρχει προγραμματισμός για την παραγωγή, για τους εργάτες, τις αγορές κ.λπ. Σε γενικές γραμμές, οι αντικειμενικοί σκοποί του προγραμματισμού είναι:

- Αποτελεσματική χρησιμοποίηση μηχανών, προσωπικού
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής πελατών, αποθήκευσης και χρόνου εκτέλεσης.

### **2.4.1.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ (JOB SHOP SCHEDULING)**

Ο προγραμματισμός εκτέλεσης εργασιών σ' ένα εργοστάσιο (Job Shop) εξαρτάται κυρίως από τους εξής έξι παράγοντες:

1. Διαδικασία άφιξης εργασιών.
2. Αριθμός και είδος των μηχανών.
3. Αναλογία μεταξύ εργατών και μηχανών.
4. Διαδικασία ροής των εργασιών από μηχανή σε μηχανή.
5. Κανόνες προτεραιότητας για την κατανομή εργασιών σε μηχανές.
6. Κριτήρια εκτίμησης της σειράς εκτέλεσης εργασιών.

#### **2.4.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΦΙΞΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**

Οι εργασίες καταφθάνουν συνήθως ή ως πλήθος (batch) ή μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα σύμφωνα με κάποια στατιστική κατανομή.

Στην πρώτη κατηγορία έχουμε στατική άφιξη, και στη δεύτερη δυναμική. Στατική άφιξη εργασιών δεν σημαίνει ότι οι πελάτες έβαλαν την παραγγελία ταυτόχρονα, αλλά ότι οι παραγγελίες έχουν προγραμματιστεί να εκτελεστούν την ίδια χρονική περίοδο. Στη δυναμική άφιξη οι εργασίες προγραμματίζονται μόλις καταφθάνουν στο εργοστάσιο.

#### **2.4.3. ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ**

Ο αριθμός μηχανών σ' ένα εργοστάσιο σίγουρα επηρεάζει τη διαδικασία προγραμματισμού. Φυσικά εάν υπάρχει μόνο μια μηχανή, το πρόβλημα προγραμματισμού είναι πολύ απλό. Εάν ο αριθμός και το είδος όμως των μηχανών αυξηθεί, το πρόβλημα προγραμματισμού γίνεται πολύπλοκο.

#### **2.4.4. ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΕΡΓΑΤΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΩΝ**

Εάν υπάρχουν περισσότεροι εργάτες από μηχανές ή ο αριθμός των εργατών είναι ίδιος μ' αυτόν των μηχανών, τότε το εργοστάσιο θεωρείται ως ένα σύστημα περιορισμένου μηχανισμού. Εάν οι μηχανές είναι περισσότερες από τους εργάτες τότε θεωρείται ως ένα σύστημα περιορισμένης δυναμικότητας. Στη μελέτη συστημάτων με περιορισμένη την εργατική δυναμικότητα, ο βασικός χώρος έρευνας είναι η χρησιμοποίηση κάθε εργάτη σε διάφορες μηχανές και ο προσδιορισμός του βέλτιστου τρόπου κατανομής εργατών σε μηχανές.

#### **2.4.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗ ΣΕ ΜΗΧΑΝΗ**

Η διακίνηση των εργασιών από μηχανή σε μηχανή γίνεται με μια ή και με συνδυασμό των ακόλουθων διαδικασιών:

- Όλες οι εργασίες έχουν την ίδια ροή διακίνησης από τη μια μηχανή στην άλλη (flow shop).
- Η ροή διακίνησης στις μηχανές διαφέρει από εργασία σε εργασία (randomly routed job shop).

## 2.4.6. ΚΑΝΟΝΕΣ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ

Οι κανόνες προτεραιότητας χρησιμοποιούνται για την κατανομή εργασιών σε μηχανές ή κέντρα επεξεργασίας. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον είναι οι ακόλουθοι:

- **FCFS (First Come, First Served):** οι εργασίες τελούνται ανάλογα με τη σειρά με την οποία καταφθάνουν στο κέντρο ή μηχανή επεξεργασίας.
- **SPT (Shortest Processing Time):** οι εργασίες τελούνται ανάλογα με το χρόνο εκτέλεσής τους, δίνοντας προτεραιότητα σε εργασίες που απαιτούν τη μικρότερη χρονική διάρκεια.
- **DD (Due Date):** οι εργασίες τελούνται ανάλογα με τη μέρα παράδοσης, δίνοντας προτεραιότητα σε εργασίες με τη συντομότερη χρονικά ημέρα παράδοσης.
- **CR (Critical Ratio):** οι εργασίες τελούνται ανάλογα με την τιμή του πηλίκου της ημέρας παραλαβής προς το χρόνο εκτέλεσης. Η προτεραιότητα δίνεται σε εργασίες με το μικρότερο πηλίκο. (Τσιότρας,1996)

## 2.5.ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ (ERP)

### 2.5.1.ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ERP

Τα συστήματα ERP είναι ευέλικτα, δηλαδή μπορούν να προσαρμόζονται στις ανάγκες της επιχείρησης όπου εγκαθίστανται, και κατά κανόνα είναι σπονδυλωτά, δηλαδή αποτελούνται από επιμέρους υποσυστήματα (προγράμματα λογισμικού) ή *σπονδύλους*. Κάθε σπόνδυλος αντιστοιχεί συνήθως σε ένα από τα βασικά τμήματα μιας επιχείρησης και εκτελεί δραστηριότητες που σχετίζονται με το τμήμα. Οι κυριότεροι σπόνδυλοι αφορούν τις εξής λειτουργίες:

- **Προγραμματισμός παραγωγής:** έχει ως σκοπό να υποστηρίξει την αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων και την οργάνωση της παραγωγής (διενέργεια προβλέψεων των πωλήσεων, καταγραφή παραγγελιών, εκπόνηση προγράμματος παραγωγής, έκδοση εντολών παραγωγής, προγραμματισμός απαιτούμενων υλικών, προγραμματισμός δυναμικότητας, προγραμματισμός συντήρησης).

- **Προμήθειες:** έχει ως σκοπό να υποστηρίζει τις προμήθειες υλικών (αξιολόγηση και επιλογή προμηθευτών, διαπραγμάτευση τιμών, ανάθεση παραγγελιών, κοστολόγηση).
- **Έλεγχος αποθηκών:** έχει ως αντικείμενο τη διαχείριση αποθεμάτων (προσδιορισμός αναγκών, έκδοση διαχειριστικών οδηγιών για το είδος, την ποσότητα και το χρόνο παραγγελίας, παρακολούθηση κινήσεων, έκδοση αναφορών).
- **Πωλήσεις:** έχει ως αντικείμενο την υποστήριξη των πωλήσεων (λήψη παραγγελιών, προγραμματισμός διανομών, αποστολή, τιμολόγηση).
- **Οικονομικά:** έχει ως αντικείμενο τη συλλογή πληροφοριών από τα διάφορα τμήματα της επιχείρησης (παραγωγή, προμήθειες, πωλήσεις, ανθρώπινο δυναμικό) για την ενημέρωση των λογαριασμών της Γενικής και Ειδικής Λογιστικής και την έκδοση σχετικών αναφορών (ισολογισμοί, περιοδικές δηλώσεις, άλλες κινήσεις).
- **Ανθρώπινο δυναμικό:** έχει ως αντικείμενο την υποστήριξη της διοίκησης του προσωπικού της επιχείρησης με την τήρηση αρχείων προσωπικών και επαγγελματικών στοιχείων των εργαζομένων (αξιολόγηση, παρουσίες, προαγωγές, πληρωμές).

Οι σπόνδυλοι ενός συστήματος ERP επικοινωνούν μεταξύ τους, ώστε η καταγραφή ενός στοιχείου σε έναν από αυτούς να συνεπάγεται την αυτόματη ενημέρωση ενός ή περισσότερων άλλων σπονδύλων. Άλλωστε, ένα σύστημα ERP μπορεί να περιλαμβάνει και άλλους σπονδύλους, εκτός από τους προαναφερόμενους ή μπορεί να περιλαμβάνει εντελώς διαφορετικούς, ανάλογα με το είδος της επιχείρησης στο οποίο έχει εφαρμογή (π.χ. μια ναυτιλιακή επιχείρηση περιλαμβάνει διαφορετικούς σπονδύλους από μια εμπορική ή βιομηχανική). Εξάλλου, η σπονδυλωτή δομή των συστημάτων ERP επιτρέπει στην επιχείρηση να το εγκαταστήσει τμηματικά και σε βάθος χρόνου ενώ παράλληλα να λειτουργεί κανονικά.

### 2.5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ERP

Τα συστήματα ERP έχουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συστημάτων διαχείρισης, το κυριότερο από τα οποία είναι η πληροφορική



ολοκλήρωση του συνόλου των διαδικασιών μιας επιχείρησης μέσω μιας κοινής βάσης δεδομένων, που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε όλα τα τμήματα της επιχείρησης. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι ένα σύστημα ERP ενσωματώνει συνήθως τις καλύτερες από τις πρακτικές που ακολουθούν γενικά οι επιχειρήσεις. Ακόμα, οφέλη μπορούν να προέλθουν από τη βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων της επιχείρησης μέσω της κοινής βάσης δεδομένων. Άλλωστε, για να προκύψει βέλτιστο αποτέλεσμα από τη εγκατάσταση ενός συστήματος ERP σε μία επιχείρηση πρέπει να προηγηθεί η αναδιοργάνωσή της. Ο ανασχεδιασμός επιχειρησιακών διαδικασιών είναι μία προσέγγιση, που αποβλέπει στην αναδιοργάνωση της επιχείρησης με στόχο τη ριζική συμπίεση του κόστους και τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς της, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Ειδικότερα, έχει ως αντικείμενο τη συστηματική μελέτη των επιχειρησιακών διαδικασιών με σκοπό να διερευνηθεί ο συνολικός επιχειρηματικός τους στόχος και να υλοποιηθούν δημιουργικές αλλαγές, ώστε να βελτιωθεί ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτός ο στόχος, συνήθως με τη χρήση της τεχνολογίας των πληροφοριών. Ο ανασχεδιασμός επιχειρησιακών διαδικασιών έχει κόστος και μπορεί να προκαλέσει οργανωτική αναστάτωση αν οι αλλαγές που θα γίνουν είναι δραστικές και βίαιες, όμως από την άλλη μεριά προσφέρει μια ευκαιρία στη επιχείρηση, πριν εγκαταστήσει το νέο σύστημα διαχείρισης, να ανασχεδιάσει ή να απαλλαγεί από διαδικασίες που δεν συνεισφέρουν στην αλυσίδα της αξίας. Από την άποψη αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα από τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης στην επιχείρηση ενός συστήματος ERP.

Όμως τα συστήματα ERP δεν είναι απαλλαγμένα από μειονεκτήματα, ενώ σημαντικά προβλήματα μπορούν να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία τους. Σοβαρό μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος της εγκατάστασης του συστήματος, η οποία μπορεί να διαρκέσει από ένα μέχρι τρία χρόνια. Ένας τυπικός προϋπολογισμός είναι μερικές δεκάδες εκατομμύρια ευρώ. Επιχειρήσεις μικρού ή μεσαίου μεγέθους είναι συχνά δύσκολο να αντεπεξέλθουν σ' αυτό το κόστος. Γι' αυτό οι προμηθευτές συστημάτων ERP προωθούν σε τέτοιους πελάτες τους λογισμικό με μικρότερες δυνατότητες, που όμως αποτελεί φθηνότερη λύση. Αλλά και οι αλλαγές που είναι υποχρεωμένη να κάνει η επιχείρηση λόγω της εισαγωγής και εγκατάστασης ενός

συστήματος ERP, δηλαδή η μετάβαση από το παλιό στο νέο σύστημα, έχουν σημαντικό κόστος γι' αυτήν, αφού συνεπάγονται απασχόληση πόρων της επιχείρησης κατά το διάστημα της μετάβασης (επιπλέον του κόστους του ανασχεδιασμού, που αναφέρθηκε παραπάνω). Γενικότερα, εκτός από το εμφανές κόστος αγοράς του συστήματος από την προμηθεύτρια εταιρεία, υπάρχει ένα αφανές κόστος που συνδέεται με την εγκατάσταση ενός συστήματος ERP και συνδέεται με την εκπαίδευση, την κατάρτιση και την ενδεχόμενη αντικατάσταση μέρους του προσωπικού, τις δοκιμές, τη μεταφορά και μετατροπή δεδομένων από το σύστημα που προϋπήρχε, την παραμετροποίηση των εφαρμογών, τους τεχνικούς συμβούλους και την αναπόφευκτη μείωση της παραγωγικότητας στο διάστημα κατά και αμέσως μετά από την εγκατάσταση του συστήματος. Άλλωστε η εγκατάσταση/αναβάθμιση του συστήματος δεν σταματάει ποτέ, αφού είναι ανάγκη να ανανεώνεται και να επεκτείνεται συνεχώς.

Τέλος, προβλήματα μπορούν να προκύψουν κατά τη λειτουργία του συστήματος από την αντίσταση που είναι δυνατόν να αναπτυχθεί είτε εξωτερικά, από τους συνεργάτες της επιχείρησης-χρήστη του συστήματος στην εφοδιαστική αλυσίδα, που μπορεί να αρνηθούν να μοιραστούν με αυτήν ευαίσθητες εσωτερικές πληροφορίες τους, είτε εσωτερικά, από το προσωπικό της επιχείρησης, που μπορεί να φοβάται τις επιπτώσεις των αλλαγών που φέρνει το νέο σύστημα στις συνθήκες απασχόλησής τους ή που δεν έχει πειστεί για την ωφελιμότητά τους. Επίσης μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα συμβατότητας του συστήματος με τα συστήματα των συνεργατών της επιχείρησης-χρήστη. Ένα άλλο πρόβλημα αποτελεί η αδρανοποίηση του συστήματος που μπορεί να προκύψει από τη διακοπή της συνεργασίας ενός τμήματος με το υπόλοιπο σύστημα (π.χ. θέση ενός τμήματος εκτός λειτουργίας λόγω τοπικής βλάβης ή λόγω απεργίας του προσωπικού).

Συνοψίζοντας, παρά την πολύ μεγάλη εξάπλωση των εφαρμογών ανά τον κόσμο και παρά την ύπαρξη προφανών πλεονεκτημάτων, υπάρχουν επίσης σημαντικά μειονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τα συστήματα ERP και η σχέση κόστους-οφέλους από την εφαρμογή τους δεν είναι πλήρως αποσαφηνισμένη. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι οι εφαρμογές ERP μέχρι τώρα έχουν παραγάγει λιγότερα από τα αναμενόμενα επιχειρησιακά οφέλη. Επίσης είναι ανάγκη να

ερευνηθούν σε βάθος οι ποικίλες επιδράσεις των συστημάτων ERP κατά την εφαρμογή τους στις επιχειρήσεις. (Πάππης, 2006)

## **2.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ**

Στην παρούσα εργασία, το πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού παραγωγής θα αναλυθεί στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας γάλακτος ΑΓΝΟ Α.Ε. η οποία παράγει μία ποικιλία προϊόντων (φρέσκο γάλα, γιαούρτη, παγωτά, γάλα υψηλής παστερίωσης, γάλα μακράς διάρκειας, κρέμα γάλακτος και χυμούς). Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας και ο αντίστοιχος εξοπλισμός που απαιτείται για την παραγωγή χυμών στην μονάδα επεξεργασίας υψηλής θερμοκρασίας UHT (ultra-high-temperature processing).

### **2.6.1. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΧΥΜΩΝ**

Η μονάδα UHT παραγωγής χυμών της εταιρείας ΑΓΝΟ διαθέτει τρεις δεξαμενές στις οποίες γίνεται προσθήκη και ανάδευση των συστατικών κάθε χύμου.

Οι δεξαμενές είναι οι εξής:

- Δεξαμενή Χ<sub>1</sub> χωρητικότητας 8 τόνων
- Δεξαμενή Χ<sub>2</sub> χωρητικότητας 8 τόνων
- Δεξαμενή Χ<sub>3</sub> χωρητικότητας 20 τόνων.

Οι δεξαμενές είναι κυλινδρικού σχήματος, με πλευρική ανάδευση τύπου προπέλας. Η κύρια λειτουργία των δεξαμενών αυτών είναι η ανάμιξη υλικών με χαμηλό ιξώδες. Οι δεξαμενές είναι ιδανικές για χρήση στη βιομηχανία Τροφίμων και Ποτών, στη βιομηχανία Γάλακτος και Γαλακτοκομικών κ.α.

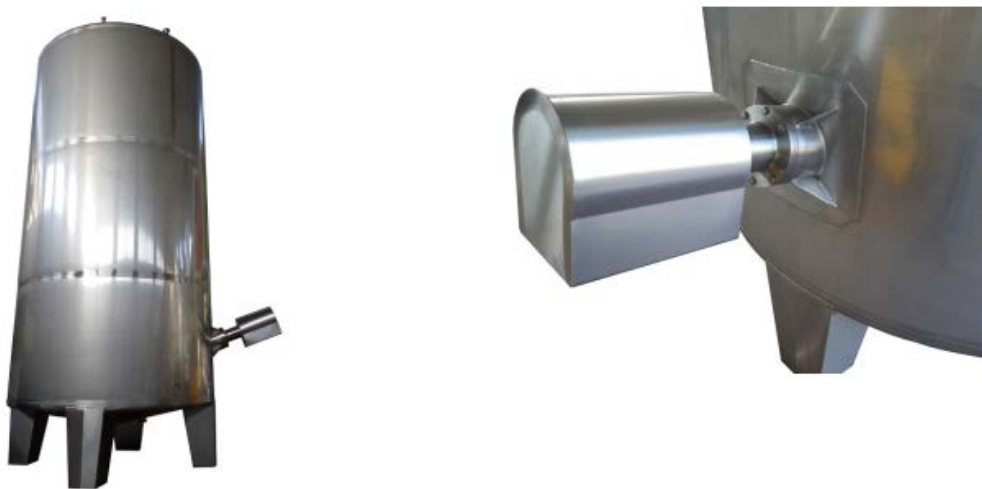
Τεχνικές Προδιαγραφές:

- Υλικό κατασκευής εξολοκλήρου ανοξείδωτος χάλυβας τύπου AISI316L.
- Οροφή και πυθμένας κωνικού σχήματος.
- Εξαεριστικό inox στην οροφή.
- Ανοξείδωτη AISI 316L ανθρωποθυρίδα Ø400mm
- Spray Ball για καθαρισμό μέσω C.I.P .

- Πλευρικός αναδευτήρας τύπου προπέλας με το κατάλληλο σύστημα στεγανοποίησης.
- Προστατευτικό κάλυμμα κινητήρα ανάδευσης από ανοξείδωτο χάλυβα AISI316L.

Η δεξαμενή διαθέτει όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για τη σύνδεση με το υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων (είσοδος/έξοδος κτλ.) και είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει η Βιομηχανία Τροφίμων & Ποτών. (food.inoxstyle.gr)

Στο σχήμα 1 απεικονίζεται μία τέτοια δεξαμενή.



**Σχήμα 1.** Δεξαμενή παρασκευής και ανάδευσης χυμών(food.inoxstyle.gr)

### **2.6.2. ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗΣ ΧΥΜΩΝ**

Η συγκεκριμένη μονάδα παραγωγής χυμών διαθέτει δύο μηχανές παστερίωσης της εταιρίας GEA TDS:

- Την Π<sub>1</sub> με δυναμικότητα 6 τόνους/ώρα.
- Την Π<sub>2</sub> με δυναμικότητα 12 τόνους/ώρα.

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται μία τέτοια μηχανή παστερίωσης.



**Σχήμα 2.** Μηχανή παστερίωσης.

([www.gea-tds.gr](http://www.gea-tds.gr))

Η GEA TDS είναι διεθνώς αναγνωρισμένη ως ειδικός στον τομέα του τεχνολογικού σχεδιασμού για την επεξεργασία υγρών τροφίμων καθώς και ως ένας αξιόπιστος συνεργάτης όσον αφορά τα συστήματα εναλλαγής θερμότητας για την επεξεργασία γαλακτοκομικών προϊόντων, τροφίμων και χυμών. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι το κομβικό σημείο κάθε μονάδας επεξεργασίας για τη θέρμανση, την ψύξη, την παστερίωση ή την επεξεργασία με τη μέθοδο της Υψηλής Παστερίωσης (UH-T).

Ο σωληνωτός εναλλάκτης θερμότητας είναι ειδικά σχεδιασμένος για την θερμική επεξεργασία προϊόντων χαμηλής αλλά και υψηλής πυκνότητας, καθώς και προϊόντων που περιέχουν στερεά, πούλπα και ίνες και χρησιμοποιείται κυρίως σε διαδικασίες θέρμανσης, ψύξης και υψηλής παστερίωσης.

Ο σωληνωτός εναλλάκτης θερμότητας είναι ένας ευθύς σωλήνας, με έναν ή περισσότερους σωλήνες τοποθετημένους εσωτερικά. Οι εσωτερικοί αυτοί σωλήνες μπορούν να είναι είτε απλοί, είτε με πτυχώσεις. Η συμπαγής κατασκευή και ο σχεδιασμός τους, επιτρέπει την εύκολη εγκατάσταση και επέκταση - ή όποιες τροποποιήσεις χρειαστούν στο μέλλον. ([www.gea-tds.gr](http://www.gea-tds.gr))

### 2.6.3.ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΜΦΙΑΛΩΣΗΣ ΧΥΜΩΝ

Η εταιρία διαθέτει τρεις εμφιαλωτικές μηχανές:

- Την E<sub>1</sub>, για συσκευασία του 1lt, με δυναμικότητα 7,5 τόνους/ώρα.
- Την E<sub>2</sub>, για συσκευασία του 1lt, με δυναμικότητα 5,5 τόνους/ώρα.
- Την E<sub>3</sub>, για συσκευασία των 250ml, με δυναμικότητα 1,6 τόνους/ώρα.

