

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη χρονικού προγραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής σε μονάδα παραγωγής συσκευασμένων φρέσκων λαχανικών

Σουγάρης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη 2019

Μελέτη χρονικού προγραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής σε μονάδα παραγωγής συσκευασμένων φρέσκων λαχανικών

Σουγάρης Δημήτριος

Υποβολή Διπλωματικής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Μεταπτυχιακού προγράμματος του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Ημερομηνία

05/01/2019

Εισηγητής: Κουλούρης Αλέξανδρος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον καθηγητή του τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων, Δρ. Κουλούρη Αλέξανδρο, για την επιστημονική καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράστασή του σε κάθε βήμα της εργασίας αυτής.

Μελέτη χρονικού προγραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής σε μονάδα παραγωγής συσκευασμένων φρέσκων λαχανικών

Σουγάρης Δημήτριος

Αλεξάνδρειο ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, Τ.Θ. 141, 57400 Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η διαδικασία χρονικού προγραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής σε μια βιομηχανία επεξεργασίας φρέσκων κομμένων λαχανικών με σκοπό την βελτίωσή της και τη μείωση του ημερήσιου χρόνου παραγωγής.

Η βιομηχανία φρέσκων κομμένων λαχανικών έχει τις ακόλουθες ιδιαιτερότητες οι οποίες δημιουργούν προβλήματα στην οργάνωση και προγραμματισμό της παραγωγής τους: μικρή διάρκεια ζωής των κομμένων λαχανικών, έντονη εποχικότητα και μεταβαλλόμενη ποιότητα πρώτων υλών. Επίσης η μεγάλη ποικιλία των λαχανικών συνεπάγεται ένα μεγάλο εύρος τελικών προϊόντων κάτι το οποίο με την σειρά του προϋποθέτει συχνές αλλαγές στις γραμμές παραγωγής, ρυθμίσεις των μηχανών, διαφοροποιήσεις σε τρόπους παραγωγής, συσκευασίας και καθαρισμού των γραμμών.

Μέσω του λογισμικού *SchedulePro* αναπτύχθηκε μοντέλο προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας της βιομηχανίας με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση και επιτάχυνση της διαδικασίας εξαγωγής του ημερήσιου προγράμματος παραγωγής αλλά και την επίλυση των πιο τυπικών προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού που εμφανίζονται σε βιομηχανίες επεξεργασίας φρέσκων κομμένων λαχανικών. Με την βοήθεια δεδομένων από υπάρχουσα μονάδα μελετήθηκαν σενάρια παραγωγής με στόχο την βελτίωση της παραγωγικότητας μέσω μείωσης του χρόνου παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, ένα από τα προβλήματα που διερευνήθηκαν ήταν ο συνεχώς αυξανόμενος χρόνος παραγωγής λόγω της αύξησης των ζητούμενων ποσοτήτων από τους πελάτες. Επίσης μελετήθηκαν τρόποι βελτίωσης του χρονικού προγραμματισμού της παραγωγής μέσω της αλλαγής στην σειρά παραγωγής των τελικών προϊόντων και δημιουργήθηκαν σενάρια προσθήκης επιπλέον μηχανολογικού εξοπλισμού για την αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας της βιομηχανίας. Τέλος μελετήθηκε η μεταβλητότητα του χρόνου ολοκλήρωσης της ημερήσιας παραγωγής εξαιτίας της αβεβαιότητας η οποία οφείλεται σε καθυστερήσεις λόγω βλαβών, στην διαφορετική παραγωγικότητα ανθρώπων και μηχανών, στις διαφοροποιήσεις στην διαθεσιμότητα προσωπικού κλπ. Καταδείχτηκε ότι με την βοήθεια του μοντέλου και ανάλυσης με την μέθοδο Monte-Carlo είναι δυνατόν να εξαχθεί ο βαθμός βεβαιότητας με τον οποίο είναι εφικτή η επίτευξη συγκεκριμένων στόχων ως προς την χρονική διάρκεια της παραγωγής.

A study in process scheduling and production management in a fresh-cut salad packaging plant

Sougaris Dimitrios

Alexander TEI of Thessaloniki, School of Agriculture Technology, Food Technology and Nutrition, Department of Food Technology, P.O Box 141, 57400 Thessaloniki, Greece

Abstract

In this thesis, the scheduling and production management procedures in a fresh-cut salad packaging plant were studied with the aim being their improvement and the reduction in the daily production makespan.

The fresh-cut salad industry is characterized by the following peculiarities that create problems in production scheduling and management: short shelf-life of fresh-cut vegetables, raw material seasonality and variable quality. In addition, the great variety of vegetables used entails a wide range of final products which, in turn, necessitates frequent equipment changeovers, cleanings and production line changes.