Οι εμφιαλωτικές μηχανές είναι της εταιρείας TetraPak και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αδιάλειπτη παραγωγή

Δεν υπάρχει καμία ανάγκη να σταματήσει η παραγωγή προκειμένου να ξαναγεμίσουν οι μηχανές με υλικό συσκευασίας.

- Εξασφάλιση ασηπτικών συνθηκών

Η ροή του αποστειρωμένου αέρα και η συγκέντρωση του υπεροξειδίου που απαιτείται για να διατηρηθούν ασηπτικές συνθήκες ελέγχονται πλήρως σε ένα κλειστό βρόγχο. Το υλικό συσκευασίας αποστειρώνεται τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό του σε ένα λουτρό υπεροξειδίου και μια λάμπα UV ολοκληρώνει τη διαδικασία αποστείρωσης.

- Πάνελ TetraPak

Διάφοροι παράγοντες συμβάλλουν στην εύκολη λειτουργία αυτού του μηχανήματος πλήρωσης. Το πάνελ Tetra Pak με οθόνη αφής και μεγάλα παράθυρα δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της παραγωγής από πρώτο χέρι και εύκολης πρόσβασης σε αυτήν.

- Επιχειρησιακός έλεγχος και ανάλυση των επιδόσεων

Το κέντρο PLMS συλλέγει αυτόματα τα δεδομένα της παραγωγής από την πλατφόρμα αυτοματισμού. Σε αυτό ο χειριστής μπορεί να προσθέσει τις δικές του παρατηρήσεις.

- Headspace (διάκενο) με ένεση

Ο διάκενος χώρος είναι αναγκαίος για τα προϊόντα που πρέπει να ανακινούνται πριν από την κατανάλωση. Η μονάδα αποτελείται από ένα ερμάριο ελέγχου, ένα θερμαντικό στοιχείο για την αποστείρωση του αέρα (ή αδρανούς αερίου) και ένα ακροφύσιο το οποίο εγχέει τον αποστειρωμένο αέρα προς το προϊόν για να δημιουργήσει αφρό. Όταν ο αφρός ηρεμεί, αφήνει ένα υπόλοιπο

ελεύθερου χώρου που επιτρέπει το περιεχόμενο να ανακινηθεί και να αναμιχθεί.  
([www.tetrapakhellas.gr](http://www.tetrapakhellas.gr))

Στο σχήμα 3 απεικονίζεται μία τέτοια μηχανή εμφιάλωσης.



**Σχήμα 3.** Μηχανή εμφιάλωσης. ([www.tetrapakhellas.gr](http://www.tetrapakhellas.gr))

## 2.7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ

Από όλα τα προϊόντα της εταιρείας, η ανάλυση επιλέχθηκε να επικεντρωθεί στα προϊόντα χυμού επειδή η διαδικασία παραγωγής τους διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα, κυρίως γαλακτοκομικά προϊόντα. Επιπλέον, η παραγωγή των χυμών εκτελείται σε διακριτές μέρες από αυτήν του γάλακτος υψηλής παστερίωσης και επομένως δεν υπάρχει επικάλυψη στην χρήση της μονάδας UHT. Η βιομηχανία παράγει τους εξής τύπους χυμού:

- 1) Φρουτοποτό βύσσινο σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 2) Φρουτοποτό λεμόνι σε συσκευασία 1lt.
- 3) Φρουτοποτό ροδάκινο σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 4) Νέктar 3 φρούτα (ροδάκινο-μήλο-πορτοκάλι) σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 5) Νέктar πορτοκάλι σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 6) Φυσικός χυμός ανανά σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 7) Φυσικός χυμός μήλο σε συσκευασία 250ml και 1lt.
- 8) Φυσικός χυμός πορτοκάλι σε συσκευασία 250ml και 1lt.

Για την παραγωγή όλων των τύπων χυμού εκτελούνται οι ακόλουθες διεργασίες με ελάχιστες διαφοροποιήσεις ανά προϊόν.

#### ***Παραγωγή απιονισμένου νερού***

Το νερό το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή απιονισμένου νερού είναι από τις γεωτρήσεις του εργοστασίου. Γίνεται χλωρίωση στο νερό από τη βιομηχανία (συγκέντρωση χλωρίου 4-6 ppm/ συγκέντρωση χλωρίου κατά την αποχλωρίωση <2 ppm). Στη συνέχεια το νερό διέρχεται αρχικά από φίλτρο ενεργού άνθρακα για συγκράτηση ξένων υλών και αποχλωρίωση και διατηρείται σε δεξαμενή. Ακολούθως διέρχεται από τη στήλη ρητινών συγκράτησης θετικών ιόντων, τη στήλη αφαίρεσης του CO<sub>2</sub>, τη στήλη συγκράτησης αρνητικών ιόντων, μετράται η αγωγιμότητα και συγκεντρώνεται σε άλλη δεξαμενή.

Κατά την παραγωγή νερού από τη μονάδα απιονισμού ελέγχεται η αγωγιμότητα, από ενσωματωμένο όργανο στο σύστημα, να βρίσκεται κάτω από 50μS/cm, η σκληρότητα να είναι <0,3 Γερμανικούς βαθμούς, να μην έχει χλώριο και το pH να είναι 8.5±1.0. Περαιτέρω θα πρέπει στο νερό να γίνεται απαέρωση και η παρουσία οξυγόνου να μετριέται με οξυγονόμετρο, η δε αλκαλικότητα του νερού να είναι 2-6. Εάν η αγωγιμότητα δεν είναι κανονική γίνεται αναγέννηση των στηλών απιονισμού. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι 4 τόνοι/ώρα.

#### ***Παραγωγή ζαχαροδιαλύματος***

Εισάγεται απιονισμένο νερό σε δεξαμενή διπλών τοιχωμάτων με δυνατότητα θέρμανσης και ψύξης.

Το νερό θερμαίνεται σε 50-60<sup>0</sup>C, εισάγεται η ζάχαρη με κοχλία στη δεξαμενή και αναδεύεται 1 ώρα περίπου να διαλυθεί. Το διάλυμα ανακυκλοφορεί και φιλτράρεται επί 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> ώρα υπό ανάδευση ενώ στα διπλά τοιχώματα κυκλοφορεί ψυχρό νερό.

#### ***Κύρια παραγωγική διαδικασία***

Η πρώτη διεργασία είναι η προσθήκη των συστατικών (απιονισμένο νερό, συμπύκνωμα φρούτου, ζαχαροδιάλυμα, ασκορβικό και κιτρικό οξύ) του χυμού στις δεξαμενές παρασκευής τους και η ανάμιξη αυτών. Με εντολές από τον Η/Υ του τμήματος UHT ο χυμός αποστέλλεται στο BTD της μηχανής παστερίωσης. Ο χυμός θερμαίνεται στους 95<sup>0</sup>C για 3 sec υπό πίεση 1 atm κατά τρόπο έμμεσο. Δηλαδή ο χυμός θερμαίνεται μέσα σε σωλήνα ο οποίος περιβάλλεται από ομόκεντρο σωλήνα



με ατμό και έχει 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> ανάκτηση. Ακολουθεί η εμφιάλωση του χυμού σε μία από τις εμφιαλωτικές μηχανές. Το χαρτί της συσκευασίας αποστειρώνεται με υπεροξειδίο του υδρογόνου 35%, μορφοποιείται και γίνεται πλήρωση και θερμοσυγκόλληση. Η περίσσεια του υπεροξειδίου του υδρογόνου στο χυμό ελέγχεται στο ξεκίνημα των εργασιών. Η πυκνότητα της ουσίας αυτής μετριέται κατά καιρούς με πυκνόμετρο και μέτρηση της θερμοκρασίας για να γίνει η σχετική αναγωγή.

Η φιάλη από τη μηχανή συσκευασίας οδηγείται με ατέρμονα κοχλία σε επισυσκευαστικό μηχάνημα, όπου τα κυτία τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια. Το κάθε χαρτοκιβώτιο διέρχεται από κλίβανο όπου γίνεται η συρρίκνωση της μεμβράνης περιτύλιξης. Ακολουθεί παλετοποίηση και μεταφορά στην αποθήκη. (Ζαπουνίδου & Τσίτζος, 2014)

### **3.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ Schedule Pro<sup>®</sup>**

Για την δημιουργία και ανάλυση του προγράμματος παραγωγής της μονάδας παραγωγής χυμών, θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό SchedulePro της εταιρείας Intelligen, Inc. (ΗΠΑ). Το SchedulePro<sup>®</sup> είναι ένα λογισμικό εργαλείο προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας μονάδων ασυνεχούς ή ημι-συνεχούς λειτουργίας με έμφαση στον χρονικό προγραμματισμό. Μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές του SchedulePro<sup>®</sup> περιλαμβάνουν:

1. Βραχυπρόθεσμος/μακροπρόθεσμος προγραμματισμός παραγωγής
2. Ανάλυση ικανότητας παραγωγής
3. Ταυτοποίηση και εξάλειψη περιοριστικών διεργασιών/πόρων (debottlenecking)
4. Μείωση του κύκλου χρόνου παραγωγής.

Το SchedulePro<sup>®</sup> χρησιμοποιεί την έννοια της *συνταγής* για την απεικόνιση της διαδικασίας παραγωγής κάθε προϊόντος της μονάδας. Για την εκτέλεση κάθε συνταγής το SchedulePro<sup>®</sup> αναγνωρίζει και παρακολουθεί την χρήση πόρων όπως συσκευών, προσωπικού, πρώτων υλών και βοηθητικών παροχών, αποθηκευτικών χώρων κλπ. Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής επιτυγχάνεται με την ανάθεση των διαθέσιμων πόρων στις συνταγές που εκτελούνται ανά πάσα στιγμή

στην μονάδα. Στην διαθεσιμότητα των πόρων συνυπολογίζονται και διακοπές λόγω αργιών ή προγραμματισμένης συντήρησης. Η ανάθεση των πόρων γίνεται αυτόματα από το SchedulePro με βάση την σειρά προτεραιότητας των παρτίδων χωρίς να μεσολαβεί κάποιος αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαμορφώσει το τελικό πρόγραμμα παραγωγής εισάγοντας όλες τις επιθυμητές αλλαγές και παρακάμπτοντας την προτεινόμενη από το πρόγραμμα λύση.

### **3.1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ**

Η ένταξη ενός προβλήματος προγραμματισμού στο SchedulePro® περιλαμβάνει την δήλωση των διαθέσιμων πόρων, τις εκτελούμενες συνταγές, και ένα σχέδιο/πρόγραμμα για το ποιές καμπάνιες πρέπει να εκτελεστούν στην μονάδα στο επιθυμητό χρονικό διάστημα με βάση τις παραγγελίες προϊόντων.

#### ***Πόροι (Resources):***

Ο όρος *Πόρος (resources)* περιλαμβάνει το ανθρώπινο δυναμικό, τα υλικά, το κεφάλαιο, τον εξοπλισμό και την ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα παραγωγής ως *εισροές (input)*. Οι εισροές μπορούν να διακριθούν στις κύριες εισροές, δηλαδή σε εκείνες που θα μετασηματισθούν μέσω μιας παραγωγικής διαδικασίας, και σε εκείνες που βοηθούν στο μετασηματισμό, των κύριων εισροών, δηλαδή το ανθρώπινο δυναμικό, τα μηχανήματα κλπ. Οι εισροές μετατρέπονται μέσω της παραγωγικής διαδικασίας σε *εκροές (output)*.

Οι πόροι χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση *συνταγών (Recipes)* προϊόντων. Οι διαθέσιμοι πόροι ανήκουν σε μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις/μονάδες παραγωγής (*Facilities*). Κάθε μονάδα ή δηλούμενος πόρος μέσα σε αυτήν διαθέτει ημερολόγιο όπου μπορούν να καταγραφούν τα χρονικά διαστήματα προγραμματισμένης διακοπής λειτουργίας.

#### ***Συνταγή (Recipes) :***

Το SchedulePro® είναι ειδικά σχεδιασμένο για το χειρισμό παραγωγής που εκτελείται σε παρτίδες. Ο χρονικός προγραμματισμός μονάδων που λειτουργούν κατά παρτίδες διαφοροποιείται από το γενικότερο πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού σε δύο βασικά σημεία:

α) η παραγωγική διαδικασία είναι κυκλικά επαναλαμβανόμενη. Για την παραγωγή μιας καμπάνιας μπορεί να απαιτούνται πολλές παρτίδες, ώστε η διαδικασία παραγωγής να επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά,

β) η συνταγή παραγωγής περιλαμβάνει πολλά στάδια των οποίων ο χρόνος ολοκλήρωσης μπορεί να είναι ανεξάρτητος από τον αριθμό των διαθέσιμων πόρων. Μια διεργασία με χημική αντίδραση, για παράδειγμα, θα έχει την ίδια χρονική διάρκεια για την διεκπεραίωση της, είτε υπάρχουν δύο είτε τέσσερις χειριστές στο μηχάνημα.

Η ενότητα αυτή παρέχει μια γενική κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του SchedulePro®.

### ***Οργάνωση των Συνταγών (Recipe Organization):***

Το SchedulePro® χρησιμοποιεί την έννοια της συνταγής που αντιπροσωπεύει το πρότυπο ή την περιγραφή του πώς φτιάχνεται (δημιουργείται) μία παρτίδα ενός προϊόντος.

Οι συνταγές αποτελούνται από κλάδους (*branches*) και τμήματα (*sections*) σε συμφωνία με το συγγενές πρόγραμμα προσομοίωσης παραγωγής *SuperPro Designer*®. Τα τμήματα της συνταγής έχουν ως σκοπό να προσομοιάζουν διακριτά και αναγνωρίσιμα κομμάτια μιας διαδικασίας όπως πχ ένα τμήμα εμφιάλωσης ή ένα τμήμα συσκευασίας.

Τα τμήματα αποτελούνται από διαδικασίες (*unit procedures*). Ως διαδικασία νοείται κάθε αυτοτελές τμήμα της παραγωγικής διεργασίας που επιτελείται εξ ολοκλήρου σε μία συσκευή πρωτογενούς εξοπλισμού καθ' όλη την διάρκειά της. Μια διαδικασία μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε ενέργειες (*operations*). Οι ενέργειες περιγράφουν διακριτά επιμέρους βήματα τα οποία εκτελούνται διαδοχικά στην ίδια συσκευή και διαφέρουν ως προς την λειτουργία τους και τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, μια διαδικασία σε έναν αντιδραστήρα μπορεί να περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες: φόρτωμα του υλικού στον αντιδραστήρα, ανάμειξη, θέρμανση, αντίδραση και άδειασμα του αντιδραστήρα. Πέρα από την χρήση της πρωτεύουσας συσκευής, οι ενέργειες μπορεί να απαιτούν για την εκτέλεσή τους και άλλους πόρους, όπως εργατικό δυναμικό (*labor*), υλικά (*materials*), βοηθητικές παροχές (*utilities*), βοηθητικό εξοπλισμό (*auxiliary equipment*) και συγκεκριμένο προσωπικό (*staff*).

Ως προς την χρονική διάρκεια εκτέλεσής τους, οι ενέργειες ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

*Σταθερού χρόνου (προεπιλογή) (Fixed duration):* Η χρονική διάρκεια των ενεργειών (*operations*) είναι δεδομένη και εισάγεται από τον χρήστη.

*Σταθερού ρυθμού (Rate-based duration):* Η διεργασία εκτελείται με συγκεκριμένο ρυθμό κι επομένως η διάρκειά της εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού προς επεξεργασία. Για παράδειγμα, η διάρκεια φόρτωσης μιας δεξαμενής με υλικό είναι ανάλογη του ποσού του υλικού προς φόρτωση. Ο ρυθμός με τον οποίο επιτελείται μια τέτοια διεργασία μπορεί να είναι σταθερός ή να εξαρτάται από την συσκευή στην οποία επιτελείται.

*Εξαρτημένης διάρκειας (Dependent duration):* Η διάρκεια είναι ίση με μιας άλλης ενέργεια ή μια σειράς ενεργειών

Ως προς τον χρόνο έναρξης της εκτέλεσης μιας ενέργειας μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Ταυτόχρονη έναρξη με την έναρξη της παρτίδας.
- Ταυτόχρονη έναρξη με την έναρξη μιας άλλης ενέργειας.
- Έναρξη ταυτόχρονη με το τέλος μιας άλλης ενέργειας.
- Λήξη ταυτόχρονη την έναρξη μιας άλλης ενέργειας.
- Λήξη ταυτόχρονη με το τέλος μιας άλλης ενέργειας.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα χρονικής μετατόπισης (*time shift*) της ενέργειας σε σχέση με το σημείο αναφοράς της (π.χ. την έναρξη μιας άλλης ενέργειας). Η μετατόπιση αυτή μπορεί να είναι σταθερή (*fixed*) οπότε εφαρμόζεται πάντα, ή ευέλικτη (*flexible*) στην οποία περίπτωση χρησιμοποιείται μόνο εφόσον υπάρχει ανάγκη να καθυστερήσει η ενέργεια αυτή αν οι πόροι που απαιτεί δεν είναι διαθέσιμοι. Για παράδειγμα, μια ενέργεια καθαρισμού CIP μπορεί να δηλωθεί ότι έχει ευέλικτη μετατόπιση 6 ώρες. Αυτό σημαίνει ότι αν κατά τον προγραμματισμό της ενέργειας αυτής η συσκευή CIP που απαιτείται δεν είναι διαθέσιμη, η ενέργεια μπορεί να καθυστερήσει μέχρι 6 ώρες το ανώτερο ωστόσο η συσκευή απελευθερωθεί από τις άλλες ενέργειες που προηγήθηκαν και την χρησιμοποιούν. Φυσικά, αν η συσκευή είναι άμεσα διαθέσιμη τότε η ενέργεια μπορεί να εκτελεστεί χωρίς καθυστέρηση σε σχέση με το σημείο

αναφοράς της. Η δυνατότητα χρήσης οποιασδήποτε ενδιάμεσης τιμής καθυστέρησης ανάμεσα στο μηδέν και την μέγιστη δηλωθείσα τιμή είναι που χαρακτηρίζει αυτή την καθυστέρηση ως “ευέλικτη”.

Πέρα από τους πόρους που η διαδικασία χρησιμοποιεί, η κάθε ενέργεια μέσα στην διαδικασία μπορεί να απαιτήσει κάποιους από τους ακόλουθους πόρους:

- Βοηθητικό εξοπλισμό (*auxiliary equipment*)
- Υλικά (*Materials*) (εισερχόμενα –πρώτες ύλες- ή εξερχόμενα –προϊόντα ή απόβλητα-)

- Βοηθητικές παροχές (*Utilities*) (θέρμανση / ψύξη, ενέργεια)

- Εργατικό δυναμικό ανά ειδικότητα (*Labor*)

- Εργάτες/προσωπικό (*Staff*) (για τον προγραμματισμό εργασίας ατόμων)

- Αποθηκευτικούς χώρους (*StorageUnits*)

***Οι Πόροι των Συνταγών (RecipeResources) :***

Οι πόροι στο SchedulePro® αντιπροσωπεύουν τα φυσικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση μιας συνταγής και την παραγωγή μιας παρτίδας προϊόντος. Τα είδη των πόρων που αναγνωρίζει το SchedulePro® είναι τα ακόλουθα:

***Μηχανολογικός Εξοπλισμός (Equipment):***

Αντιπροσωπεύει το σύνολο των βασικών ή βοηθητικών συσκευών/μηχανημάτων (πχ, δεξαμενή, συσκευαστική μηχανή, συσκευή CIP) της μονάδας με την βοήθεια των οποίων εκτελούνται οι διεργασίες. Από άποψη σχεδιασμού, ένα στοιχείο εξοπλισμού είναι ένας μη αναλώσιμος επαναχρησιμοποιήσιμος πόρος.

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε διαδικασία εξ ορισμού απαιτεί μία συσκευή για την εκτέλεσή της ενώ, προαιρετικά, κάθε ενέργεια μπορεί να απαιτήσει μια πρόσθετη μονάδα βοηθητικού εξοπλισμού. Κάθε συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν κύριος είτε σαν βοηθητικός εξοπλισμός. Για κάθε διαδικασία ή ενέργεια που απαιτεί μηχανολογικό εξοπλισμό μπορεί να δηλωθεί μια ταξινομημένη λίστα (pool) από εναλλακτικές συσκευές που θα μπορούσαν ισοδύναμα να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεσή της. Κατά τον χρονικό προγραμματισμό της διεργασίας, το SchedulePro® θα επιλέξει την πρώτη διαθέσιμη

συσκευή για κάθε διαδικασία/ενέργεια διατρέχοντας την λίστα των υποψήφιων συσκευών από πάνω προς τα κάτω.

Η δυναμικότητα/μέγεθος κάθε συσκευής και/ή ο ρυθμός λειτουργίας της μπορούν προαιρετικά να δηλωθούν στο *SchedulePro*<sup>®</sup>. Η πληροφορία για την δυναμικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαιρεθούν από την λίστα υποψήφιων συσκευών αυτές που λόγω μεγέθους είναι ακατάλληλες. Η πληροφορία για τον ρυθμό λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η χρονική διάρκεια εκτέλεσης ενεργειών που έχουν δηλωθεί σαν σταθερού ρυθμού. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να οριστεί μια συσκευή ως 'πολλαπλών χρήσεων' υποδηλώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ικανότητά της να εκτελεί πολλές ταυτόχρονες λειτουργίες στα πλαίσια της ίδιας ή διαφορετικών συνταγών. Για παράδειγμα, ένας καταψύκτης μπορεί να ψύχει ταυτόχρονα πολλά καρότσια διαφορετικών προϊόντων από διαφορετικές παρτίδες.

Για καλύτερη οργάνωση, ο μηχανολογικός εξοπλισμός όπως και οι υπόλοιποι πόροι (εκτός υλικών) ομαδοποιούνται σε εγκαταστάσεις/μονάδες (*facilities*).

#### **Χώροι εργασίας (*WorkArea*):**

Οι χώροι εργασίας είναι χώροι (πχ, εργαστήρια) που δεσμεύονται κατά την διάρκεια εκτέλεσης μιας διαδικασίας με σκοπό την εκτέλεση παράλληλων εργασιών (πχ, εργαστηρικών μετρήσεων). Όπως και με τις συσκευές, οι χώροι εργασίας μπορεί να δηλωθούν σαν 'πολλαπλών χρήσεων' οπότε υπάρχει η δυνατότητα παράλληλης χρήσης τους από πολλές διαδικασίες. Ο ορισμός χώρων εργασίας για κάθε διαδικασία είναι προαιρετικός.

#### **Υλικά (*Materials*):**

Τα υλικά στο *SchedulePro*<sup>®</sup> είναι ένας μη επαναχρησιμοποιήσιμος πόρος. Διακρίνονται δύο είδη υλικών: αυτά που μετρούνται χύδην (κατά μάζα ή όγκο) και αυτά που μετρούνται σε αριθμό μεμονωμένων οντοτήτων/μονάδων.

Τα υλικά χρησιμοποιούνται για τον ορισμό ρευμάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται από μια συσκευή σαν αποτέλεσμα της εκτέλεσης μιας λειτουργίας. Τα ρεύματα μπορούν να συσχετιστούν με δεξαμενές ή μονάδες αποθήκευσης (*storage units*) από τις οποίες προέρχονται ή στις οποίες καταλήγουν. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η παρακολούθηση και απογραφή των υλικών που υπάρχουν στις δεξαμενές/αποθήκες ώστε να προγραμματίζεται κατάλληλα η πλήρωση ή το

άδειασμα τους. Μέγιστα όρια μπορούν επίσης να οριστούν στον ρυθμό διάθεσης/απόθεσης κάποιου υλικού από τις δεξαμενές ή αποθήκες. Τα όρια αυτά δρουν σαν περιορισμοί στον χρονικό προγραμματισμό των διεργασιών της μονάδας.

#### **Εργατικό δυναμικό κατά ειδικότητα (Labor):**

Ένας από τους τρόπους που μπορεί να δηλωθεί το εργατικό δυναμικό στο *SchedulePro*<sup>®</sup> είναι κατά ειδικότητα (ο άλλος τρόπος είναι κατά άτομο όπως φαίνεται πιο κάτω). Για κάθε τύπο ειδικότητας, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τον μέγιστο αριθμό ατόμων της ειδικότητας αυτής που είναι διαθέσιμα στην μονάδα. Μέσα από το ημερολόγιο της κάθε ειδικότητας μπορούν να οριστούν αποκλίσεις από την δηλωθείσα τιμή όπως, για παράδειγμα, διαφοροποιήσεις στην διαθεσιμότητα ανά βάρδια. Στον χρήστη δίνεται η δυνατότητα να δηλώσει πόσα άτομα απαιτούνται ανά ειδικότητα για την εκτέλεση κάθε ενέργειας.

#### **Εργάτες/ Προσωπικό (Staff):**

Εδώ το εργατικό δυναμικό της μονάδας δηλώνεται κατά άτομα. Για κάθε ενέργεια ο χρήστης μπορεί να ορίσει μια ταξινομημένη λίστα (*pool*) ατόμων στα οποία θα μπορούσε να ανατεθεί όπως και τον αριθμό των ατόμων που απαιτούνται. Όταν γίνεται ο χρονικός προγραμματισμός της μονάδας, το *SchedulePro*<sup>®</sup> επιλέγει από την λίστα τον αντίστοιχο αριθμό διαθέσιμων ατόμων που μπορούν να εκτελέσουν την εργασία.

#### **Βοηθητικές Παροχές (Utilities):**

Βοηθητικές παροχές στο *SchedulePro*<sup>®</sup> είναι μη επαναχρησιμοποιήσιμοι πόροι που δεν μπορούν να αποθηκευτούν ή να απογραφούν. Στις βοηθητικές παροχές περιλαμβάνονται τα θερμαντικά/ψυκτικά μέσα (πχ, ατμός, νερό ψύξης) και η ηλεκτρική ενέργεια. Σε κάθε ενέργεια μπορεί να δηλωθεί ο ρυθμός κατανάλωσης όλων των βοηθητικών παροχών που απαιτούνται για την εκτέλεσή της. Όπως και με το εργατικό δυναμικό, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού ενός μέγιστου ρυθμού διάθεσης μιας βοηθητικής παροχής στην μονάδα.

#### **Χρονικός Προγραμματισμός (Scheduling):**

Μετά τον ορισμό των συνταγών που εκτελούνται στη μονάδα για την παραγωγή προϊόντων και των πόρων που είναι διαθέσιμοι για την εκτέλεσή τους, ο χρήστης είναι έτοιμος να προχωρήσει στον χρονικό προγραμματισμό της

λειτουργίας της μονάδας με βάση τις παραγγελίες προϊόντων. Το SchedulePro<sup>®</sup> χρησιμοποιεί τις ακόλουθες έννοιες για τον καθορισμό του προγράμματος παραγωγής:

#### **Καμπάνιες (Campaigns):**

Μια καμπάνια είναι μια σειρά από παρτίδες για συγκεκριμένο προϊόν (κι επομένως συγκεκριμένης συνταγής). Για τον ορισμό μιας καμπάνιας επομένως απαιτείται η επιλογή της συνταγής, ο απαιτούμενος αριθμός των παρτίδων (με βάση το μέγεθος της παραγγελίας) και πληροφορία για το χρονικό σημείο εκτέλεσης της καμπάνιας. Για το τελευταίο το SchedulePro<sup>®</sup> παρέχει μια σειρά από επιλογές οι οποίες είναι:

- καθορισμός ακριβούς χρόνου έναρξης
- καθορισμός ακριβούς χρόνου λήξης
- καθορισμός χρόνου έναρξης σε σχέση με την έναρξη ή λήξη μιας άλλης καμπάνιας

Προαιρετικά, για κάθε καμπάνια μπορούν να οριστούν διεργασίες που προηγούνται της έναρξης ή έπονται της λήξης της. Παράδειγμα τέτοιων διεργασιών είναι ο καθαρισμός της γραμμής παραγωγής πριν την αλλαγή προϊόντος.

#### **Παρτίδες (Batches):**

Μια παρτίδα αντιπροσωπεύει την εκτέλεση μιας συνταγής σε συγκεκριμένο χρόνο και με την χρήση συγκεκριμένων πόρων. Σε πλήρη αντιστοιχία προς την συνταγή από την οποία πηγάζει, μια παρτίδα έχει καταχωρήσεις για κάθε διαδικασία και ενέργεια που περιλαμβάνει η συνταγή με καθορισμένους όμως χρόνους έναρξης και λήξης και καθορισμένους πόρους. Η ουσία επομένως του προβλήματος του χρονικού προγραμματισμού είναι ο πλήρης καθορισμός των παρτίδων με βάση τις δηλωμένες καμπάνιες χωρίς να υπάρχουν επικαλύψεις στην χρήση των πόρων.

#### **Αυτόματος Χρονικός Προγραμματισμός (Automatic Scheduling):**

Κατά την δημιουργία ενός πλάνου παραγωγής, το SchedulePro<sup>®</sup> προγραμματίζει κάθε καμπάνια χωριστά και σύμφωνα με την σειρά που έχουν εισαχθεί στη λίστα από τον χρήστη. Με αυτό τον τρόπο, η υψηλή θέση μιας καμπάνιας στην λίστα ερμηνεύεται σαν «υψηλή προτεραιότητα» κι επομένως οι διαθέσιμοι πόροι πρέπει να τις δοθούν κατά προτεραιότητα.



Ο χρόνος έναρξης μιας καμπάνιας προσδιορίζεται με βάση την αντίστοιχη επιλογή του χρήστη. Οι παρτίδες μέσα στην καμπάνια προγραμματίζονται κατ' αλληλουχία. Για τον προγραμματισμό των παρτίδων, μια σημαντική παράμετρος είναι αυτή του χρόνου κύκλου παραγωγής (*cycle time*) που μετρά την χρονική απόσταση μεταξύ της έναρξης δύο διαδοχικών παρτίδων. Είναι επιθυμητό ο κύκλος χρόνου να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος ούτως ώστε η συνολική διάρκεια εκτέλεσης της καμπάνιας να είναι η μικρότερη δυνατή. Το *SchedulePro*<sup>®</sup> κάνει μια εκτίμηση του ελάχιστου κύκλου χρόνου παραγωγής με βάση τους χρόνους εκτέλεσης των διαδικασιών της συνταγής και τις διαθέσιμες συσκευές ή μηχανήματα. Όσο περισσότερες συσκευές είναι διαθέσιμες για μια καμπάνια τόσο μειώνεται ο κύκλος χρόνου αφού οι παρτίδες μπορούν να αυτονομηθούν μεταξύ τους αξιοποιώντας όλο το εύρος των διαθέσιμων συσκευών. Η χρονική έναρξη της κάθε παρτίδας στο *SchedulePro*<sup>®</sup> τοποθετείται με βάση τον εκτιμώμενο ελάχιστο κύκλο χρόνου παραγωγής. Όλες οι διαδικασίες και ενέργειες που περιλαμβάνονται στην συνταγή που αντιστοιχεί στην παρτίδα προγραμματίζονται σε σχέση με τον χρόνο έναρξης της παρτίδας και χρησιμοποιούν τους προεπιλεγμένους πόρους που είναι απαραίτητοι για την εκτέλεσή τους. Είναι πιθανόν όμως οι πόροι αυτοί να μην είναι διαθέσιμοι την αντίστοιχη χρονική περίοδο είτε γιατί χρησιμοποιούνται από κάποιες άλλες παρτίδες υψηλότερης προτεραιότητας, είτε γιατί η χρήση τους για το συγκεκριμένο διάστημα είναι απαγορευτική λόγω συντήρησης, αργίας κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις το *SchedulePro*<sup>®</sup> προσπαθεί να επιλύσει την διαφορά χρησιμοποιώντας έναν από τους κάτωθι μηχανισμούς:

- επιλογή, από την λίστα των συμβατών πόρων, εναλλακτικού πόρου που να είναι διαθέσιμος,
- χρονική μετάθεση της διαδικασίας/ενέργειας που έχει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας την ευέλικτη μετατόπιση (*flexible shift*), αν είναι διαθέσιμη
- χρονική μετάθεση όλης της παρτίδας στο πλησιέστερο χρονικό σημείο στο οποίο όλοι οι απαιτούμενοι πόροι είναι διαθέσιμοι.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, το *SchedulePro*<sup>®</sup> καταλήγει σε ένα προτεινόμενο πρόγραμμα παραγωγής για τις εισαχθείσες καμπάνιες. Να σημειωθεί

ότι το είδος των διαφορών που θα κληθεί το *SchedulePro*<sup>®</sup> να επιλύσει εξαρτάται από τις επιλογές του χρήστη. Εξ ορισμού, το *SchedulePro*<sup>®</sup> θεωρεί ως παραβιάσεις τις επικαλύψεις στην χρήση συσκευών και προσωπικού όπως και τις επικαλύψεις με 'νεκρούς χρόνους' λειτουργίας. Συμπληρωματικά, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει σαν περιορισμούς που πρέπει να τηρηθούν τα ανώτατα όρια στην χρήση εργατικού δυναμικού κατά ειδικότητα, βοηθητικών παροχών, αποθηκευτικής ικανότητας κλπ. Στην φάση του αυτόματου προγραμματισμού, το *SchedulePro*<sup>®</sup> προσπαθεί να δημιουργήσει ένα εφικτό και κατά το δυνατόν βέλτιστο πρόγραμμα παραγωγής ικανοποιώντας όλους τους αποδεκτούς περιορισμούς.

#### **Χρονικός Προγραμματισμός από τον Χρήστη (*Manual Scheduling*):**

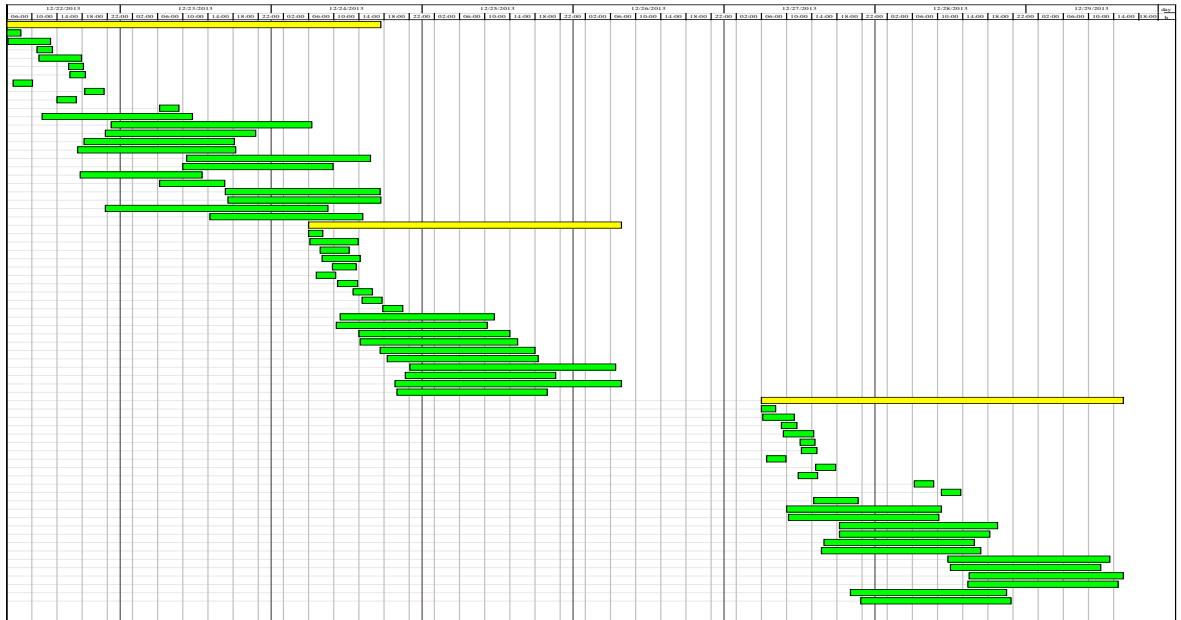
Το προτεινόμενο από το *SchedulePro*<sup>®</sup> πρόγραμμα παραγωγής είναι η βάση για την δημιουργία του τελικού προγράμματος από τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να κληθεί να επιλύσει επικαλύψεις στην χρήση των πόρων που δεν ήταν δυνατόν να επιλυθούν από τον σχεδιαστικό αλγόριθμο και να εισάγει τις δικές του προτιμήσεις στην επιλογή πόρων και την χρονική έναρξη των παρτίδων. Ακόμα πιο σημαντική μπορεί να είναι η συμβολή του στην επικαιροποίηση του προγράμματος παραγωγής καθ' όλη την διάρκεια της εξέλιξης του. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης, παρακολουθώντας την πραγματική παραγωγή στην μονάδα, μπορεί να διαπιστώσει αποκλίσεις από το σχεδιασμένο πρόγραμμα (πχ, μεγαλύτεροι χρόνοι εκτέλεσης για κάποιες διεργασίες, καθυστερήσεις στην έναρξη παρτίδων, μη διαθεσιμότητα κάποιας συσκευής λόγω μηχανικού προβλήματος), να τις εισάγει στο *SchedulePro*<sup>®</sup> και να ζητήσει την ανανέωση του μελλοντικού προγράμματος παραγωγής με βάση τα νέα δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο, ο χρήστης γίνεται ένα ενεργό μέλος στην δημιουργία ενός εφικτού και επικαιροποιημένου προγράμματος παραγωγής και όχι ένας παθητικός αποδέκτης λύσεων που παραρίχθηκαν αυτόματα από κάποιο 'έξυπνο' αλγόριθμο.

### **3.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ**

Για την καλύτερη παρακολούθηση του χρονικού προγραμματισμού, το *SchedulePro*<sup>®</sup> δίνει την δυνατότητα απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε μια σειρά

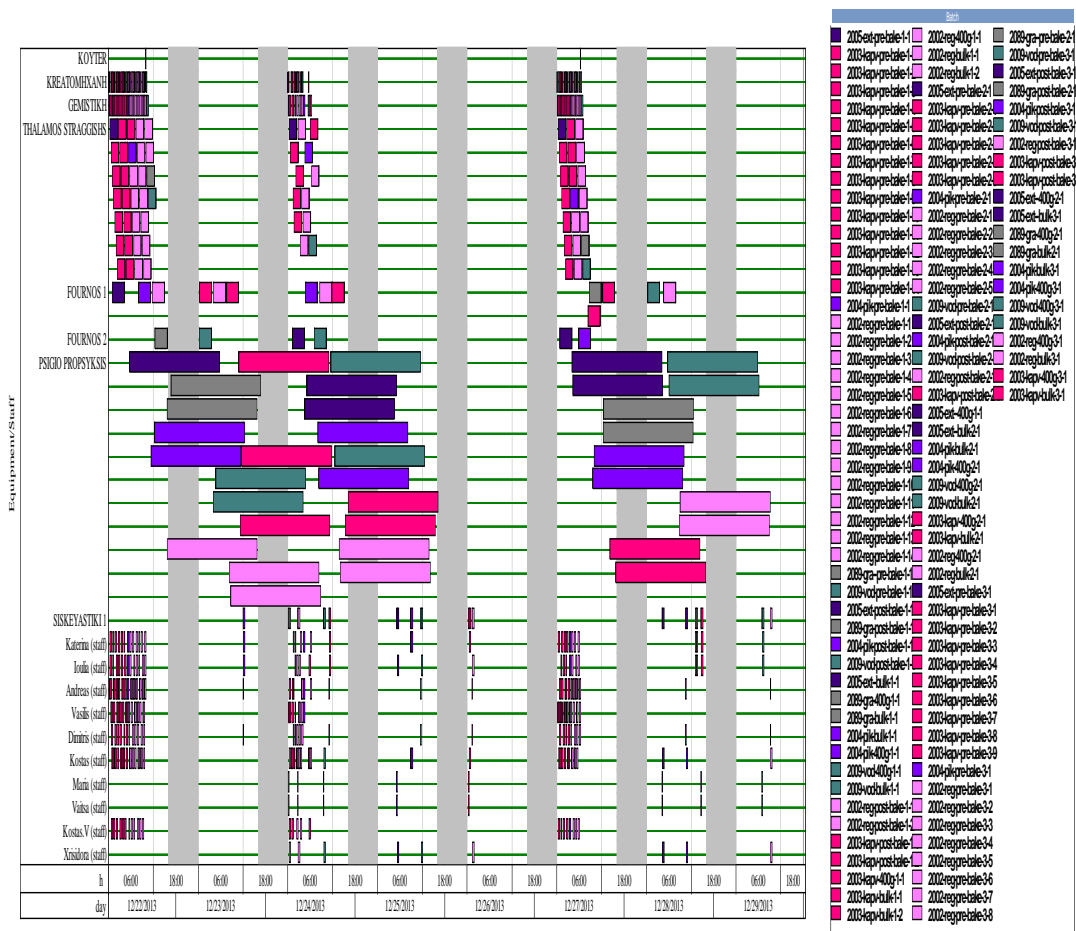
από γραφήματα. Πιο συγκεκριμένα, το SchedulePro<sup>®</sup> παρέχει τους ακόλουθους τύπους διαγραμμάτων:

- Γράφημα *Gantt* (*Operation Gantt Chart*) (βλ. Σχήμα 4) απεικονίζει γραφικά την χρονική εξέλιξη των διαδικασιών για την ολοκλήρωση της παραγωγής μιας συνταγής ή σχεδιασμένων παρτίδων



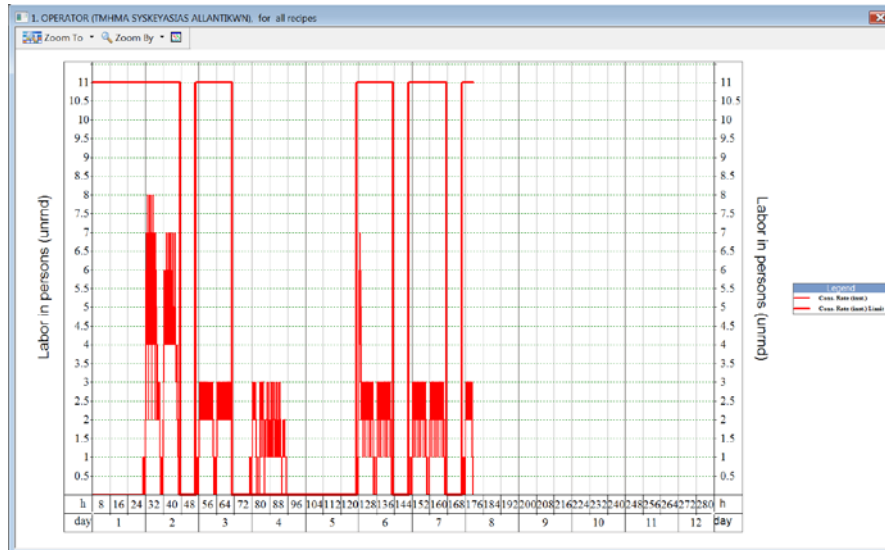
**Σχήμα 4.** Γράφημα *Gantt* από το λογισμικό πρόγραμμα SchedulePro<sup>®</sup>.