A simulation model of the production process was developed with the help of the scheduling software *SchedulePro* and used to expedite and improve the process of developing the daily production schedule and to assist in solving the most typical scheduling problems which characterize the fresh-cut salad packaging industry.

Data from a real plant were used to study productivity improvement scenarios aiming at reducing the daily production makespan. More specifically, one of the problems studied was the ever increasing production time due to the increase in customer order volumes. Changes in production order were investigated as a way to improve production scheduling and capital investment scenarios were analyzed in order to increase throughput. Finally, the makespan variability was studied as a result of uncertainties due to equipment breakdown, variable productivity of labor and equipment, variations in labor availability throughout the day etc. It was shown that with the help of the model and the use of Monte-Carlo analysis it is possible to estimate the probability to achieve certain production goals related to daily production makespan.

Περιεχόμενα

1. Παραγωγικά Συστήματα & Χρονοπρογραμματισμός	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Παραγωγικά συστήματα	9
1.2.1 Ιστορική εξέλιξη παραγωγικών συστημάτων	9
1.2.2 Εξελικτική πορεία των συστημάτων σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής	10
1.3 Παράμετροι Συστημάτων Παραγωγής	11
1.3.1 Προβλέψεις	11
1.3.2 Αποθέματα	11
1.3.3 Προγραμματισμός απαιτούμενων υλικών	12
1.4 Τύποι Παραγωγικών Συστημάτων	13
1.5 Προγραμματισμός Παραγωγής	16
1.6 Χρονοπρογραμματισμός Παραγωγής	18
1.6.1 Χρονοπρογραμματισμός στα συστήματα παραγωγής	18
1.6.2 Κύρια κριτήρια αξιολόγησης προγραμμάτων	19
1.7 Προβλήματα που προκύπτουν σε παραγωγικά συστήματα	21
1.7.1 Γενικά	21
1.7.2 Προβλήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας	21
1.7.3 Διάσπαση των προβλημάτων προγραμματισμού	23
1.7.4 Βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής	24
1.8 Λογισμικό προσομοίωσης παραγωγικής διαδικασίας <i>SchedulePro</i>	25
2. Βιομηχανική Παραγωγή Φρέσκων Κομμένων Λαχανικών	32
2.1 Εισαγωγή	32
2.2 Προβλήματα προγραμματισμού παραγωγής βιομηχανιών φρέσκων κομμένων λαχανικών	34
3. Σκοπός της Παρούσας Εργασίας	34
4. Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας	35
4.1 Η υπό μελέτη βιομηχανία φρέσκων κομμένων λαχανικών	35
4.2 Παραγωγική δυναμικότητα	36
4.3 Παραγωγική διαδικασία φρέσκων κομμένων λαχανικών	37
4.4 Σχεδιασμός προγράμματος παραγωγής	38
4.5 Στόχοι Προγραμματισμού Παραγωγής	46
5. Μοντελοποίηση Μονάδας Παραγωγής	47
5.1 Δημιουργία <i>SKU</i>	47

5.2 Δημιουργία Πόρων	48
5.3 Δημιουργία Συνταγών.....	50
5.4 Δημιουργία Καμπάνιας.....	53
6.Σενάρια Προγραμματισμού Παραγωγής.....	54
6.1 Βελτίωση της διαδικασίας δημιουργίας προγράμματος παραγωγής μέσω λογισμικού	54
6.2 Εγκατάσταση οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής Β.....	58
6.3 Εγκατάσταση οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής Β και προσθήκη συσκευαστικής	61
6.4 Αλλαγή σειράς εκτέλεσης παραγωγής.....	64
6.5 Μελέτη μεταβλητότητας χρόνου ολοκλήρωσης παραγωγής	65
7.Συμπεράσματα	67
8.Βιβλιογραφία	77

1. Παραγωγικά Συστήματα & Χρονοπρογραμματισμός

1.1 Εισαγωγή

Οι έντονες εξελίξεις στους τομείς της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την οικονομική αστάθεια των τελευταίων ετών τόσο στην Ελλάδα όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, έχουν εντείνει την προσπάθεια των επιχειρήσεων να αναπτύξουν στρατηγικές με σκοπό τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητά τους. Καθίσταται πλέον επιτακτική ανάγκη οι εταιρίες να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες, ώστε να αποκτήσουν το συγκριτικό πλεονέκτημα επιβίωσης σε μια δύσκολη αγορά. Έτσι, οι επιχειρήσεις πέρα από στόχους όπως μείωση του κόστους λειτουργίας και βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων, έχουν αρχίσει να κινούνται προς την ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων παραγωγής, την αύξηση της παραγωγικής τους δυναμικότητας και την επέκταση της ποικιλίας των παραγωγικών διαδικασιών (Sonntag, 2003).