- Διάγραμμα Απασχόλησης Εξοπλισμού/ Προσωπικού (*Equipment/Staff Occurance Profile*) - εμφανίζει τις χρονικές περιόδους (βλ. Σχήμα 5) κατά τις οποίες οι συσκευές, χώροι εργασίας και το προσωπικό εκτελούν κάποιες λειτουργίες στα πλαίσια της εκτέλεσης των παρτίδων. Οποιαδήποτε παραβίαση περιορισμού (πχ, χρονική επικάλυψη λειτουργιών) σε σχέση με τους παραπάνω πόρους αυτούς θα φανεί στο διάγραμμα αυτό. Με αυτό τον τρόπο το διάγραμμα απασχόλησης εξοπλισμού/προσωπικού μπορεί να γίνει η βάση για την επίλυση προβλημάτων όπως και την διαρκή ανανέωση του πλάνου παραγωγής.



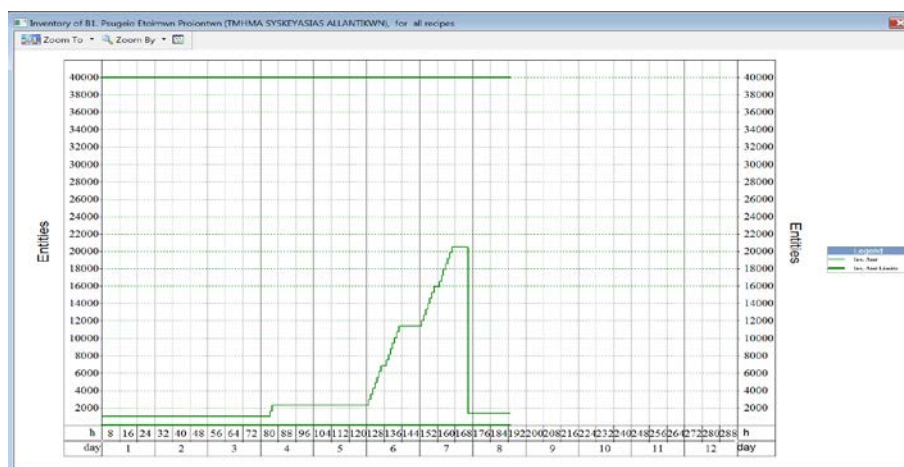
Σχήμα 5. Γράφημα Equipment/Staff Occupancy Profile.

• Διαγράμματα Κατανάλωσης Πόρων (*Resource Charts*) - στα διαγράμματα αυτά (βλ. Σχήμα 6) γίνεται καταγραφή των ποσοτήτων μη επαναχρησιμοποιούμενων πόρων που καταναλώνονται ή παράγονται σαν αποτέλεσμα της εκτέλεσης του πλάνου παραγωγής. Οι ακόλουθοι πόροι μπορούν να απεικονιστούν μέσα από αυτά τα διαγράμματα: εργατοώρες ανά ειδικότητα, βοηθητικές παροχές και ενέργεια, πρώτες ύλες, προϊόντα και απόβλητα.



Σχήμα 6. Γράφημα Resourceprofile/Labor χρησιμοποιημένοι πόροι εργατών.

- Διαγράμματα Απογραφής Αποθεματικών Πόρων (*Inventory Profiles /Inventory Charts*): μέσα από αυτά τα διαγράμματα, γίνεται η γραφική απεικόνιση του επιπέδου πληρότητας αποθηκών/δεξαμενών (*storage units*) σαν αποτέλεσμα της κατανάλωσης/παραγωγής των αντίστοιχων αποθηκευμένων πόρων (βλ. Σχήμα 7) από την παραγωγή. Τα διαγράμματα αυτά μπορούν να αποτελέσουν την βάση για να ελεγχθεί αν η ακολουθούμενη πολιτική ανεφοδιασμού των αποθηκευτικών χώρων αυτών είναι επαρκής ή χρειάζεται να αλλάξει ώστε να εγγυάται τον ομαλό εφοδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας.



Σχήμα 7. Γράφημα Inventory για τελικό προϊόν

Το *SchedulePro*<sup>®</sup> παρέχει επίσης διάφορους τύπους αναφορών (*reports*) για την υποβολή παρουσιάσεων των αποτελεσμάτων του χρονικού προγραμματισμού. Όλες οι αναφορές παράγονται σε μορφή αρχείων HTML. (Intelligen Inc., 2007)

#### 4. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη και διερεύνηση της χρησιμότητας ενός μοντέλου παραγωγικής διαδικασίας για τον ευέλικτο, αποτελεσματικό και, κατά το δυνατόν, βέλτιστο χρονικό προγραμματισμό της παραγωγής σε μονάδα UHT (υψηλής παστερίωσης). Το μοντέλο που αναπτύχθηκε αφορά την εταιρία ΑΓΝΟ Α.Ε. Η συγκεκριμένη εταιρεία παράγει μια πληθώρα γαλακτοκομικών και μη προϊόντων. Για λόγους περιορισμού της πολυπλοκότητας της ανάλυσης και με δεδομένο ότι τα διαφορετικού τύπου προϊόντα παράγονται σε διαφορετικές μέρες, κρίθηκε σκόπιμο η παρούσα μελέτη να επικεντρωθεί μόνο στα προϊόντα του χυμού.

Στα πλαίσια της εργασίας εκτελέστηκαν τα ακόλουθα στάδια ανάλυσης και μελέτης:

- Καταγράφηκε μέσω επί τόπου μετρήσεων ο κανονικός ρυθμός εκτέλεσης όλων των διαδικασιών που απαιτούνται για την παραγωγή των επιλεγμένων 8 προϊόντων χυμού.
- Μελετήθηκε και καταγράφηκε η διαδικασία που ακολουθεί η μονάδα για τον χρονικό προγραμματισμό της παραγωγής από την στιγμή λήψης των παραγγελιών μέχρι την αποθήκευση των τελικών προϊόντων.
- Αναπτύχθηκε μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας στο *SchedulePro* το οποίο περιλάμβανε καταγραφή όλων των πόρων που απαιτούνται για την παραγωγή των προϊόντων χυμού όπως και των συνταγών παραγωγής που ακολουθούνται για καθένα από τα 8 προϊόντα.
- Αξιολογήθηκε το μοντέλο παραγωγής με βάση τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα της μονάδας για μια βδομάδα παραγωγής.
- Εκτιμήθηκε η χρησιμότητα του μοντέλου με την μελέτη υποθετικών σεναρίων παραγωγής.

Δεδομένου ότι ο χρόνος παραγωγής στην υπό μελέτη μονάδα συχνά υπερβαίνει τον προκαθορισμένο χρόνο λειτουργίας σε ημερήσια βάση, ιδιαίτερη έμφαση στην εργασία δόθηκε στην εύρεση τεχνικών για την ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής με σκοπό την, κατά το δυνατόν, αποφυγή υπερωριών.

## **5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **5.1. ΥΛΙΚΑ/ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

- Ηλεκτρονικό χρονόμετρο για την καταμέτρηση του πρότυπου χρόνου εργασίας σε υπολογιστικά φύλλα μελέτης εργασίας της εταιρίας.
- Ηλεκτρονικός Υπολογιστής, HP Pavilion Win8 PC, εγκατεστημένο λειτουργικό σύστημα: Windows8, με επεξεργαστή: AMD A6-5200 APU with Radeon™ Graphics 2.00 GHz, για την λειτουργία του λογισμικού συστήματος Schedule Pro® Version 6 και την εισαγωγή των δεδομένων για την δημιουργία του μοντέλου.

### **5.2. ΤΡΟΠΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ**

Η εταιρεία ΑΓΝΟ Βιομηχανία Γάλακτος Α.Ε., στην οποία έγινε η μελέτη, εδρεύει στο 14<sup>ο</sup> χλμ. Θεσσαλονίκης – Λαγκαδά και έχει ως κυρίαρχο στόχο της την παραγωγή και την προώθηση προϊόντων υψηλής ποιότητας. Οι έλεγχοι στην ΑΓΝΟ είναι συστηματικοί και λαμβάνουν χώρα σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, από την συλλογή της πρώτης ύλης από τους παραγωγούς έως το τελικό προϊόν. Το τμήμα της Ζώνης Γάλακτος της ΑΓΝΟ είναι πάντα δίπλα στους παραγωγούς της και παρέχει συμβουλές σε θέματα που αφορούν τη διατροφή και την υγεία των ζώων.

Η εφαρμογή πιστοποιημένου ολοκληρωμένου συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας διασφαλίζει την άριστη ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Συγκεκριμένα, η ΑΓΝΟ έχει αναπτύξει και εφαρμόζει:

1. Σύστημα Διαχείρισης Ασφάλειας Τροφίμων, σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 22000
2. Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας, σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 9001

### 3. Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης, σύμφωνα με το Διεθνές Πρότυπο ISO 14001:2004

Οι φυσικοχημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις γίνονται στο εργαστήριο αυτοελέγχου της εταιρίας (εγκεκριμένο από το Υπουργείο Γεωργίας) και σε εξωτερικά διαπιστευμένα εργαστήρια και αφορούν όλα τα προϊόντα που παράγονται ή διανέμονται από την ΑΓΝΟ.

Η μονάδα UHT της εταιρείας ανήκει στη κατηγορία των συστημάτων παραγωγής κατά παραγγελία. Για τον προγραμματισμό της παραγωγής χυμών της μονάδας UHT, έχουν καθοριστεί συγκεκριμένες ημέρες της εβδομάδας για την λήψη μιας συνολικής παραγγελίας. Οι παραγγελίες, λαμβάνονται κάθε Δευτέρα και Τετάρτη και έχουν χρόνο παράδοσης 3 ημερών. Η λαμβανόμενη παραγγελία καταγράφεται από τον υπεύθυνο προγραμματισμού παραγωγής της εταιρίας και γίνονται οι απαραίτητοι σχεδιασμοί για την εκτέλεσή της. Για την παραγωγή των χυμών διατίθενται δύο μέρες της εβδομάδας ανεξάρτητα από το ύψος των παραγγελιών. Ως αποτέλεσμα, είναι συχνό φαινόμενο η μονάδα να χρειάζεται να λειτουργήσει πολλές ώρες πέραν του προβλεπόμενου ωραρίου λειτουργίας.

Η μονάδα δεν διαθέτει κάποιο λογισμικό σύστημα ώστε να σχεδιάζεται η παραγωγή και έτσι ο προγραμματισμός της παραγωγής γίνεται χειρονακτικά από τον υπεύθυνο προγραμματισμού. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των παραγγελιών είναι ο καθορισμός των ποσοτήτων ανά προϊόν σε πρώτη ύλη και τελική. Η ύπαρξη ενός λεπτομερούς μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας θα μπορούσε να υποβοηθήσει πρώτον στην αξιολόγηση του κατά πόσον είναι εφικτό το πρόγραμμα παραγωγής που υπολογίζεται από τον υπεύθυνο παραγωγής και κατά δεύτερον, στον βέλτιστο καταμερισμό των εντολών παραγωγής ανά ημέρα. Σε αυτά τα πλαίσια αποφασίστηκε η καταγραφή του μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας στο *SchedulePro*<sup>®</sup> ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της παραγωγικής δυναμικότητας της μονάδας, και η ανάπτυξη ημερησίων προγραμμάτων παραγωγής με βάση τις παραγγελίες ανά προϊόν όπως υπολογίζονται από τον υπεύθυνο προγραμματισμού της παραγωγής.

Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου έγιναν οι λογικές παραδοχές ότι καθημερινά υπάρχουν επαρκείς ποσότητες απιονισμένου νερού, ζαχαροδιαλύματος



και γενικά πρώτων υλών για κάθε παρτίδα. Με βάση τα παραπάνω έγινε η ανάλυση και καταγραφή των διεργασιών για τα 8 προϊόντα χυμού στο λογισμικό σύστημα *SchedulePro*<sup>®</sup>. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται τα βήματα ανάπτυξης του μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας.

### 5.3. ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Τα προϊόντα στα οποία εστιάζεται η μελέτη και των οποίων η συνταγή παραγωγής εισήχθηκε στο *SchedulePro*<sup>®</sup> είναι τα εξής:

1. Φρουτοποτό βύσσινο σε συσκευασία 250ml και 1lt
2. Φρουτοποτό λεμόνι σε συσκευασία 1lt
3. Φρουτοποτό ροδάκινο σε συσκευασία 250ml και 1lt
4. Νέκταρ 3 φρούτα (ροδάκινο-μήλο-πορτοκάλι) σε συσκευασία 250ml και 1lt
5. Νέκταρ πορτοκάλι σε συσκευασία 250ml και 1lt
6. Φυσικός χυμός ανανά σε συσκευασία 250ml και 1lt
7. Φυσικός χυμός μήλο σε συσκευασία 250ml και 1lt
8. Φυσικός χυμός πορτοκάλι σε συσκευασία 250ml και 1lt

Η γενική συνταγή παρασκευής των προϊόντων αυτών διαφοροποιείται ελαφρά από προϊόν σε προϊόν. Οι διαφοροποιήσεις αυτές επηρεάζουν ελάχιστα έως καθόλου τους χρόνους παρασκευής τους. Οι κύριες διαφορές των συνταγών όμως αφορούν στις πρώτες ύλες (συμπυκνώματα φρούτων, ζαχαροδιάλυμα) όπως αναφέρονται σε παρακάτω κεφάλαιο.

### 5.4. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ (Equipment/Storage/Staff)

Ένας σημαντικός και συνήθης περιορισμός των συστημάτων σχεδιασμού χρονικού προγραμματισμού είναι η επάρκεια του μηχανολογικού εξοπλισμού, των αποθηκευτικών χώρων και του εργατικού δυναμικού. Είναι επομένως απαραίτητη η καταγραφή και ανάλυση διαθεσιμότητας όλων των σχετικών πόρων της μονάδας.

Το υπό μελέτη τμήμα UHT του εργοστασίου λειτουργεί από τις 6:00 το πρωί έως τις 10:00 το βράδυ από Δευτέρα έως Παρασκευή, ενώ το Σαββατοκύριακο παραμένει κλειστό εκτός από περιόδους έντονης παραγωγικότητας. Από τις πέντε

ημέρες λειτουργίας του τμήματος UHT οι χυμοί παράγονται την Τρίτη και την Πέμπτη. Τις άλλες τρεις ημέρες λειτουργίας του τμήματος παράγονται σε αυτό γαλακτοκομικά προϊόντα υψηλής παστερίωσης.

Το εργοστάσιο διαθέτει μόνο για την γραμμή παραγωγής χυμών τον εξής κύριο εξοπλισμό:

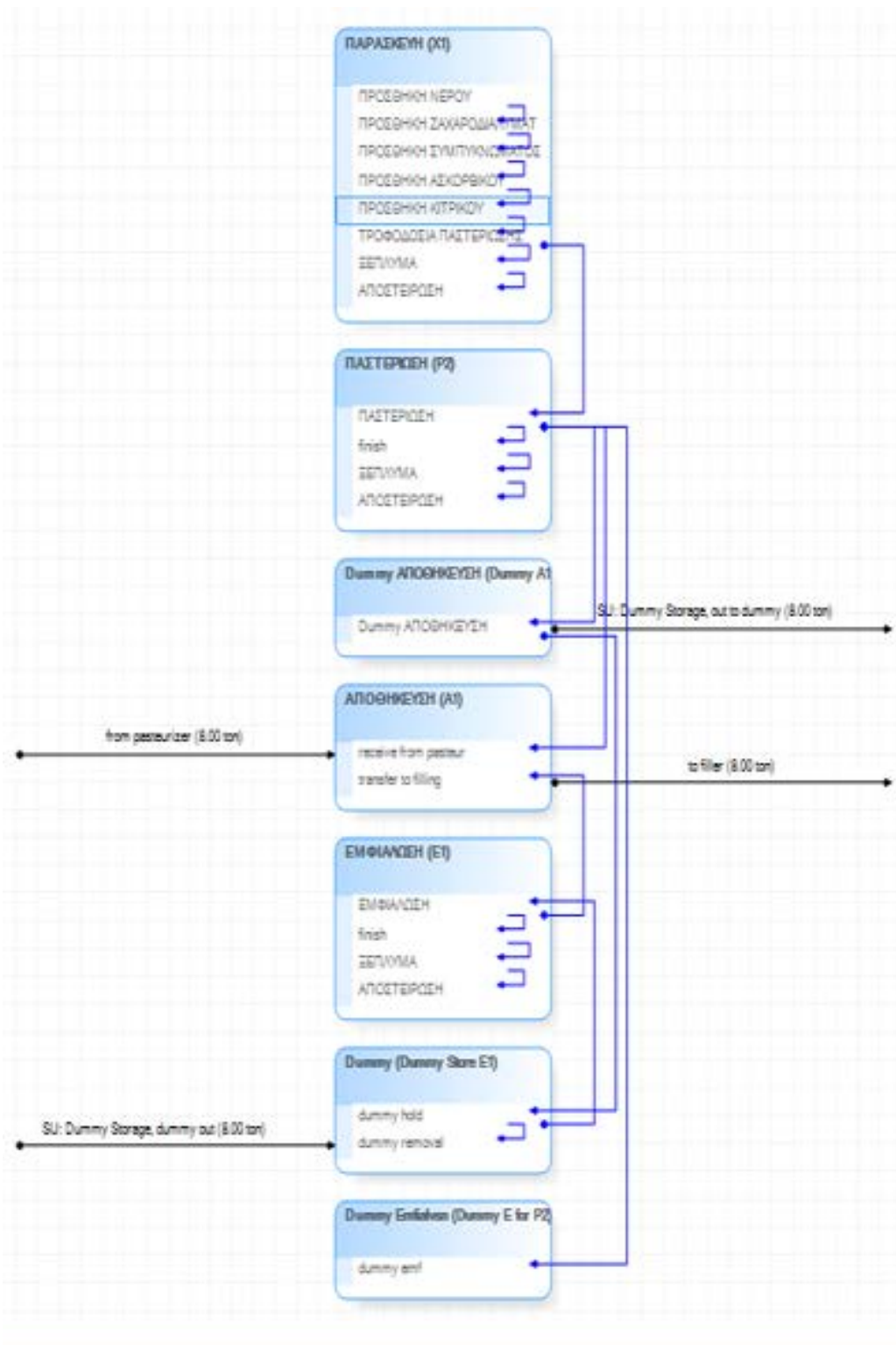
- Τρεις δεξαμενές παρασκευής και ανάδευσης χυμών
- Δυο μηχανές παστερίωσης χυμών
- Μια ασηπτική δεξαμενή
- Τρεις εμφιαλωτικές μηχανές.

### 5.5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΤΑΓΩΝ (RECIPES)

Στο *SchedulePro*<sup>®</sup>, κύρια ενέργεια για την ανάπτυξη του μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας είναι η καταγραφή των συνταγών. Η καταγραφή της κάθε συνταγής έγινε με την παρατήρηση των διεργασιών και των χρόνων που απαιτούνται για το κάθε ένα από τα προϊόντα χυμού. Λήφθησαν υπόψη, οι πραγματικές δυναμικότητες των συσκευών. Οι διεργασίες που αφορούν την παραγωγή κάθε χυμού είναι η παρασκευή, παστερίωση και εμφιάλωσή του. Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή των συνταγών και του μοντέλου όπως εισήχθησαν στο *SchedulePro*<sup>®</sup>.

#### • Φρουτοποτό βύσσινο μέγεθος παρτίδας 8tn.

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φρουτοποτού βύσσινου απεικονίζεται στο Σχήμα 8.

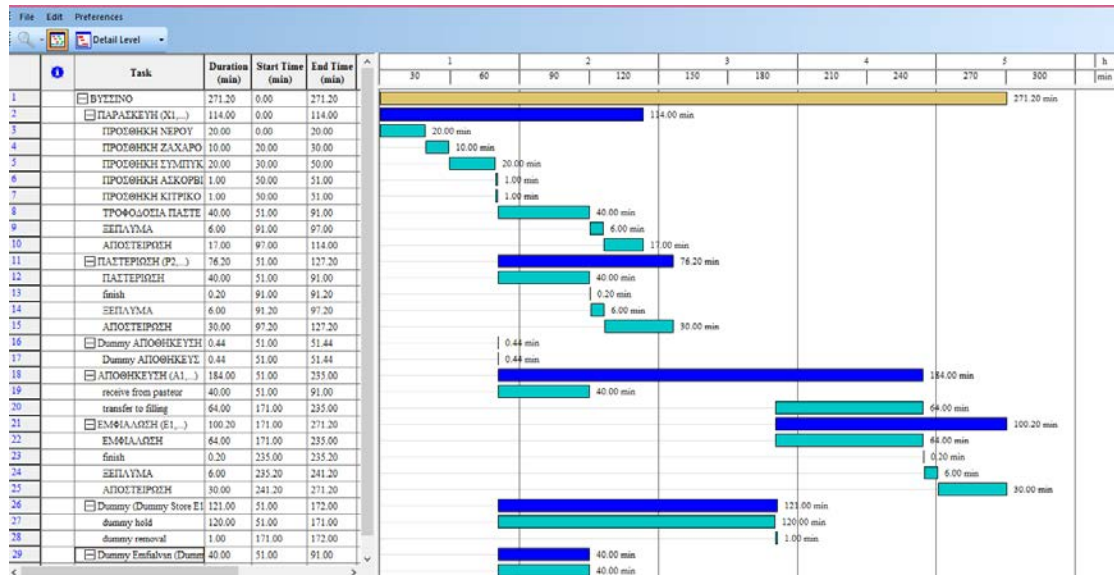


**Σχήμα 8.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού βύσσινου.

Με την εισαγωγή των χρόνων διεκπεραίωσης των ενεργειών κάθε διεργασίας, το *SchedulePro*<sup>®</sup>, δημιουργεί ένα γράφημα *Gantt*. Έτσι απεικονίζεται στο γράφημα

(με προσαρμοσμένο τύπο γραφήματος συσσωρευμένων ράβδων και πίνακα με την ανάλυση των χρόνων σε κάθε διεργασία) η απεικόνιση των ενεργειών, η διάρκεια και η σειρά των εργασιών.

Στο Σχήμα 9 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φρουτοποτού βύσσινου.



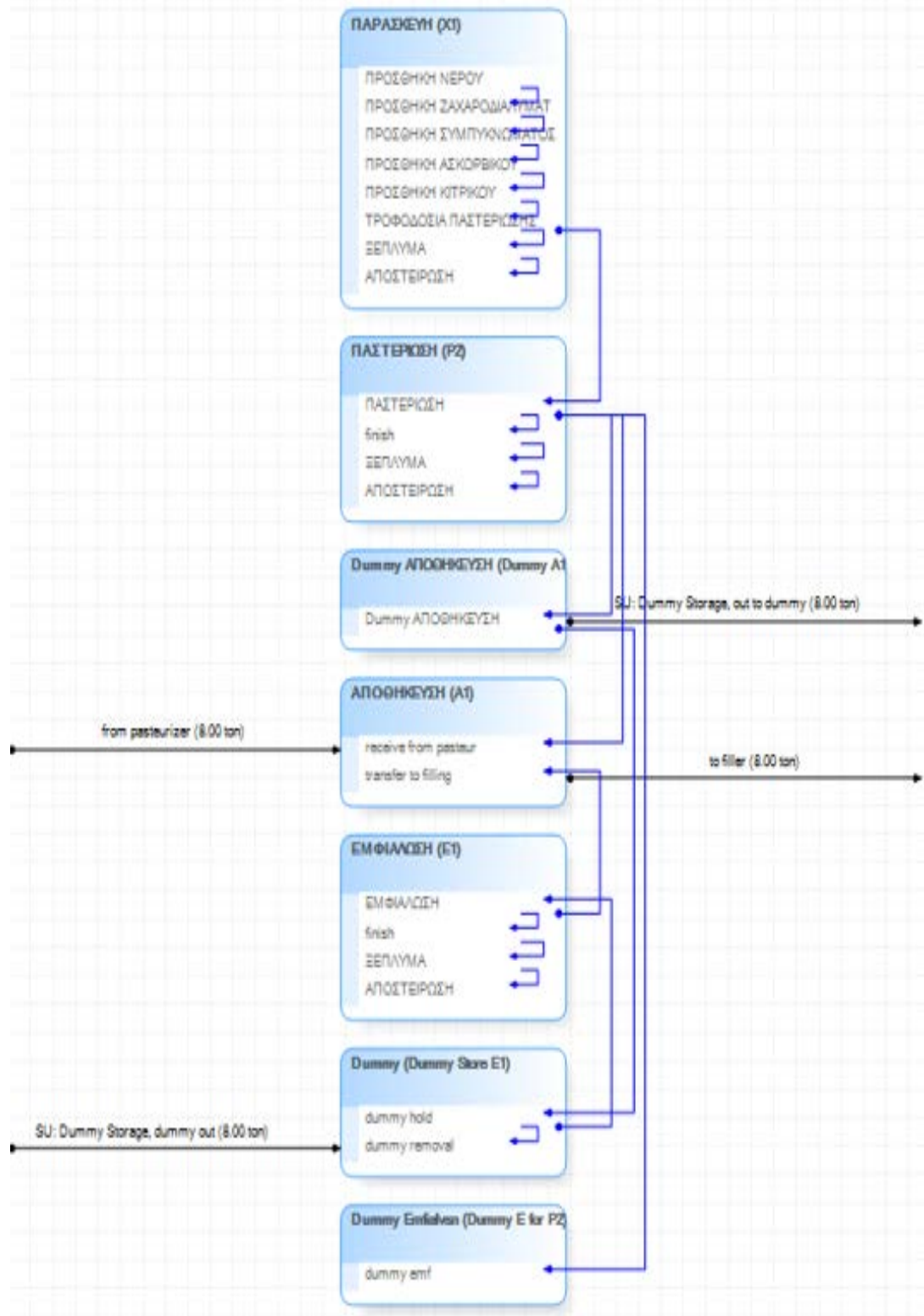
Σχήμα 9. Γράφημα *Gantt* φρουτοποτού βύσσινου.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 1,08 h.

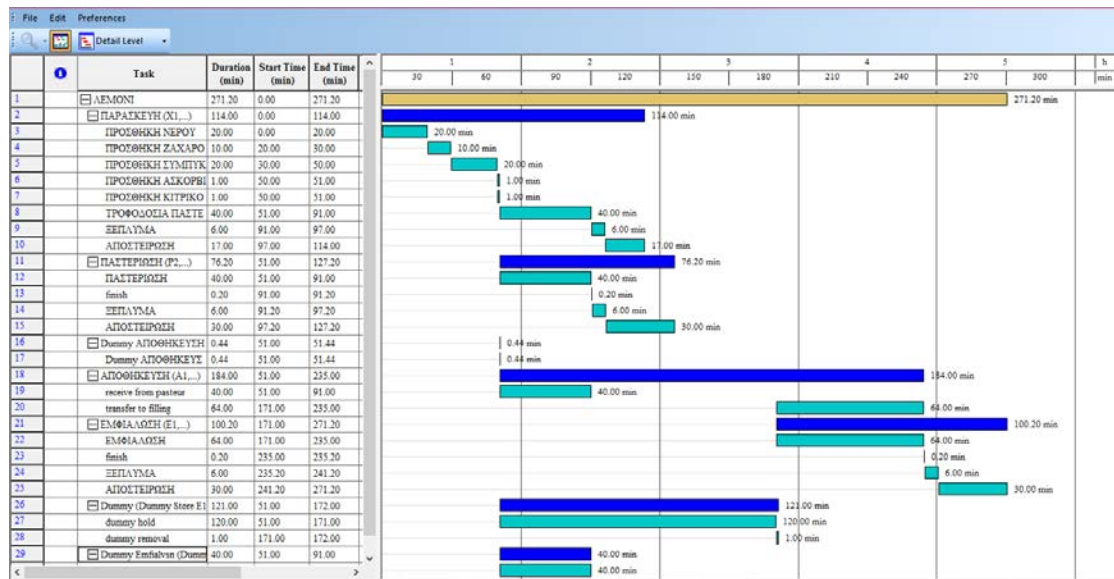
- **Φρουτοποτό λεμόνι** μέγεθος παρτίδας 8tn.

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φρουτοποτού λεμονιού απεικονίζεται στο Σχήμα 10.



**Σχήμα 10.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού λεμονιού.

Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φρουτοποτού λεμονιού.



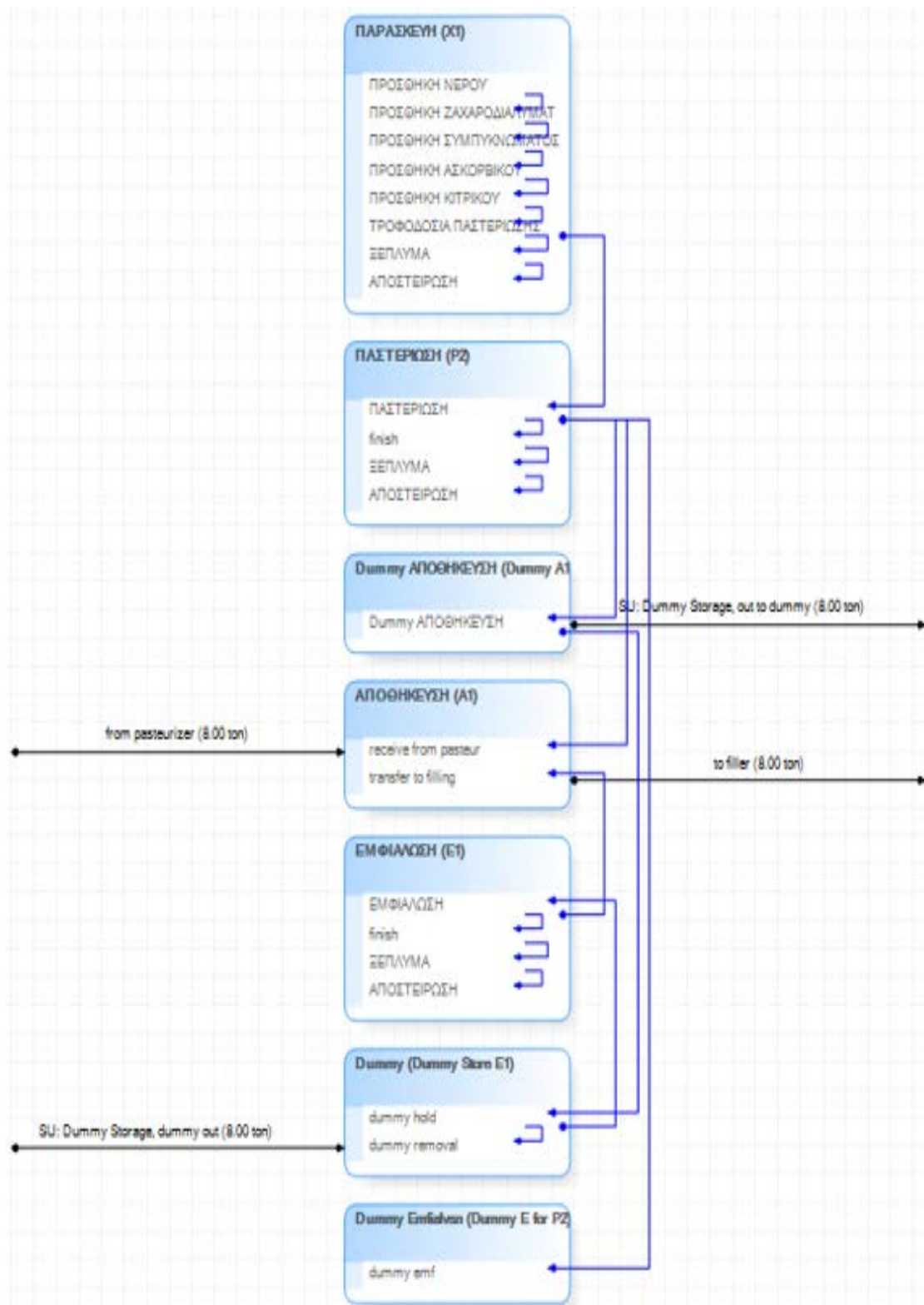
**Σχήμα 11.** Γράφημα Gantt φρουτοποτού λεμονιού.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 1,08 h.

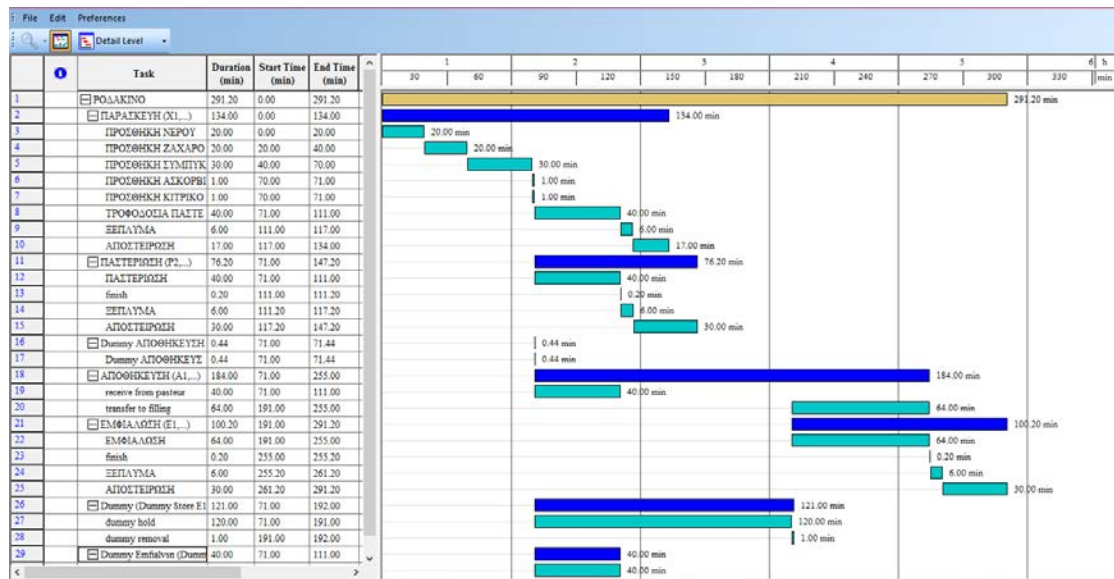
- **Φρουτοποτό ροδάκινο μέγεθος παρτίδας 8tn.**

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φρουτοποτού ροδάκινου απεικονίζεται στο Σχήμα 12.



**Σχήμα 12.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φρουτοποτού ροδάκινου.

Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φρουτοποτού ροδάκινου.



Σχήμα 13. Γράφημα Gantt φρουτοποτού ροδάκινου.

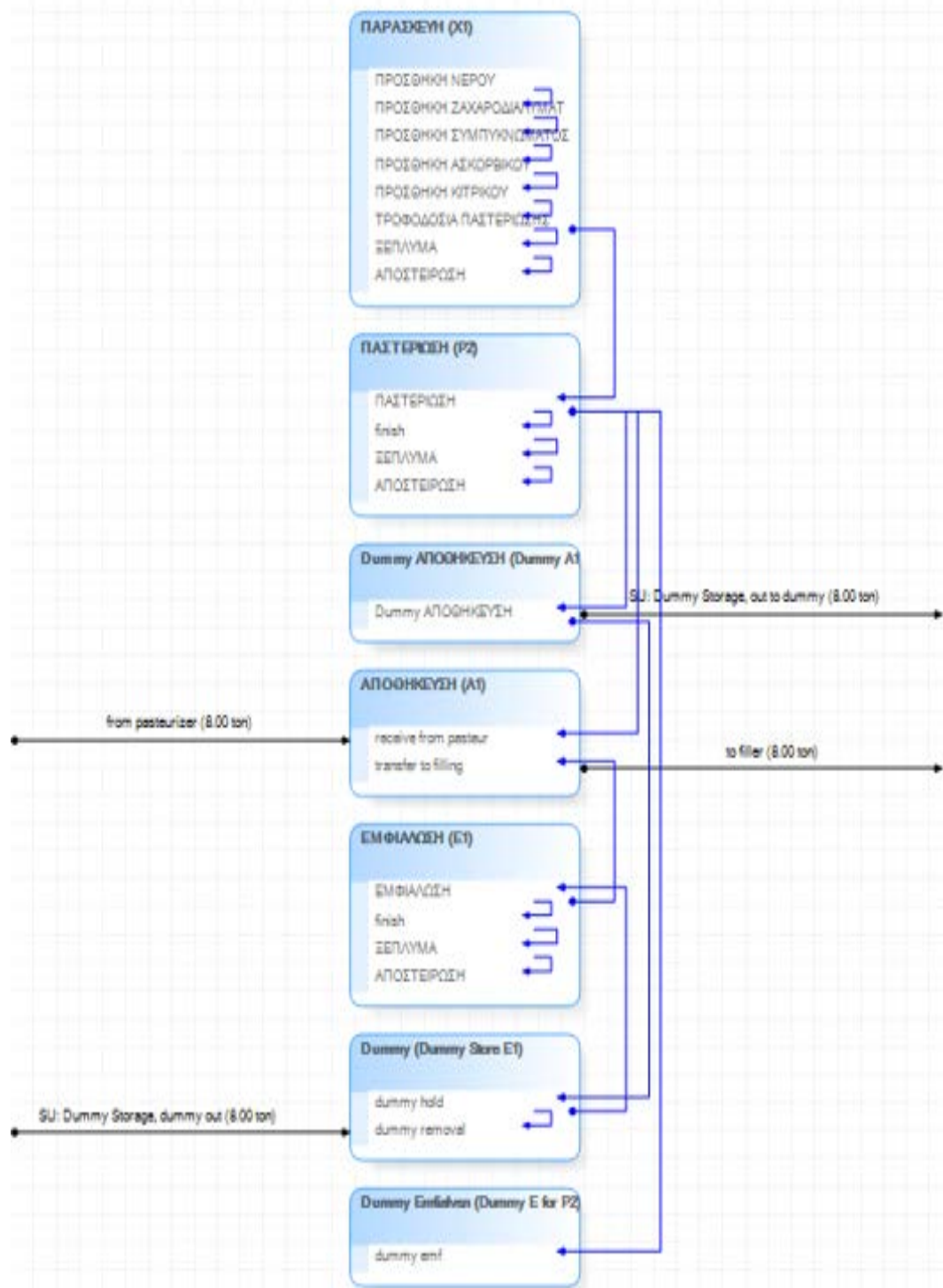
Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 0,91 h.

- **Νέκταρ πορτοκάλι** μέγεθος παρτίδας 8tn.

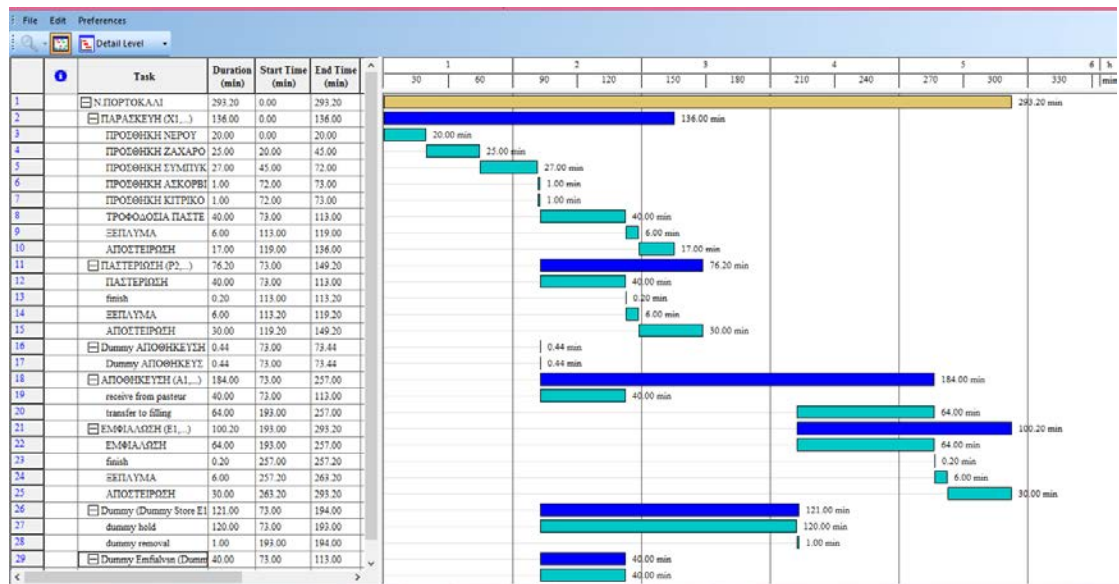
Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή χυμού νέκταρ πορτοκάλι απεικονίζεται στο Σχήμα 14.





**Σχήμα 14.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής χυμού νέκταρ πορτοκάλι.

Στο Σχήμα 15 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα χυμού νέκταρ πορτοκάλι.