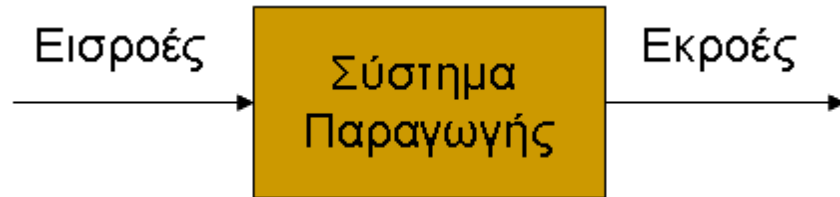
Η εξέλιξη αυτή προς την βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας γίνεται μέσω της αποτελεσματικής εφαρμογής κατάλληλων συστημάτων προγραμματισμού και ελέγχου παραγωγής. Παρά το γεγονός ότι τα αντικείμενα παραγωγής δεν είναι ίδια για τις διάφορες παραγωγικές βιομηχανίες, τα βασικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του παραγωγικού προγράμματος είναι όμοια και απαιτούν την εύρεση μιας βέλτιστης λύσης για την κατανομή των πόρων με ένα συγκεκριμένο παραγωγικό στόχο, όπως η ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής, η μείωση του παραγωγικού κόστους κλπ. και ορισμένους περιοριστικούς παράγοντες, όπως είναι ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας για κάθε εργασία, η πλήρη εκμετάλλευση του εξοπλισμού κλπ. Ο εκάστοτε στόχος και οι περιοριστικοί παράγοντες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της κάθε επιχείρησης και παραγωγικής διαδικασίας (Hertmann, 2006).

Τα εργοστάσια παραγωγής τροφίμων είναι ένας σημαντικός βιομηχανικός τομέας. Όσον αφορά την απασχόληση και τις πωλήσεις, είναι ο μεγαλύτερος παρασκευαστικός τομέας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (CIAA, 2005). Με σκοπό να κρατήσουν ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα παράλληλα με αυτές τις εξελίξεις, οι παραγωγικές εταιρίες τροφίμων άρχισαν να δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη βελτίωση των διεργασιών τους. Συνεπώς, η καλή διαχείριση των διεργασιών δεν έχει υπάρξει ποτέ πιο σημαντική για τις βιομηχανίες παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων.

Ο προγραμματισμός παραγωγής είναι μία από τις πιο σημαντικές δραστηριότητες σε μια παρασκευαστική εταιρία. Πριν την αρχή κάθε οικονομικού έτους, πολλές παρασκευαστικές εταιρίες προετοιμάζουν ένα πλάνο παραγωγής. Το πλάνο παραγωγής δίνει τις ποσότητες των προϊόντων προς παραγωγή για κάθε περίοδο κατά το οικονομικό έτος, καθώς και την αντίστοιχη ζήτηση. Το πλάνο παραγωγής μπορεί να εκτελείται εβδομαδιαία, μηνιαία, ανα εξάμηνο και ετήσια αναλόγως τα προϊόντα της εταιρίας. Ο προγραμματισμός παραγωγής είναι ο συσχετισμός των διαθέσιμων πόρων παραγωγής με το χρόνο ώστε να πληρούνται κριτήρια όπως η ποιότητα, ο χρόνος παράδοσης, η ζήτηση και η διάθεση. Το βέλτιστο πρόγραμμα παραγωγής είναι αυτό όπου ο συσχετισμός των διαθέσιμων πόρων παραγωγής με το χρόνο καταφέρνει να παράγει τα απαραίτητα προϊόντα μιας συγκεκριμένης ζήτησης με το ελάχιστο κόστος (Amponsah et al., 2011).

1.2 Παραγωγικά συστήματα

Σύστημα παραγωγής ονομάζεται ένα καθορισμένο σύνολο δραστηριοτήτων μέσα σε μια επιχείρηση με σκοπό την παραγωγή προϊόντων. Με τον όρο της παραγωγής, ένα σύστημα παραγωγής μετατρέπει τις εισροές πρώτων υλών σε εκροές προϊόντων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Γραφική αναπαράσταση ενός συστήματος παραγωγής

Ως εισροές θεωρούνται όλοι οι πόροι που καταναλώνονται για να παραχθούν τα τελικά προϊόντα. Οι πρώτες ύλες, το ανθρώπινο δυναμικό, οι βοηθητικές παροχές, τα αναλώσιμα και το κεφάλαιο (μέσω του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή) συνιστούν τους πόρους. Εκροές είναι τα παραγόμενα τελικά προϊόντα. Οι εισροές και οι εκροές αποτελούν τα στοιχεία της αλληλεπίδρασης μεταξύ του συστήματος παραγωγής και του περιβάλλοντος.