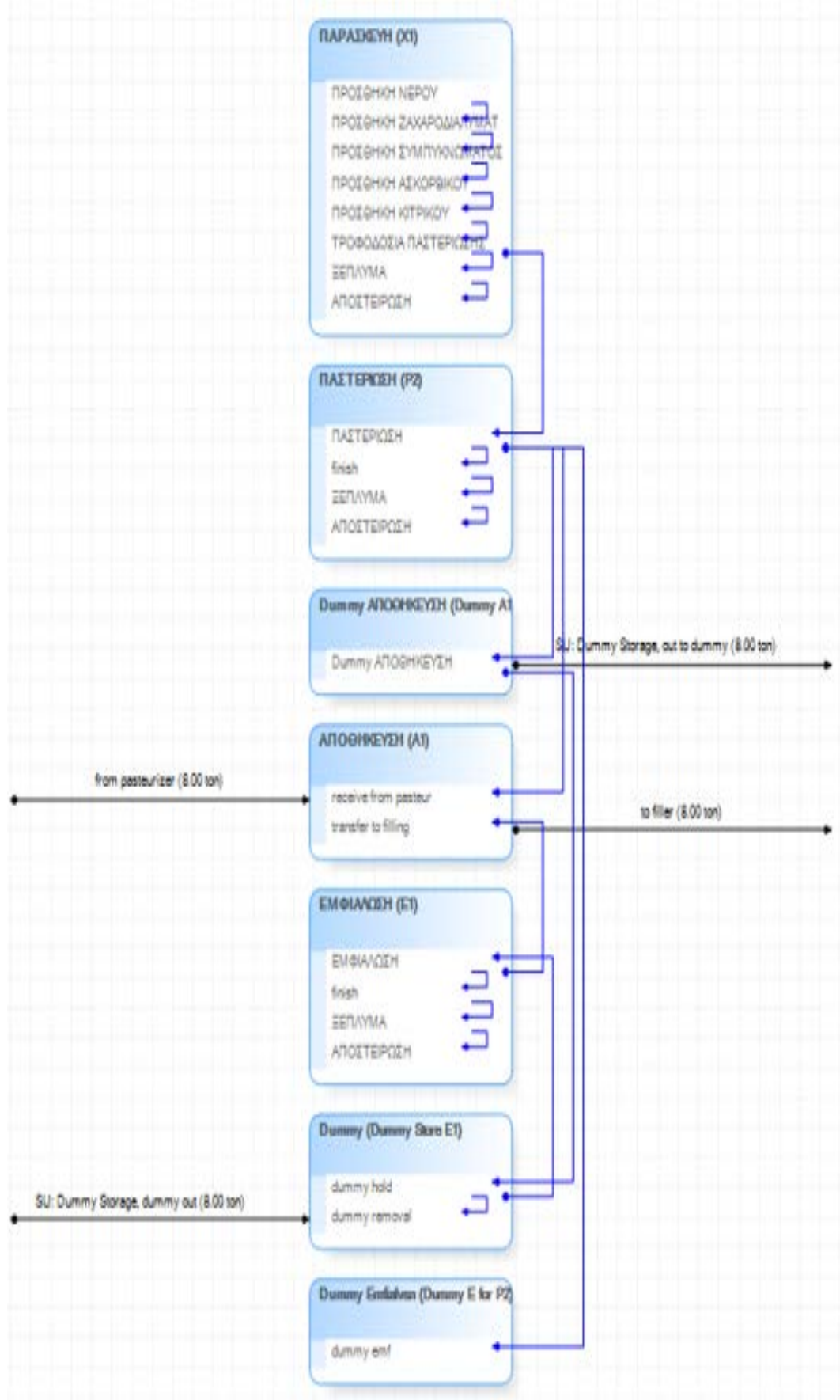
Σχήμα 15. Γράφημα Gantt χυμού νέκταρ πορτοκάλι.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 0,89 h.

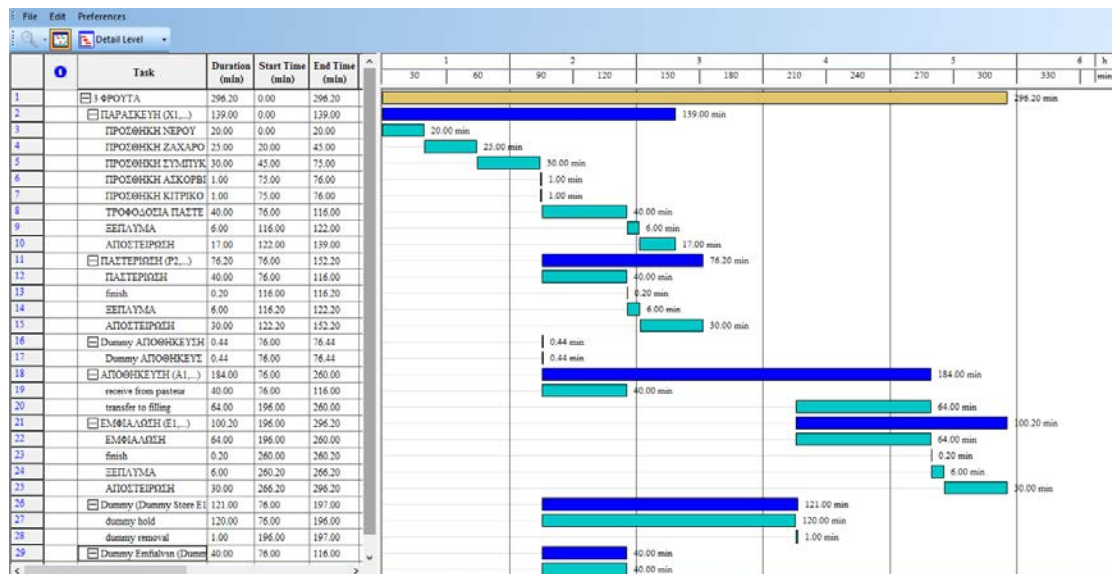
- **Νέκταρ 3 φρούτων** μέγεθος παρτίδας 8tn.

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή χυμού νέκταρ 3 φρούτων απεικονίζεται στο Σχήμα 16.



**Σχήμα 16.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής χυμού νέκταρ 3 φρούτων.

Στο Σχήμα 17 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα χυμού νέκταρ 3 φρούτων.



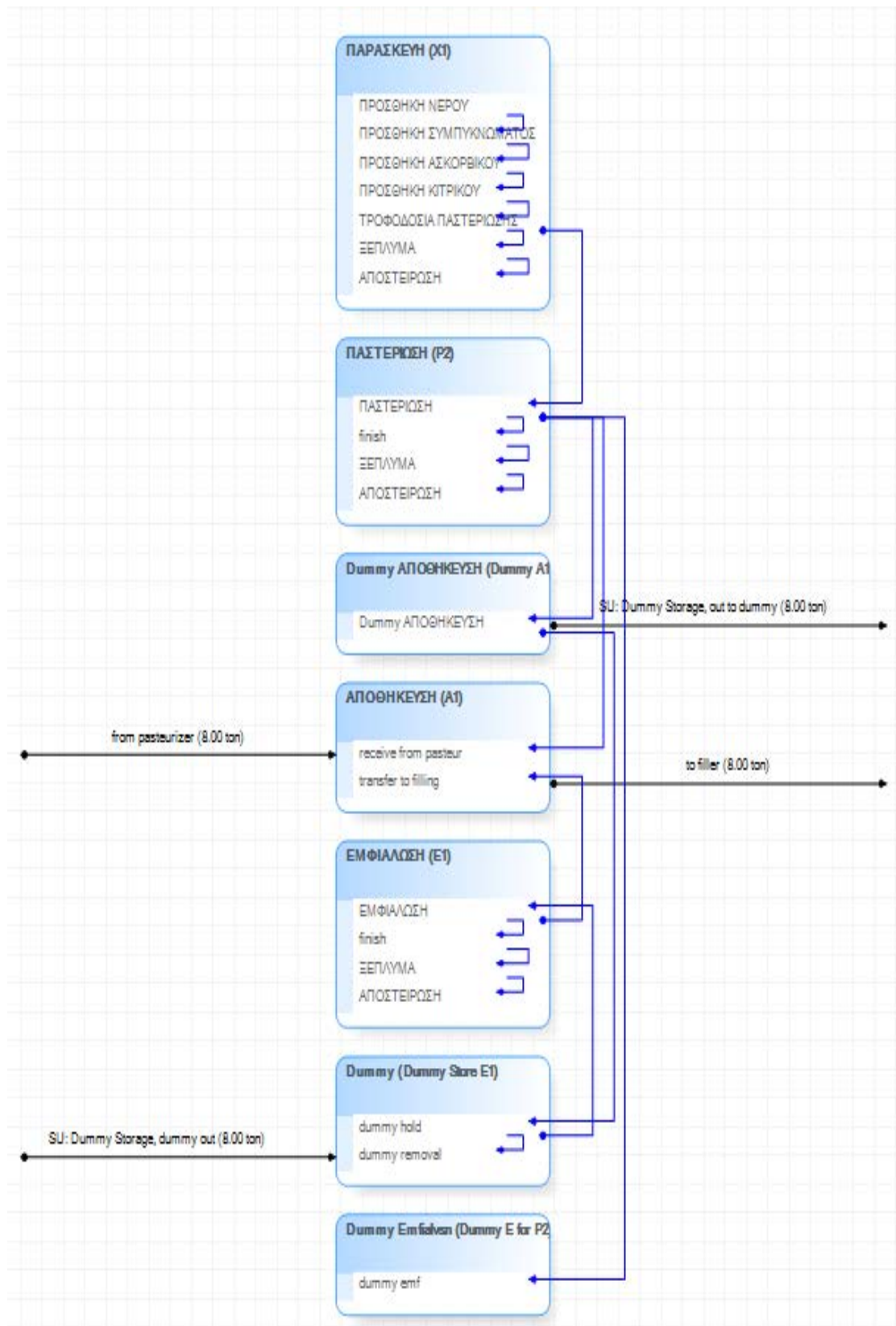
Σχήμα 17. Γράφημα *Gantt* χυμού νέκταρ 3 φρούτων.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 0,87 h.

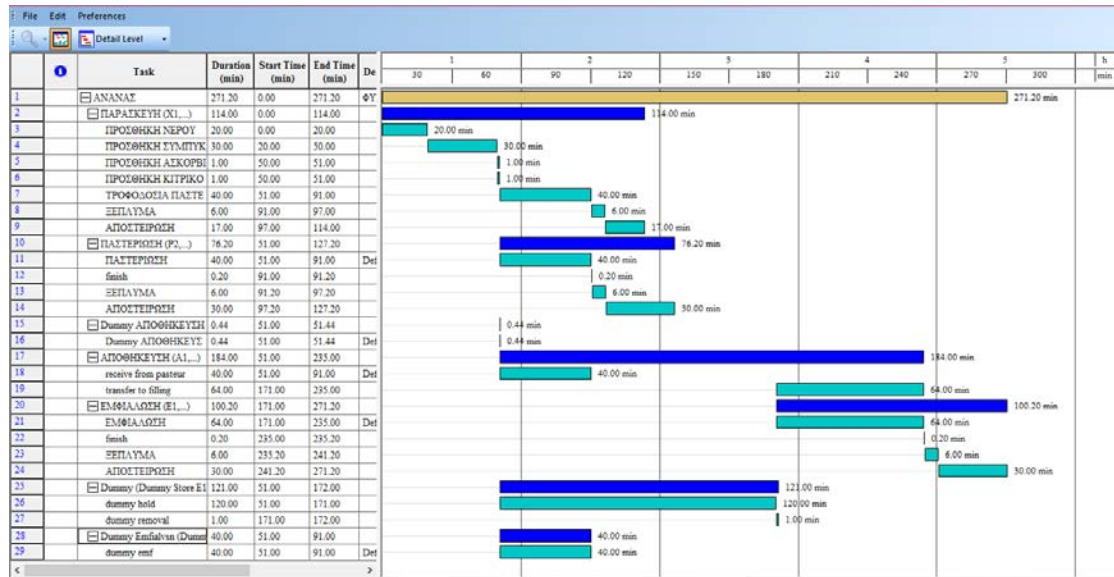
- Φυσικός χυμός ανατά μέγεθος παρτίδας 8tn.

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φυσικού χυμού ανατά απεικονίζεται στο Σχήμα 18.



**Σχήμα 18.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού ανανά.

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φυσικού χυμού ανανά.



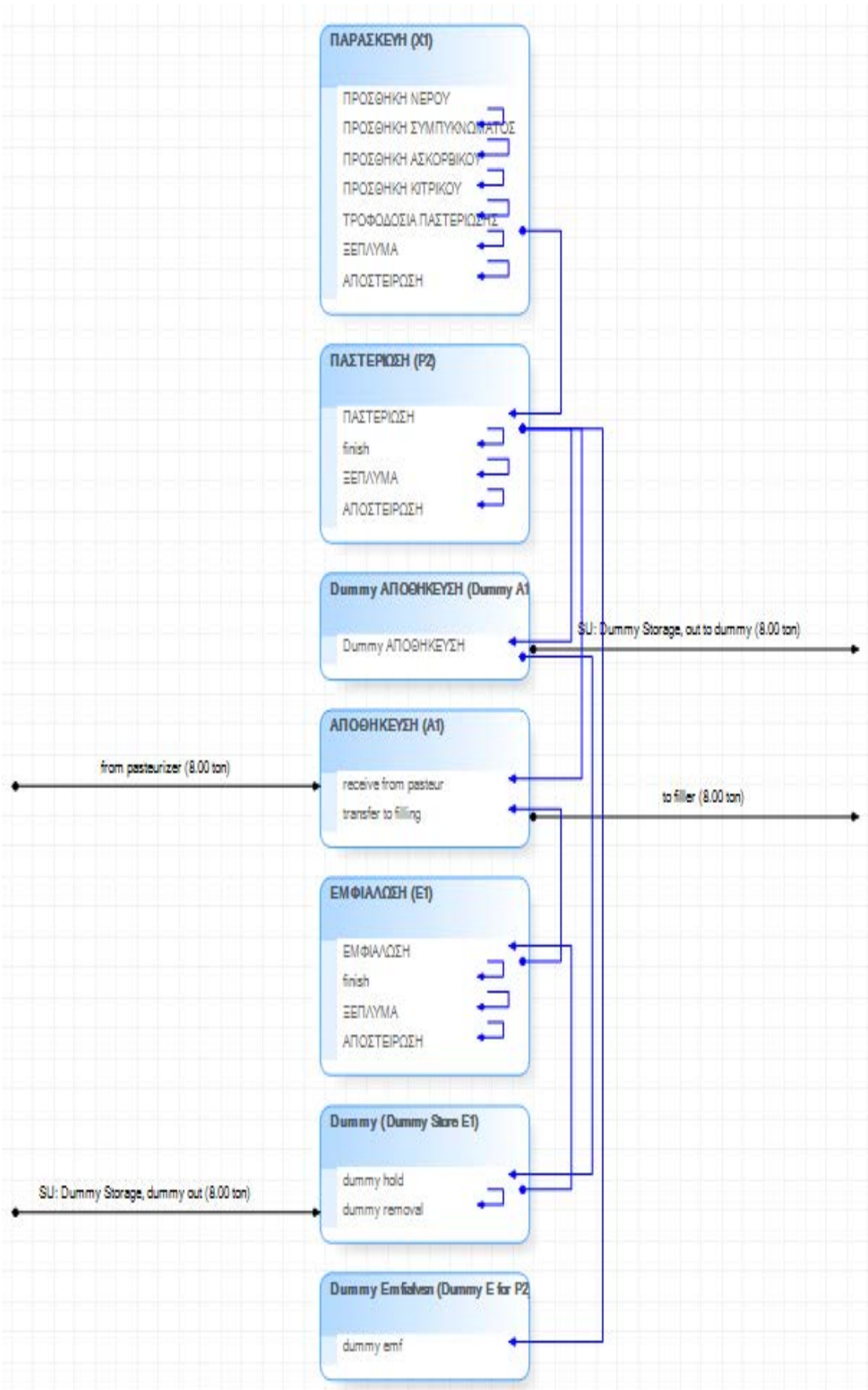
Σχήμα 19. Γράφημα *Gantt* φυσικού χυμού ανανά.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 1,08 h.

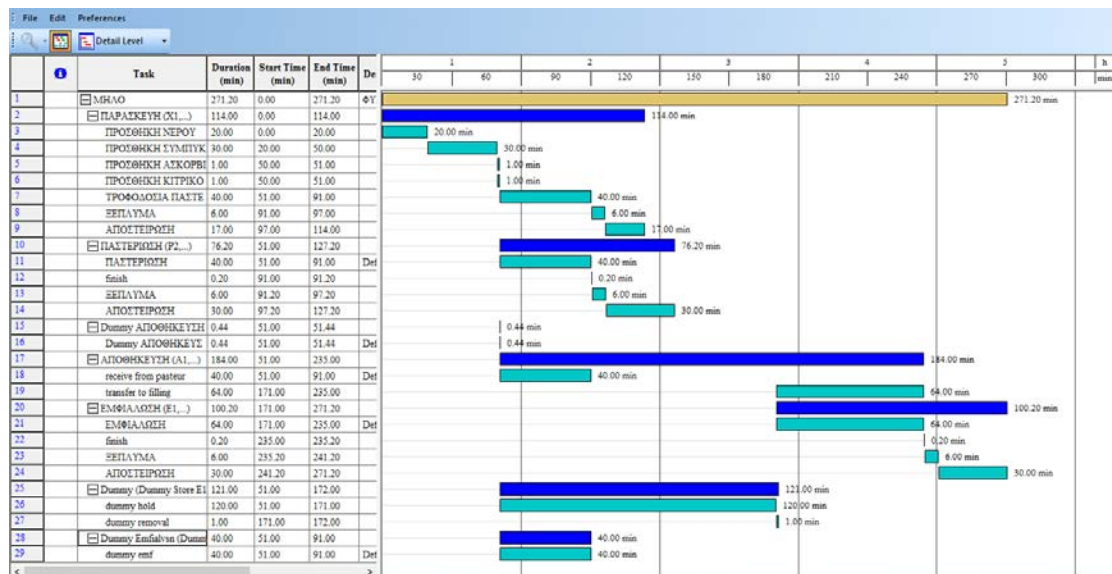
- **Φυσικός χυμός μήλο** μέγεθος παρτίδας 8tn.

Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φυσικού χυμού μήλου απεικονίζεται στο Σχήμα 20.



Σχήμα 20. Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού μήλου.

Στο Σχήμα 21 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φυσικού χυμού μήλου.



Σχήμα 21. Γράφημα *Gantt* φυσικού χυμού μήλου.

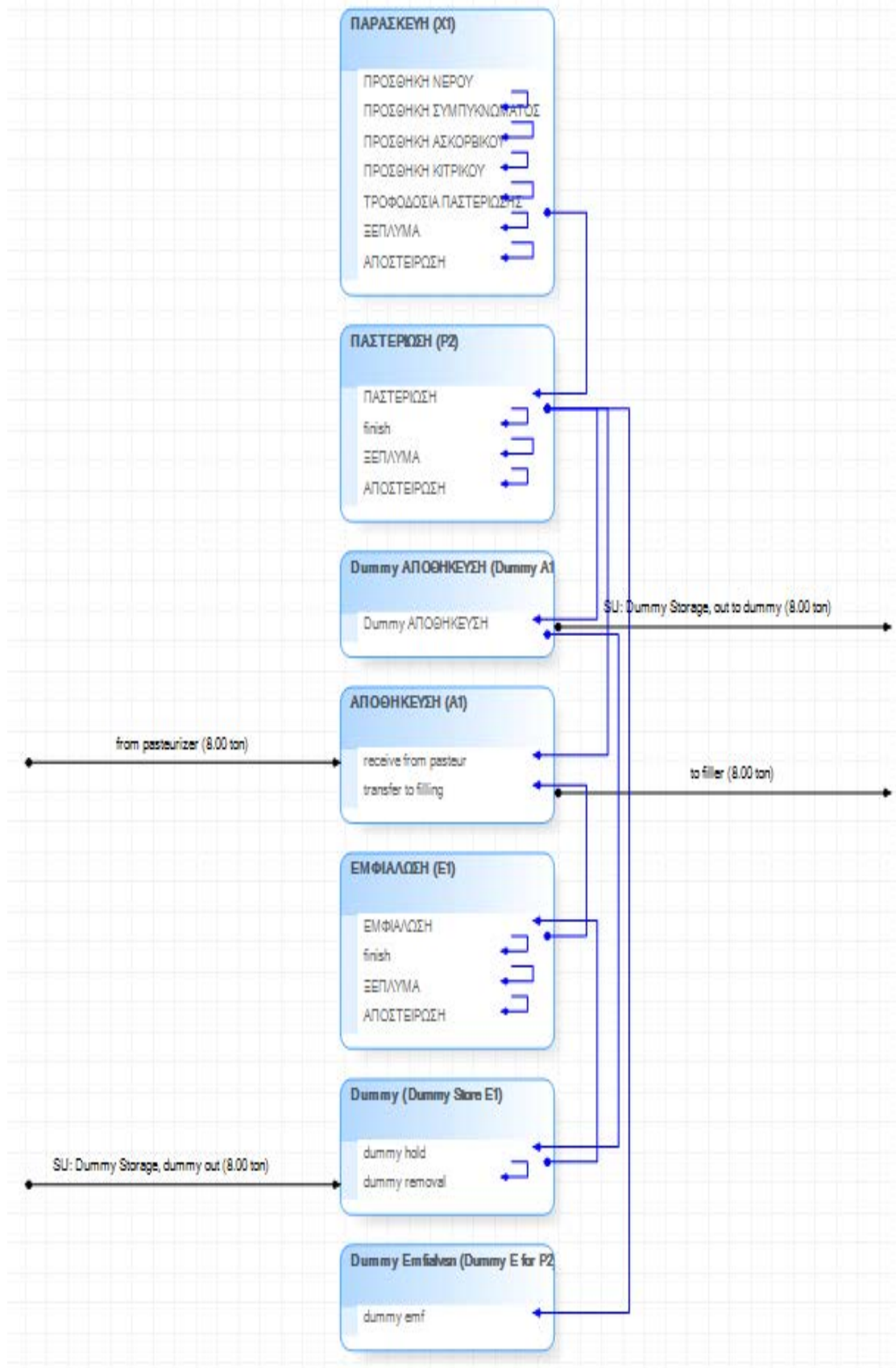
Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 1,08 h.

- **Φυσικός χυμός πορτοκάλι** μέγεθος παρτίδας 8tn.

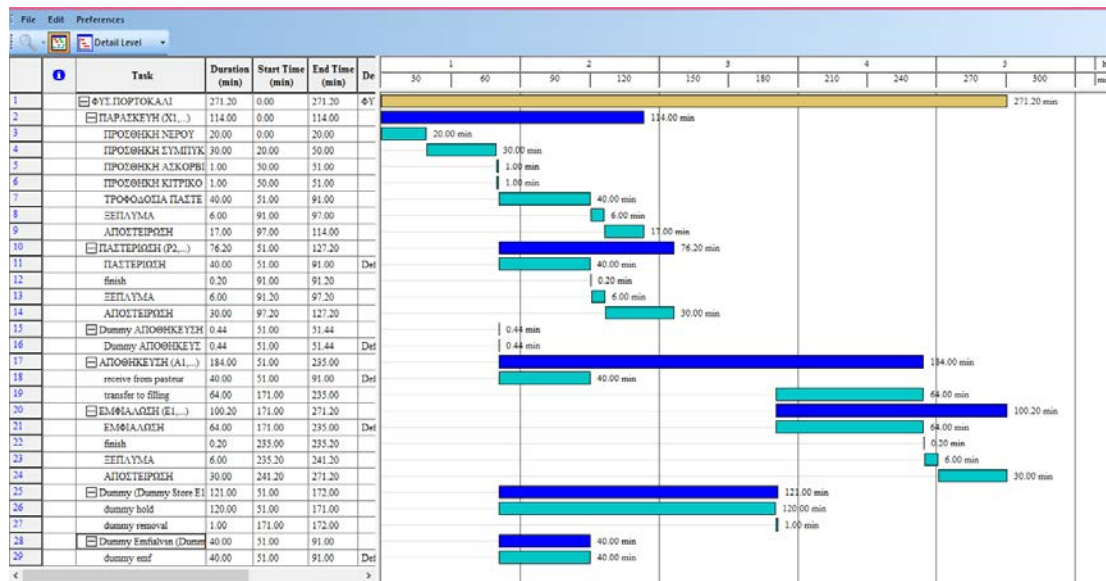
Η σειρά των διεργασιών, των ενεργειών, της χρονικής διάρκειας καθώς και του κύριου εξοπλισμού για την παραγωγή φυσικού χυμού πορτοκαλιού απεικονίζεται στο Σχήμα 22.





**Σχήμα 22.** Διάγραμμα σταδίων παραγωγής φυσικού χυμού πορτοκαλιού.

Στο Σχήμα 23 απεικονίζεται το γράφημα *Gantt* για μία παρτίδα φυσικού χυμού πορτοκαλιού.



Σχήμα 23. Γράφημα *Gantt* φυσικού χυμού πορτοκαλιού.

Ο υπολογιζόμενος χρόνος (*Estimated Batch Time*), από το σύστημα, για την ολοκλήρωση της παρτίδας είναι 3,61 h.

Ο χρόνος κύκλου για την έναρξη της επόμενης παρτίδας, (*Estimated Cycle Time*) είναι 1,08 h.

Από τις παραπάνω 8 συνταγές προκύπτουν οι 15 διαφορετικοί κωδικοί προϊόντων (SKU: Stock Keeping Unit) της μονάδας οι οποίοι διαφοροποιούνται με βάση το προϊόν (χυμό) και το μέγεθος της συσκευασίας (1L ή 250mL). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει διαφοροποίηση στους πόρους που χρησιμοποιούνται στην εκτέλεση των συνταγών ανάλογα με το προς παραγωγή προϊόν. Συγκεκριμένα υπάρχει ειδίκευση των εμφιαλωτικών ως προς το μέγεθος συσκευασίας (η E<sub>1</sub> και E<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται μόνο για 1L και η E<sub>3</sub> μόνο για 250mL). Επιπλέον, οι παστεριωτήρες έχουν διαφορετική λειτουργία και δεσμεύουν με διαφορετικό τρόπο τις υπόλοιπες συσκευές δεδομένου ότι μόνο ο P<sub>2</sub> διαθέτει ασηπτική δεξαμενή η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει αυτόνομα τις εμφιαλωτικές. Τέλος, οι δεξαμενές προετοιμασίας έχουν διαφορετική χωρητικότητα και μπορούν να εξυπηρετήσουν διαφορετικά μεγέθη παραγγελιών. Επομένως, παρά την ομοιότητα των συνταγών, η εκτέλεση των παρτίδων και οι χρόνοι δέσμευσης των συσκευών

διαφοροποιούνται σημαντικά στην πράξη ανάλογα με το προϊόν, το μέγεθος της παρτίδας και την επιλογή των χρησιμοποιούμενων πόρων.

## 6.ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΜΩΝ

### 6.1.ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Οι απαιτήσεις μιας τυχαίας ημερήσιας παραγωγής δίνονται στον πίνακα 4. Η ημέρα αυτή επιλέχθηκε ως παράδειγμα για να δοκιμαστούν τα σενάρια βελτιστοποίησης λόγω του υψηλού φόρτου παραγωγής (62tn χυμού) και του μεγάλου χρόνου ολοκλήρωσης των παραγγελιών (6πμ-2:41πμ της επόμενης ημέρας).

**Πίνακας 4.** Απαιτήσεις μιας τυχαίας ημερήσιας παραγωγής χυμών.

ΠΡΟΪΟΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΓΙΑ 1lt ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΓΙΑ 250ml ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ
Φρουτοποτό ροδάκινο	18tn	10tn	8tn
Φυσικός χυμός ανανά	5tn	3tn	2tn
Φρουτοποτό βύσσινο	20tn	15,5tn	4,5tn
Νέκταρ πορτοκάλι	16tn	8tn	8tn
Φρουτοποτό λεμόνι	3tn	3tn	–

Παρακάτω αναλύονται οι ενέργειες που εκτελέστηκαν κατά την συγκεκριμένη ημερήσια παραγωγή, καθώς και η πραγματική χρονική τους διάρκεια.

Ωρα: 06:00πμ-06:30πμ

➤ Πλύσιμο και αποστείρωση των δεξαμενών αποθήκευσης. Πλύσιμο με νερό στους 45°C για 6min και αποστείρωση με νερό στους 95 °C για 17min.

➤ Προετοιμασία των εμφιαλωτικών μηχανών. Εισάγεται σε αυτές και σε όλες τις γραμμές εμφιάλωσης νερό στους 142 °C για 30min.

*Χρονική διάρκεια: 30min.*

Ωρα 06:30π.μ.-08:42π.μ.

➤ Παρασκευή των 18tn φρουτοποτού ροδάκινου στη δεξαμενή Χ<sub>3</sub>.

Στον πίνακα 5 φαίνονται τα στάδια κατά την παρασκευή φρουτοποτού ροδάκινου και αντίστοιχα οι χρόνοι που απαιτούνται για κάθε στάδιο χωριστά για την παραγωγή 18tn φρουτοποτού.

**Πίνακας 5.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή 18tn φρουτοποτού ροδάκινου.

ΣΤΑΔΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ	45min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΖΑΧΑΡΟΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	45min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	67,5min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ	2,25min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΙΤΡΙΚΟΥ	2,25min

*Χρονική διάρκεια: 162min.*

Ωρα 08:42π.μ.-08:57π.μ.

➤ Φυσικοχημικός έλεγχος (μέτρηση PH, BRIX και οξύτητας) του φρουτοποτού ροδάκινου στο χημείο, πριν αυτός παστεριωθεί.

*Χρονική διάρκεια: 15min.*

Ωρα 08:57π.μ.-14:57μ.μ.

- Παστερίωση του φρουτοποτού ροδάκινου με τον παστεριωτήρα Π<sub>2</sub>, δυναμικότητας 12tn/h, άρα απαιτούμενος χρόνος 90min.
- Εν μέσω της παστερίωσης (περίπου 60min μετά την έναρξή της) ξεκινάει η εμφιάλωση του χυμού από τις εμφιαλωτικές μηχανές E<sub>1</sub> (του 1lt) και E<sub>3</sub> (των 250ml) δυναμικότητας αντίστοιχα 7,5 tn/h και 1,6tn/h, άρα απαιτούμενος χρόνος εμφιάλωσης 80min για την E<sub>1</sub> και 300min για την E<sub>3</sub>.
- Ταυτόχρονα παρασκευάζονται στη δεξαμενή Χ<sub>2</sub> οι 5tn φυσικού χυμού ανανά. Στον πίνακα 6 φαίνονται τα στάδια για την παρασκευή του χυμού ανανά, καθώς και η χρονική διάρκεια κάθε σταδίου για την παραγωγή 5tn χυμού ανανά.

**Πίνακας 6.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή 5tn φυσικού χυμού ανανά.

ΣΤΑΔΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ	12,5 min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΖΑΧΑΡΟΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	–
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	18,75min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ	0,6min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΙΤΡΙΚΟΥ	0,6min

- Στη συνέχεια γίνεται φυσικοχημικός έλεγχος του φυσικού χυμού ανανά στο χημείο, πριν αυτός παστεριωθεί.
- Ακολουθεί παστερίωση του χυμού στον παστεριωτήρα Π<sub>1</sub> δυναμικότητας 6 tn/h, άρα απαιτούμενος χρόνος παστερίωσης 50min και απ'ευθείας εμφιάλωση των 3tn φυσικού χυμού ανανά από την μηχανή E<sub>2</sub> του 1 lt δυναμικότητας 5,5 tn/h, άρα απαιτούμενος χρόνος 32,73min.

➤ Ταυτόχρονα η δεξαμενή Χ<sub>3</sub> πλένεται (με νερό στους 45°C για 6min) και αποστειρώνεται (νερό στους 95 °C για 17min) για να παρασκευασθεί σε αυτήν το φρουτοποτό βύσσινο.

*Χρονική διάρκεια: 360min.*

Ωρα 14:57μ.μ.-16:07μ.μ.

➤ Ετοιμάζονται οι εμφιαλωτικές μηχανές (εισάγεται νερό στους 142°C για 30min).

➤ Εμφιαλώνονται στην Ε<sub>3</sub> (των 250ml) οι 2tn φυσικού χυμού ανανά, άρα απαιτούμενος χρόνος 75min.

➤ Παρασκευάζονται οι 20tn φρουτοποτού βύσσινου στη δεξαμενή Χ<sub>3</sub>. Στον πίνακα 7 δίνονται τα στάδια κατά την παραγωγή των 20tn φρουτοποτού βύσσινου, καθώς και η χρονική τους διάρκεια.

**Πίνακας 7.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή των 20tn φρουτοποτού βύσσινου.

ΣΤΑΔΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ	50 min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΖΑΧΑΡΟΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	25min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	50min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ	2,5min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΙΤΡΙΚΟΥ	2,5min

➤ Φυσικοχημικός έλεγχος του φρουτοποτού βύσσινου στο χημείο (15min).

➤ Ταυτόχρονα οι παστεριωτήρες πλένονται και αποστειρώνονται για τα επόμενα προϊόντα (συνολικός χρόνος 80min).

➤ Στη δεξαμενή  $X_1$  παρασκευάζονται οι 3<sup>τη</sup> φυσικού χυμού λεμονιού. Τα στάδια και η χρονική τους διάρκεια για την παρασκευή των 3<sup>τη</sup> χυμού λεμονιού δίνονται στον πίνακα 8.

**Πίνακας 8.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την παρασκευή των 3<sup>τη</sup> φυσικού χυμού λεμονιού.

ΣΤΑΔΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ	7,5min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΖΑΧΑΡΟΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	3,75min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	7,5min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ	0,4min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΙΤΡΙΚΟΥ	0,4min

➤ Έλεγχος του φυσικού χυμού λεμονιού από το χημείο (15min).  
Χρονική διάρκεια: 130min.

Ωρα 16:07μ.μ.-18:57μ.μ.

➤ Σε αυτό το διάστημα πραγματοποιείται η παστερίωση και εμφιάλωση των δύο προϊόντων (βύσσινο και λεμόνι). Ο χυμός λεμονιού παστεριώνεται στον  $\Pi_1$  παστεριωτήρα (30min) και εμφιαλώνεται στην  $E_2$  μηχανή (32,72min), ενώ ο χυμός βύσσινου παστεριώνεται στον  $\Pi_2$  (100min) και εμφιαλώνεται από τις  $E_1$  (124min) και  $E_3$  (168,75min) μηχανές.

Χρονική διάρκεια: 170min.

Ωρα: 18:57μ.μ.-02:41π.μ.

➤ Ετοιμάζονται οι εμφιαλωτικές μηχανές (εισάγεται νερό στους 142°C για 30min).

➤ Ταυτόχρονα οι παστεριωτήρες πλένονται και αποστειρώνονται για τα επόμενα προϊόντα (συνολικός χρόνος 80min).

➤ Στην δεξαμενή  $X_3$  παρασκευάζονται οι 16tn χυμού νέκταρ πορτοκάλι (Πίνακας 9).

**Πίνακας 9.** Τα στάδια και η διάρκειά τους για την Παρασκευή των 16tn χυμού νέκταρ πορτοκάλι.

ΣΤΑΔΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ	40min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΖΑΧΑΡΟΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ	50,4min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑΤΟΣ	54,4min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΣΚΟΡΒΙΚΟΥ	2min
ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΚΙΤΡΙΚΟΥ	2min

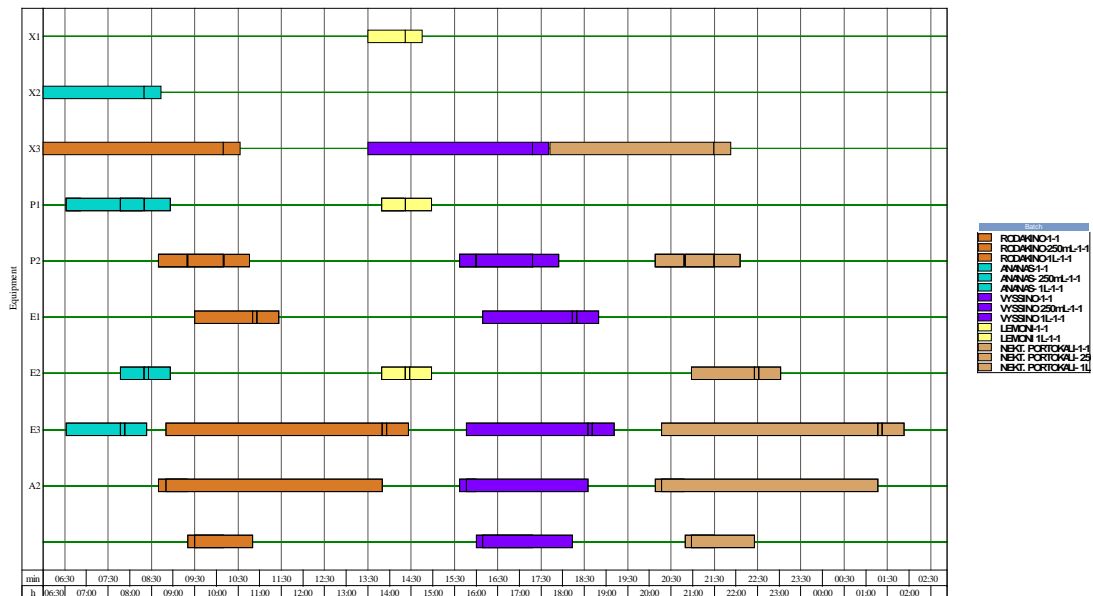
➤ Γίνεται έλεγχος του χυμού νέκταρ πορτοκάλι από το χημείο (15min).

➤ Παστεριώνεται ο χυμός απο τον  $\Pi_2$  (80min) και εμφιαλώνεται από την  $E_1$  (64min) και  $E_3$  (300min).

*ρονική διάρκεια: 464min.*

Τα δεδομένα των παραγγελιών για την ημέρα αυτή εισήχθησαν ως καμπάνιες παραγωγής στο SchedulePro και οι χρόνοι έναρξης των παρτίδων ορίστηκαν με βάση τα δεδομένα της πραγματικής παραγωγής. Στο Σχήμα 24 παρουσιάζεται με την μορφή διαγράμματος Gantt η πραγματική ημερήσια παραγωγή όπως αυτή ορίστηκε στο SchedulePro.





**Σχήμα 24.** Διάγραμμα Gantt για την ημερήσια πραγματική παραγωγή χυμών.

Στο διάγραμμα φαίνονται οι ενέργειες που εκτελέστηκαν για την ημερήσια παραγωγή χυμών, που περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω, καθώς και η χρονική διάρκεια των ενεργειών αυτών και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.

Σύμφωνα με το Schedule Pro η συγκεκριμένη ημερήσια παραγωγή ξεκινάει στις 06:00πμ και ολοκληρώνεται στις 02:22πμ της επομένης, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 20 ώρες και 22 λεπτά. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας είναι σε συμφωνία με τα πραγματικά δεδομένα ως προς την διάρκεια των ενεργειών, τους χρόνους εκτέλεσής τους και τους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν. Επομένως, το μοντέλο παραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την περαιτέρω βελτίωσή του.

## 6.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

### ΧΥΜΩΝ

Από το πρόγραμμα παραγωγής που παρουσιάζεται στο Σχήμα 24 μπορούν να εξαχθούν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα:

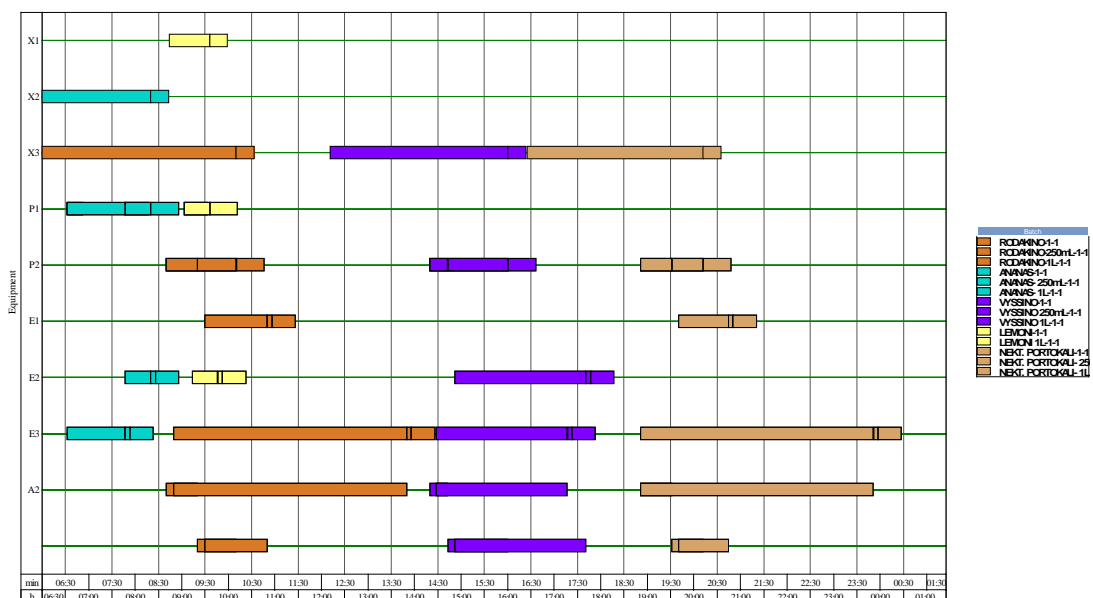
- Για παραγγελίες που υπερβαίνουν τους 8 τόννους είναι απαραίτητη η χρήση της δεξαμενής  $X_3$  με χωρητικότητα 20 τόννους.

- Είναι επιθυμητή η όσο το δυνατόν ευρύτερη χρήση του παστεριωτήρα Π<sub>2</sub> ο οποίος διαθέτει δεξαμενή για την τροφοδότηση της εμφιαλωτικής.

- Το παραπάνω είναι απαραίτητο όταν είναι να εμφιαλωθούν προϊόντα 250mL δεδομένου ότι η αντίστοιχη συσκευαστική Ε<sub>3</sub> είναι ιδιαίτερα αργή και τυχόν χρήση του Π<sub>1</sub> (χωρίς δεξαμενή) θα σήμαινε ότι η δεξαμενή προετοιμασίας θα ήταν δεσμευμένη για όση ώρα κρατούσε η εμφιάλωση.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο χρόνος παραγωγής εξαρτάται από την βέλτιστη χρήση των Χ<sub>3</sub>, Π<sub>2</sub> και Ε<sub>3</sub> που αποτελούν και τους περιοριστικούς πόρους του συστήματος παραγωγής. Επομένως, ως μία πρώτη προσπάθεια μείωσης του συνολικού χρόνου της ημερήσιας παραγωγής είναι απαραίτητη η εξάλειψη των χρονικών κενών που εμφανίζονται στην χρήση των παραπάνω πόρων.

Στο σχήμα 25 παρουσιάζεται μία βελτιωμένη παραγωγή σε σύγκριση με την πραγματική. Στη βελτιωμένη αυτή παραγωγή αξιοποιήθηκαν κάποια μεγάλα κενά χρονικά διαστήματα που παρουσιάστηκαν στην πραγματική παραγωγή, χωρίς να έχει αλλάξει η σειρά εκτέλεσης των παρτίδων.



Σχήμα 25. Διάγραμμα Gantt για την βελτιωμένη ημερήσια παραγωγή.