1.2.1 Ιστορική εξέλιξη παραγωγικών συστημάτων

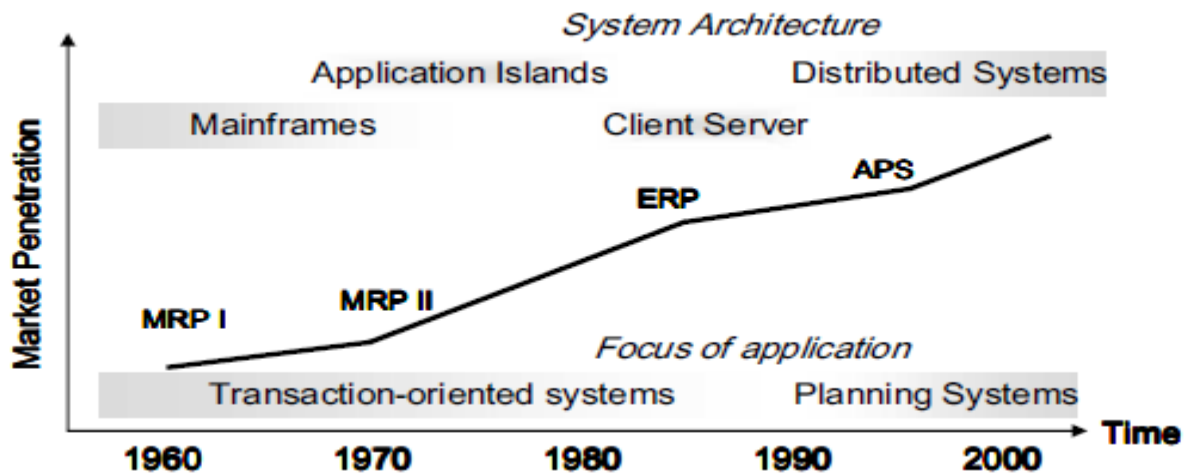
Η ανάγκη για τη διοίκηση παραγωγικών συστημάτων ήταν αποτέλεσμα της εξέλιξης των ανθρώπινων κοινωνιών και του πολιτισμού. Αρχικά, η παραγωγή αναπτύχθηκε σε μικρά εργαστήρια και οικοτεχνίες, κυρίως για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ιδιοκατανάλωσης και σπανιότερα το ανταλλακτικό εμπόριο. Κατά την περίοδο της Αναγέννησης διαμορφώνεται η βάση για τη μεγάλη Βιομηχανική Επανάσταση του 18ου αιώνα με την πρόοδο που σημειώθηκε στις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία. Η οικογενειακή επιχείρηση αντικαθίσταται από το εργοστάσιο και επιτυγχάνεται η μαζική παραγωγή προϊόντων που δίνει νέα ώθηση στο εμπόριο. Η δημιουργία εργοστασίων γεννά προβλήματα οργάνωσης και διεύθυνσης της παραγωγής. Μέσα στο εργοστάσιο δημιουργούνται πλέον ιεραρχικές σχέσεις ελέγχου, αποδίδοντας αρμοδιότητες προγραμματισμού και ελέγχου της παραγωγής σε εξειδικευμένο προσωπικό, ενώ ο απλός εργαζόμενος έχει μόνο εκτελεστικό ρόλο. Έτσι διαμορφώνονται στο τέλος του 19ου αιώνα νέες αρχές οργάνωσης παραγωγής και διατυπώνονται από τον Taylor (1895) οι οποίες στηρίζονται στην αντικατάσταση του τεχνίτη-εργάτη από τον ανειδίκευτο εργάτη, που ο ρόλος του στην παραγωγική διαδικασία περιορίζεται στην επαναληπτική εκτέλεση κάποιων στοιχειωδών κινήσεων στις οποίες αναλύεται η διαδικασία αυτή και έτσι τελικά επιτυγχάνεται η φθηνή εργασία, σύμφωνα με τις αρχές της Επιστημονικής Διοίκησης.

Το 1912 επιτυγχάνεται από τον Ford η πρώτη αλυσίδα παραγωγής στο εργοστάσιο, εξοικονομώντας εργατικό δυναμικό, όσον αφορά στη μεταφορά υλικού και αφιερώνεται το σύνολο του χρόνου στην ίδια την παραγωγή, εισάγεται ο κοινός ρυθμός εργασίας των ανθρώπων στη γραμμή παραγωγής και προωθείται η συστηματική χρήση μηχανών που όπου είναι εφικτό αντικαθιστούν τους εργάτες και εξασφαλίζουν υψηλότερη παραγωγικότητα.

Στα μέσα του 20ού αιώνα νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται και εντάσσονται στην παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα εισάγεται η ρομποτική, συστήματα CAD/CAM, έμπειρα συστήματα, συστήματα CIM όπου όλες οι λειτουργίες της παραγωγής υποστηρίζονται από μία βάση δεδομένων που αφορούν τη σχεδίαση των προϊόντων και τη βιομηχανοποίηση, καθώς και από άλλα προηγμένα συστήματα. Αρχίζει η αυτοματοποίηση όλων των παραγωγικών λειτουργιών και η μείωση της ανθρώπινης φθοράς μέσω χειρωνακτικής εργασίας που μετατρέπεται πλέον σε διανοητική και νευρική καταπόνηση.

1.2.2 Εξελικτική πορεία των συστημάτων σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής

Οι διαδικασίες προγραμματισμού παραγωγής που έχουν εφαρμοστεί από τις περισσότερες εταιρείες κατά τα τελευταία 20 χρόνια βασίζονται στον προγραμματισμό των υλικών απαιτήσεων (MRP I) και τη λογική του προγραμματισμού των πόρων παραγωγής (MRP II) (Davies et al., 2002). Το Σχήμα 2 παρέχει μία επισκόπηση της εμφάνισης των διαφόρων εφαρμογών και τις σχετικές αρχιτεκτονικές συστημάτων με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 2: Η διεξόδυση των συστημάτων σχεδιασμού (Davies et al., 2002)

Η έννοια του MRP I αναπτύχθηκε και εξευγενίστηκε από τον Orlicky στην IBM τη δεκαετία του 1960 και του 1970 (Walle, 1999). Είναι ένα μαθηματικό εργαλείο μοντελοποίησης για να βοηθήσει τους υπεύθυνους σχεδιασμού να καθορίσουν τις ανάγκες εξαρτημένων πόρων, όπως είναι οι πρώτες ύλες, τα μέρη και οι υποσυγκροτήματα σε μια κατασκευή ή ο αποθηκευτικός χώρος. Η έννοια του MRP II στοχεύει στην εξάλειψη των αδυναμιών του MRP I με την ενσωμάτωση πρόσθετων μεθόδων σχεδιασμού. Περιλαμβάνει γενικά το MRP I ως ένα συστατικό στοιχείο. Επομένως, ουσιαστικά δεν άλλαξε αλλά βελτίωσε τη λογική προγραμματισμού (Bartsch and Bickenbach, 2002). Η εφαρμογή του MRP II προωθήθηκε από τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων υπολογιστών, που οδήγησε στην ενσωμάτωση πληροφοριών, που προηγουμένως ήταν διάσπαρτες, σε ενωμένα συστήματα προγραμματισμού πόρων με κοινή βάση δεδομένων

(Steven and Krüger, 2002). Η λογική MRP είναι ενσωματωμένη σε όλα τα μεγάλα συστήματα ERP, όμως τα συστήματα ERP υπερβαίνουν τη λογική MRP II για να διαχειριστούν όλη την επιχείρηση και να ξεπεράσουν τα λειτουργικά όρια εντός μιας επιχείρησης. Το λογισμικό γενικά συντάσσεται σε σειρά ενοτήτων, κάθε μία από τις οποίες καλύπτει ιδιαίτερα λειτουργικά στοιχεία της εταιρείας, όπως οι πωλήσεις, το λογιστήριο, οι ανθρώπινοι πόροι, τη παραγωγή, την εφοδιαστική αλυσίδα (Walle, 1999). Σήμερα, τα συστήματα ERP αποτελούν τη "ραχοκοκαλιά" όλων των επιχειρηματικών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων προηγμένου σχεδιασμού και προγραμματισμού APS. Ο στόχος των συστημάτων ERP είναι να υποστηρίξουν τις διακλαδικές και διαλειτουργικές συναλλαγές. Ωστόσο, η πραγματική υποστήριξη παρέχεται μόνο για μεμονωμένες δραστηριότητες όπως αλγόριθμοι για την ταξινόμηση των παρτίδων (Steven and Krüger, 2002).