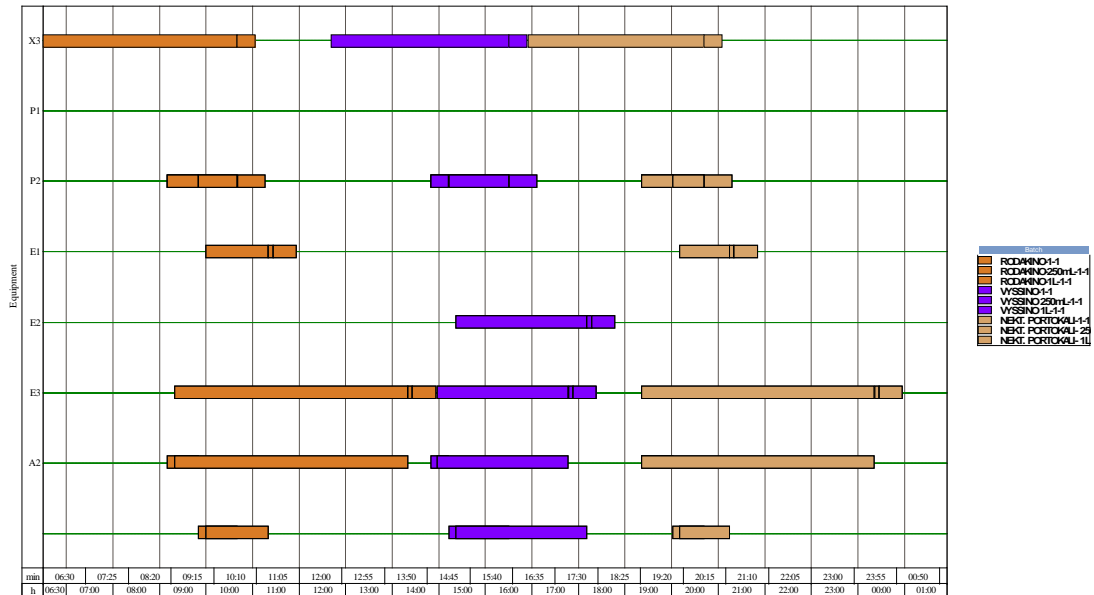
Από το διάγραμμα φαίνεται ότι εκμεταλλευόμενοι τα κενά χρονικά διαστήματα που παρουσιάζονται στην πραγματική παραγωγή μειώνεται ο συνολικός χρόνος παραγωγής κατά 2,5 ώρες περίπου. Η βελτιωμένη παραγωγή ξεκινάει στις 06:00πμ και ολοκληρώνεται στις 00:57πμ της επομένης, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 18 ώρες και 57 λεπτά.

Συγκρίνοντας τα δύο παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι μόνο η παρτίδα του βύσσινου έχει τον ίδιο χρόνο έναρξης και τον ίδιο χρόνο λήξης και στα δύο διαγράμματα. Αντίθετα, η παρτίδα του λεμονιού στην πραγματική παραγωγή ξεκινάει στις 13:30μ.μ και ολοκληρώνεται στις 15:00, ενώ στη βελτιωμένη παραγωγή η έναρξή της είναι στις 08:30π.μ και η λήξη της στις 10:00π.μ. Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με την παρτίδα ροδάκινου, η οποία στην πραγματική παραγωγή έχει έναρξη στις 13:30μ.μ. και λήξη στις 19:15μ.μ., ενώ στην βελτιωμένη παραγωγή έχει έναρξη στις 12:15μ.μ. και λήξη στις 18:00μ.μ. κατά συνέπεια αφού η παρτίδα του ροδάκινου στη βελτιωμένη παραγωγή ολοκληρώνεται νωρίτερα και η παρτίδα του νέκταρ πορτοκάλι θα τελειώνει νωρίτερα. Η λήξη της παραγωγής του χυμού νέκταρ πορτοκάλι σημαίνει και τη λήξη της ημερήσιας παραγωγής (00:57π.μ), αφού η σειρά εκτέλεσης των παρτίδων δεν έχει αλλάξει.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές και το συμπέρασμα που εξάχθηκε νωρίτερα ότι δηλαδή ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της ημερήσιας παραγωγής χυμών εξαρτάται από την δεξαμενή παρασκευής χυμών  $X_3$  (χωρητικότητας 20tn) και από την εμφιαλωτική μηχανή  $E_3$  (δυναμικότητας 1,6tn/h) που είναι οι περιοριστικές συσκευές. Η προσπάθεια περιορισμού του συνολικού χρόνου εκτέλεσης θα πρέπει να επικεντρώνεται στις μεγάλες παρτίδες που χρησιμοποιούν την δεξαμενή  $X_3$  και στις παρτίδες που πρόκειται να συσκευασθούν από την  $E_3$ . Οι παρτίδες ανανά και λεμονιού (πράσινο και κίτρινο χρώμα αντίστοιχα στο διάγραμμα) μπορούν στην πραγματικότητα να εκτελεστούν οποτεδήποτε μέσα στην ημέρα καθώς αξιοποιούν υπο-χρησιμοποιούμενους πόρους. Η προσπάθεια βελτιστοποίησης επομένως μπορεί να επικεντρωθεί μόνο στις περιοριστικές συσκευές και τις παρτίδες που τις χρησιμοποιούν.

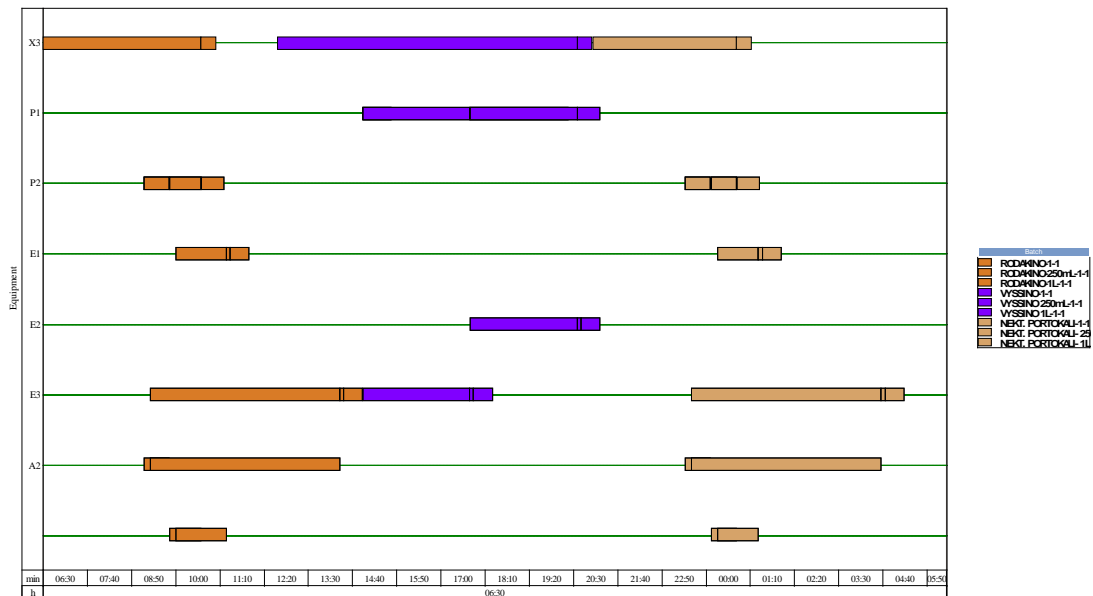
Στο σχήμα 26 απεικονίζεται η ημερήσια παραγωγή μόνο με τις περιοριστικές παρτίδες (ροδάκινο, βύσσινο και νέκταρ πορτοκάλι) χωρίς οποιαδήποτε άλλη

αλλαγή οπότε και ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της ημερήσιας παραγωγής δεν έχει αλλάξει.



**Σχήμα 26.** Διάγραμμα Gantt για τις περιοριστικές παρτίδες (ροδάκινο, βύσσινο και νέκταρ πορτοκάλι).

Η επίπτωση στον χρόνο παραγωγής από ακατάλληλη επιλογή πόρων φαίνεται στο σχήμα 27 όπου απεικονίζεται η ημερήσια παραγωγή μόνο με τις περιοριστικές παρτίδες και με παστερίωση της παρτίδας βύσσινου από τον παστεριωτή  $\Pi_1$  αντί του  $\Pi_2$ .



**Σχήμα 27.** Διάγραμμα Gantt για τις περιοριστικές παρτίδες και με παστερίωση της παρτίδας βύσσινου από τον παστεριωτή  $P_1$  αντί του  $P_2$ .

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι παστεριώνοντας την παρτίδα βύσσινου με τον παστεριωτήρα  $P_1$  αντί του  $P_2$  η λήξη της ημερήσιας παραγωγής πραγματοποιείται στις 05:13π.μ. της επομένης. Αυτή η αλλαγή κατά το στάδιο παστερίωσης του χυμού βύσσινου οδηγεί σε σημαντική καθυστέρηση της ολοκλήρωσης παραγωγής.

Από το διάγραμμα συμπεραίνεται ότι είναι επιθυμητή η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη χρήση του παστεριωτήρα  $P_2$ , ο οποίος διαθέτει δεξαμενή αποθήκευσης πριν την εμφιάλωση, ώστε να απελευθερώνεται τόσο ο ίδιος ο παστεριωτής όσο και η δεξαμενή  $X_3$  γρηγορότερα. Άρα, στις περιοριστικές παρτίδες θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη η χρήση του παστεριωτήρα  $P_2$ . Επομένως, ο συνολικός χρόνος ημερήσιας παραγωγής εξαρτάται ουσιαστικά από την χρήση των συσκευών  $X_3$  και  $E_3$  και τις αντίστοιχες παρτίδες που τις χρησιμοποιούν επομένως η προσπάθεια βελτιστοποίησης θα πρέπει να επικεντρωθεί σε αυτές τις συσκευές.

Με τους χρόνους εκτέλεσης κάθε σταδίου της παραγωγής δεδομένους, αυτό που ορίζει τον συνολικό χρόνο παραγωγής είναι η αλληλουχία εκτέλεσης των παραγγελιών. Η εύρεση της βέλτιστης σειράς εκτέλεσης μίας σειράς παραγγελιών είναι γενικά ένα δύσκολο πρόβλημα του οποίου η πολυπλοκότητα αυξάνει σημαντικά με τον αριθμό των παραγγελιών. Στην περίπτωση όμως που υπάρχουν δύο μόνο στάδια, η βέλτιστη αλληλουχία προκύπτει από τον αλγόριθμο Johnson

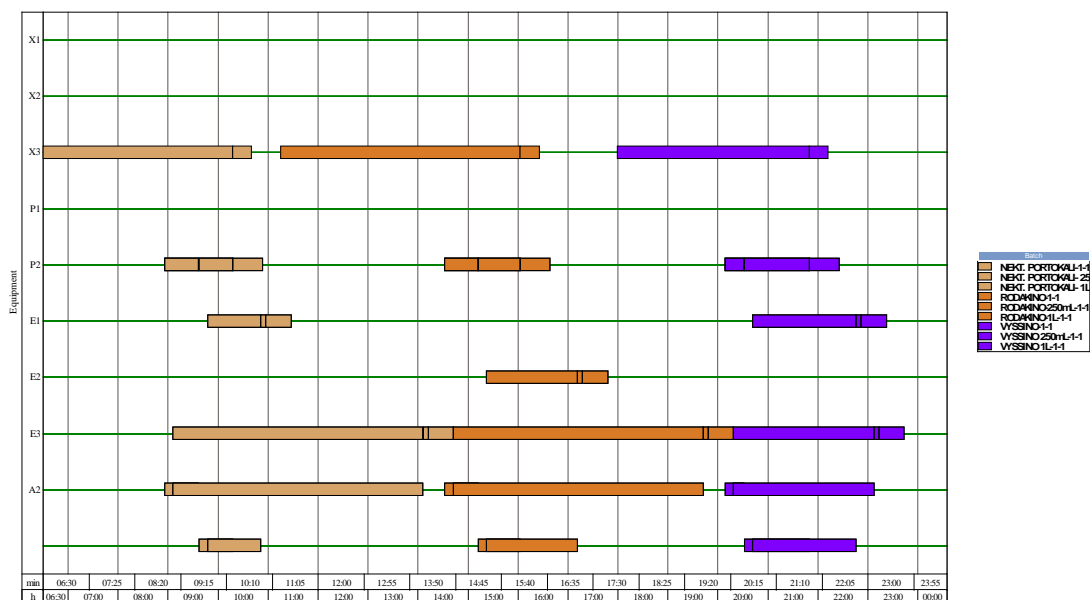
σύμφωνα με τον οποίο ορίζεται πρώτη στην σειρά η παραγγελία που απαιτεί τον μικρότερο χρόνο στο πρώτο στάδιο παραγωγής και τελευταία η παραγγελία που απαιτεί τον μικρότερο χρόνο στο δεύτερο στάδιο της παραγωγής. Η επιλογή της πρώτης παρτίδας με βάση την ώρα που απαιτείται για το πρώτο στάδιο δικαιολογείται από την ανάγκη του κατά το δυνατόν συντομότερου ξεκινήματος του δεύτερου σταδίου με σκοπό την μείωση της αναμονής της δεύτερης συσκευής. Αντίστοιχα, η επιλογή της τελευταίας παρτίδας ως αυτής με το μικρότερο χρόνο κατά το δεύτερο στάδιο αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της αναμονής του πρώτου σταδίου. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται με επιλογή της δεύτερης και προτελευταίας παρτίδας κ.λπ. με τα ίδια κριτήρια έως ότου μπουν στην σειρά όλες οι παρτίδες. Ο αλγόριθμος Johnson αποδεικνύεται μαθηματικά ότι ελαχιστοποιεί τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης των παρτίδων.

Στην υπό μελέτη περίπτωση δεν υπάρχουν δύο μόνο στάδια -από την προηγούμενη όμως ανάλυση εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι μόνο δύο στάδια (και συσκευές) είναι σημαντικά γιατί καθορίζουν τον χρόνο παραγωγής. Ο αλγόριθμος Johnson επομένως μπορεί να εφαρμοστεί στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρώντας ως δύο στάδια την προετοιμασία στην  $X_3$  και την εμφιάλωση στην  $E_3$ .

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι χρόνοι εκτέλεσης των δύο σταδίων για τις τρεις παραγγελίες (ροδάκινο, νέκταρ πορτοκάλι και βίσινο) που χρησιμοποιούν υποχρεωτικά τις  $X_3$  και  $E_3$ . Εκτελώντας το αλγόριθμο Johnson μπορεί εύκολα να εξαχθεί η βέλτιστη αλληλουχία η οποία είναι: νέκταρ πορτοκάλι, ροδάκινο, βύσινο. Στο Σχήμα 28 απεικονίζεται το πρόγραμμα παραγωγής που αντιστοιχεί σε αυτή την ακολουθία και στο οποίο ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης έχει μειωθεί κατά 1 και πλέον ώρες (λήξη 23:43μ.μ.) σε σύγκριση με το προηγούμενο σενάριο. Επομένως με εφαρμογή της βέλτιστης ακολουθίας εκτέλεσης των παραγγελιών και απαλοιφή των χρονικών κενών στις περιοριστικές συσκευές ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της παραγωγής μπορεί να μειωθεί δραστικά.

**Πίνακας 10.** Οι χρόνοι εκτέλεσης των περιοριστικών σταδίων για τις 3 παρτίδες ημερήσιας παραγωγής.

Παρτίδα (συνολική ποσότητα/ποσότητα 250mL)	Χρόνος Προετοιμασίας (min)	Χρόνος Εμφιάλωσης 250mL (min)
Ροδάκινο (18tn/8tn)	287,55	300
ΝέκταρΠορτοκάλι(16tn/8t)	227,28	300
Βίσσυνο(20tn/4,5t)	229,90	168,75



**Σχήμα 28.** Διάγραμμα Gantt με βάση τον αλγόριθμο Johnson.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας μελετήθηκε ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής μίας μονάδας χυμών με την βοήθεια μοντέλου παραγωγικής διαδικασίας που αναπτύχθηκε στο λογισμικό SchedulePro. Το μοντέλο παραγωγής καταγράφει τις συσκευές, τη δυναμικότητα τους και όλους τους λοιπούς πόρους που είναι διαθέσιμοι στη μονάδα αλλά και τις διεργασίες που χρησιμοποιούν αυτούς τους πόρους και που είναι απαραίτητες για την παραγωγή των προϊόντων. Σε αυτό το πλαίσιο, ο προγραμματισμός της παραγωγής ανάγεται στην εύρεση του

κατάλληλου χρόνου για την εκτέλεση των απαραίτητων διεργασιών και των πόρων που είναι διαθέσιμοι την αντίστοιχη χρονική περίοδο για την εκτέλεσή τους.

Ειδικότερα, διερευνήθηκε το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου ημερήσιας παραγωγής με σκοπό την καλύτερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου εξοπλισμού και την αποφυγή υπερωριών και καθυστερήσεων στην παράδοση των παραγγελιών. Παρά το ότι η υπό εκτέλεση συνταγές χυμών παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες, η εκτέλεσή τους στην μονάδα παρουσιάζει πολλές ιδιομορφίες εξαιτίας ασυμμετριών που υπάρχουν στον εξοπλισμό (όπως διαφορές στην χωρητικότητα δεξαμενών και δυναμικότητα των εμφιαλωτικών). Αυτές οι ασυμμετρίες απομακρύνουν το πρόγραμμα παραγωγής από την «κυκλικότητα», την δυνατότητα δηλαδή της κυκλικά επαναλαμβανόμενης παραγωγής, και δημιουργούν προκλήσεις στον χρονικό προγραμματισμό.

Από την ανάλυση του προγράμματος παραγωγής προέκυψε ότι οι πιο χρονοβόρες παρτίδες είναι αυτές στις οποίες απαιτείται η παραγωγή της συσκευασίας των 250mL η οποία απαιτεί την χρήση της πιο αργής εμφιαλωτικής  $E_3$ . Αν αντίστοιχα και η ποσότητα παραγγελίας είναι μεγάλη τότε απαιτείται και η χρήση της μεγαλύτερης δεξαμενής  $X_3$  με παράλληλη χρήση του παστεριωτήρα  $P_2$  ο οποίος διαθέτει δεξαμενή και αποδεσμεύει την  $X_3$  από την  $E_3$ . Οι δύο αυτές συσκευές αποδείχτηκε ότι είναι και οι περιοριστικές στην εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής κι αυτές πάνω στις οποίες θα πρέπει να βασιστεί οποιαδήποτε προσπάθεια βελτιστοποίησης της παραγωγής.

Η ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής επιτεύχθηκε με χρήση του αλγόριθμου Johnson ο οποίος διατάσσει βέλτιστα τις παραγγελίες με δύο στάδια εκτέλεσης ώστε να περιορίζονται οι χρόνοι αναμονής. Με δεδομένες κάθε μέρα τις παραγγελίες που πρέπει να εκτελεστούν στην μονάδα, ως κατάλληλη μέθοδος που ελαχιστοποιεί τον συνολικό χρόνο παραγωγής προτείνεται η ακόλουθη:

1. Εντοπισμός των μεγάλων παραγγελιών στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και συσκευασία των 250mL (άρα για την εκτέλεσή τους απαιτείται η χρήση των  $X_3$ ,  $E_3$ )
2. Υπολογισμός για κάθε παραγγελία των χρόνων εκτέλεσης των αντίστοιχων σταδίων στην  $X_3$  και  $E_3$





3. Εφαρμογή του αλγόριθμου Johnson για την εύρεση της βέλτιστης αλληλουχίας εκτέλεσης των παραπάνω παραγγελιών


4. Προγραμματισμός της παραγωγής των υπολοίπων παραγγελιών στις υπο-χρησιμοποιούμενες συσκευές και μέσα στο χρονικό πλαίσιο που καθορίζουν οι περιοριστικές παραγγελίες.


Μία τέτοια ανάλυση κατέστη εφικτή από την χρήση ενός μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας. Πέρα από την ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής, ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν σχεδιαστικό εργαλείο για την διερεύνηση πιθανών ωφελημάτων ή ανεπιθύμητων συνεπειών που θα μπορούσαν να προκύψουν από αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία ή τον εξοπλισμό της μονάδας ή για τον βραχυχρόνιο προγραμματισμό της πραγματικής παραγωγής (ημερήσιο και εβδομαδιαίο πρόγραμμα παραγωγής), επιτρέποντας τον εύκολο πειραματισμό με εναλλακτικά σενάρια και την επιλογή του βέλτιστου.


## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**


 Μπότσαρη Χ.(1998), «Γραμμικός Προγραμματισμός» In «Επιχειρησιακή Έρευνα μέθοδοι & προβλήματα», σελ. 26-27, Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα.


 Παπαντωνίου Β.(2000), «Ελαχιστοποίηση του Χρόνου Set-up στο Πλαίσιο Προγραμματισμού Παραγωγής ERP Συστήματος», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανολόγων-Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο πολυτεχνείο, Αθήνα.

 Πάππης Κ.(2006), «Προγραμματισμός Παραγωγής», σελ. 180-183, 221-223, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

 Πάππης Κ.(2008a), «Θεωρία Συστημάτων και λήψη αποφάσεων», «Μέτρηση Εργασίας» In: «Διοίκηση παραγωγής, ο σχεδιασμός παραγωγικών συστημάτων», σελ. 40-41, 44-45, 181-190, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.

 Πάππης Κ.(2008b), «Διοίκηση Παραγωγής, ο σχεδιασμός παραγωγικών συστημάτων» σελ. 77-86, Β' Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

 Ποδαρά Γ.(2005), «Συγκριτική μελέτη μεθόδων ακέραιου προγραμματισμού για τον προγραμματισμό καταστημάτων ροής», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης.


 Τσιότρας Γ.(1996), «Διοίκηση Παραγωγής» Τόμος Β', σελ. 321-323, Εκδόσεις Μπένου, Αθήνα.

### **Διαδικτυακές πηγές**


 [www.intelligen.com](http://www.intelligen.com)


 [www.gea-tds.gr](http://www.gea-tds.gr)

 [www.tetrapakhellas.gr](http://www.tetrapakhellas.gr)

 Food.inoxstyle.gr

### **Προσωπική επικοινωνία**

 Ζαπουνίδου Μ.(2014), Χημικός Μηχανικός, Υπεύθηνη Έλεγχου Ποιότητας, Θεσσαλονίκη.

 Κουλούρης Α.(2014), Δρ. Χημικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων, ΑΤΕΙ, Θεσσαλονίκη.

☛ Τσίντζος Α.(2014), Γεωπόνος-Τεχνολόγος Τροφίμων, Υπεύθυνος Παραγωγής, Θεσσαλονίκη.