1.3 Παράμετροι Συστημάτων Παραγωγής

1.3.1 Προβλέψεις

Οι προβλέψεις και οι μέθοδοι προβλέψεων θεωρούνται αναγκαίο και αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων παραγωγής διότι τα μεγέθη που αφορούν τη ζήτηση και την κατανάλωση των προϊόντων δεν μπορούν να αποδοθούν με ακρίβεια. Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος της παραγωγής απαιτούν εκτιμήσεις όσον αφορά την ποσότητα και το χρόνο που αναμένεται να ζητηθεί το προϊόν ενός παραγωγικού συστήματος. Οι εκτιμήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση των προγραμμάτων παραγωγής, προμήθειας πρώτων υλών, απασχόλησης ανθρώπινου δυναμικού. Τα προγράμματα αυτά θα είναι τόσο αποτελεσματικά, σε σχέση με το σκοπό του παραγωγικού συστήματος, όσο αξιόπιστες είναι οι σχετικές προβλέψεις.

1.3.2 Αποθέματα

Απόθεμα παραγωγής είναι το σύνολο των υλικών που βρίσκονται στο στάδιο της επεξεργασίας ή περιμένουν επεξεργασία. Η δημιουργία των αποθεμάτων μπορεί να είναι είτε σχεδιασμένη, είτε αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων (κακός προγραμματισμός, ύπαρξη σημείου μπουτλιαρίσματος-bottleneck).

Η διαχείριση των αποθεμάτων πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων, αποτελεί σημαντική λειτουργία σε ένα παραγωγικό σύστημα καθώς τα αποθέματα δεσμεύουν ένα μεγάλο ποσοστό του κεφαλαίου κίνησης των επιχειρήσεων. Επίσης δεσμεύουν ένα σημαντικό μέρος του διατιθέμενου χώρου σε μία επιχείρηση, ενώ η προμήθεια, η φύλαξη, η συντήρηση, η ασφάλιση και, γενικά, η διαχείριση των αποθεμάτων κοστίζουν. Επιπλέον, με τη διατήρηση αποθεμάτων τελικών προϊόντων μπορεί να αποσυνδεθεί το παραγωγικό σύστημα από τις διακυμάνσεις της ζήτησης, αφού μία αύξηση της ζήτησης σε κάποια περίοδο θα μπορεί να αντιμετωπιστεί με υπάρχοντα αποθέματα, χωρίς δηλαδή αντίστοιχη αύξηση της παραγωγής κατά την περίοδο αυτή. Η ύπαρξη επαρκών πρώτων υλών και ενδιάμεσων αποθεμάτων, εξασφαλίζει τη συνεχή, χωρίς διακοπές, τροφοδότηση του παραγωγικού συστήματος, τη διατήρηση της ομαλής ροής της παραγωγής, την ανεξάρτητη λειτουργία μεταξύ των παραγωγικών σταδίων, την αύξηση του ρυθμού παραγωγής και την ελάττωση του βιομηχανικού κόστους. Γενικά, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποθεμάτων μπορεί να οριστεί ως πρόβλημα εξισορρόπησης, συνήθως μέσα σε

συνθήκες αβεβαιότητας, μεταξύ του κόστους έλλειψης και του κόστους πλεονάσματος αποθεμάτων πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων ενός παραγωγικού συστήματος (Φίλης, 2006).

1.3.3 Προγραμματισμός απαιτούμενων υλικών

Τα συστήματα προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών αφορούν τη διαχείριση υλικών που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής και είτε παραγγέλλονται σε εξωτερικούς προμηθευτές είτε κατασκευάζονται από το ίδιο το παραγωγικό σύστημα. Η ζήτηση για αυτά είναι εσωτερική, προέρχεται δηλαδή από το ίδιο το σύστημα και είναι εξαρτημένη και ασυνεχής. Ο καθορισμός των ποσοτήτων και του χρόνου που πρέπει να είναι διαθέσιμες, στηρίζεται στις απαιτήσεις για υλικά, που καθορίζει συγκεκριμένα το σύστημα παραγωγής και όχι σε προβλέψεις.

Ο στόχος των συστημάτων προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών είναι η εξασφάλιση των ποσοτήτων των υλικών ώστε να είναι διαθέσιμα στους χρόνους που χρειάζονται χωρίς να δημιουργούνται καταστάσεις υποαποθέματος, όπου και υπάρχει κίνδυνος να διακοπεί η παραγωγική διαδικασία. Παράλληλα πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία υπεραποθέματος, αφού συνεπάγεται δέσμευση κεφαλαίων, δαπάνες αποθήκευσης κλπ. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να προβλέπει τις ποσότητες και τη χρονική στιγμή που πρέπει να παραγγελθεί κάθε υλικό που χρησιμοποιείται ως εισροή στην παραγωγική διαδικασία.

- **Συγκεντρωτικός Προγραμματισμός Παραγωγής:** Ο συγκεντρωτικός προγραμματισμός παραγωγής είναι η δραστηριότητα με την οποία καθορίζεται το πλάνο της παραγωγής συγκεντρωτικά. Το συγκεντρωτικό πρόγραμμα παραγωγής περιλαμβάνει τις μεσοπρόθεσμες αποφάσεις της διοίκησης για τις τιμές των βασικών μεγεθών της παραγωγής. Τα μεγέθη αυτά είναι το συνολικό ύψος της παραγωγής, της απασχόλησης και των αποθεμάτων, συνήθως σε μηνιαία βάση, που τίθενται ως στόχοι για ένα μεσοπρόθεσμο ορίζοντα προγραμματισμού.

Το συγκεντρωτικό πρόγραμμα παραγωγής αποτελεί το πλαίσιο, μέσα στο οποίο οργανώνεται και αναπτύσσεται η παραγωγική δραστηριότητα ενός συστήματος. Περιλαμβάνει ένα σύνολο στόχων που τίθενται για το σύστημα και αφορούν την παραγωγή, την απασχόληση και τα αποθέματα για κάθε περίοδο. Οι στόχοι αυτοί είναι παράλληλα και περιορισμοί του συστήματος, όσον αφορά την παραγωγική λειτουργία.

- **Χρονικός Προγραμματισμός Παραγωγής:** Εκτός από το πρόβλημα του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού της δυναμικότητας κάθε συστήματος παραγωγής, 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.

Με βάση τη διαθέσιμη δυναμικότητα και τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων ζητείται το όσο είναι δυνατό το καλύτερο. Οι απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων μεταφράζονται μέσω των καταλόγων υλικών (bill of materials),

των προβλέψεων και των παραγγελιών των πελατών σε απαιτήσεις για παραγωγικούς πόρους. Οι περιορισμοί αφορούν τη δυναμικότητα, την ακολουθία των δραστηριοτήτων που ορίζει η υπάρχουσα τεχνολογία, τις απαιτήσεις για συντήρηση των μηχανών. Οι μεταβλητές απόφασης αφορούν το μέγεθος μιας παρτίδας παραγωγής, τη φόρτωση των μηχανών, τη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών. Τέλος, η συνάρτηση κόστους αφορά την πλήρωση κάποιων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στην εξυπηρέτηση των πελατών, στο συνολικό κόστος λειτουργίας, στην αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας. Έτσι ένα πρόγραμμα είναι καλύτερο από ένα άλλο αν το πρώτο ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

- Προγραμματισμός Έργων: Τα προβλήματα προγραμματισμού και οργάνωσης της εκτέλεσης ενός έργου έχουν να κάνουν με το μεγάλο πλήθος των επιμέρους δραστηριοτήτων. Τα παραπάνω προβλήματα αποκτούν ιδιαίτερη σημασία λόγω της κλίμακας των έργων, του κόστους κατασκευής τους, του ρόλου τους στην οικονομική και κοινωνική ζωή (όπως ένα λιμάνι ή ένα φράγμα) κλπ. Το ζητούμενο σε τέτοια προβλήματα μπορεί να είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου, του συνολικού κόστους, του κόστους για ένα δεδομένο ολικό χρόνο, του χρόνου εκτέλεσης για ένα δεδομένο κόστος και των πόρων που αδρανούν (Δίπλας και Τσακίρης, 2004).

1.4 Τύποι Παραγωγικών Συστημάτων

Η κατηγοριοποίηση των συστημάτων παραγωγής γίνεται βάσει τον αριθμό των μηχανών, τη ροή των υλικών και των προϊόντων, τη διάταξη των τμημάτων που απαρτίζουν τις παραγωγικές μονάδες, το επίπεδο αυτοματοποίησης, καθώς και την ευελιξία του συστήματος. Έτσι γίνεται η παρακάτω διάκριση:

- *Single Machine Shop* (Μοναδιαίες μηχανές): Το πρόβλημα του προγραμματισμού μιας μηχανής ή ενός πόρου, είναι η διαδικασία της ανάθεσης μιας ομάδας καθηκόντων σε ένα μόνο μηχανήμα ή έναν πόρο. Τα καθήκοντα διατάσσονται έτσι ώστε ένα ή πολλά αξιολογικά κριτήρια να μπορούν να βελτιστοποιηθούν. Το πρόβλημα της μιας μηχανής σπάνια συναντάται πλέον (Herrmann, 2007).
- *Parallel Machine Shop* (Παράλληλα συνδεδεμένες μηχανές): Σε αυτή την περίπτωση μερικές διεργασίες πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία από δυο παράλληλα συνδεδεμένες μηχανές, ταυτόχρονα (Lin and Chen, 2002). Οι μηχανές αυτές μπορεί να είναι:
 - ❖ Ίδιες μηχανές, συνδεδεμένες παράλληλα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όταν απαιτείται η επεξεργασία μιας εργασίας, αυτό μπορεί να γίνει σε όποια μηχανή είναι διαθέσιμη. Στόχος του χρονοπρογραμματισμού είναι η ελαχιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης.
 - ❖ Μηχανές με διαφορετική ταχύτητα, συνδεδεμένες παράλληλα (ομοιόμορφες μηχανές). Σε αυτή τη περίπτωση οι μηχανές που συνδέονται παράλληλα έχουν διαφορετικές ταχύτητες. Αυτό μπορεί π.χ. να οφείλεται στο ότι κάποια μηχανή είναι παλαιότερης

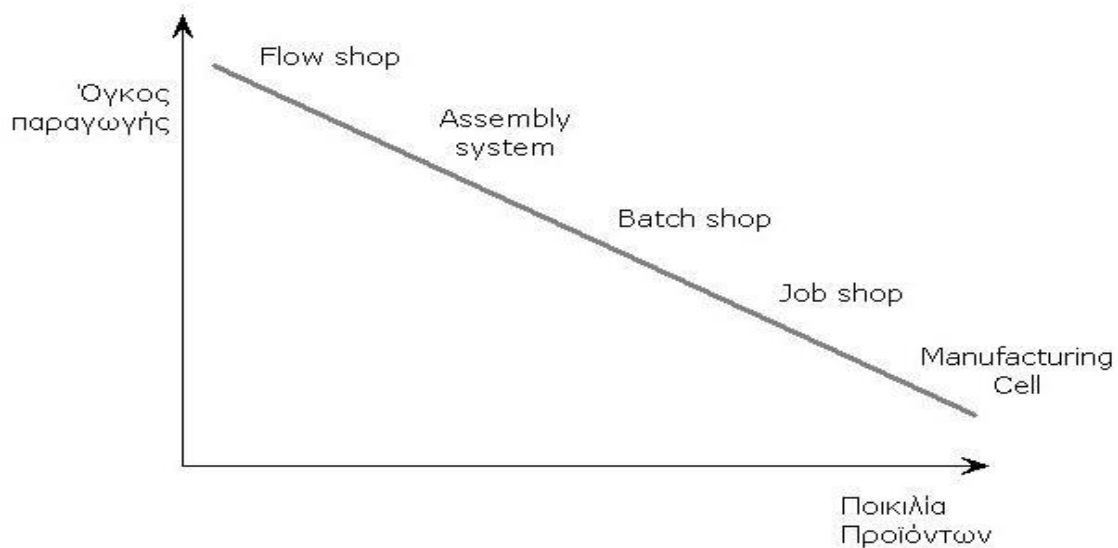
τεχνολογίας (και συνεπώς βραδύτερη) από μια άλλη. Αν οι μηχανές έχουν τις ίδιες ταχύτητες τότε αυτό το περιβάλλον είναι όμοιο με το προηγούμενο.

- ❖ Ασυσχετίστες μηχανές, συνδεδεμένες παράλληλα. Το περιβάλλον αυτό είναι μια γενίκευση του προηγούμενου. Υπάρχουν διαφορετικές μηχανές συνδεδεμένες παράλληλα. Μια μηχανή μπορεί να επεξεργαστεί μια εργασία με μια συγκεκριμένη ταχύτητα. Αν οι ταχύτητες των μηχανών είναι ανεξάρτητες των εργασιών, τότε αυτό το περιβάλλον είναι όμοιο με το προηγούμενο (Γεωργόπουλος, 2004).
- *Flow Shop* (Συνεχούς ροής): Στα συστήματα αυτά, η παραγωγή εξειδικεύεται σε ένα συγκεκριμένο αριθμό τυποποιημένων προϊόντων που παράγονται σε αντίστοιχες γραμμές παραγωγής και προορίζονται για μαζική κατανάλωση. Οι διεργασίες περνούν από στάδια επεξεργασίας, τα οποία μπορεί να είναι διακριτά, όπως σε μια εταιρεία επεξεργασίας τροφίμων, ή συνεχή, όπως σε ένα διυλιστήριο. Η πορεία των διεργασιών μέσα στο σύστημα είναι η ίδια για κάθε προϊόν, ακολουθώντας μια νοητή ευθεία γραμμή. Σε ορισμένα συστήματα συνεχούς ροής, αν μια διεργασία δεν χρειάζεται επεξεργασία σε μια συγκεκριμένη μηχανή, μπορεί να την παρακάμψει. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως μη μεταθετικά συστήματα (*non-permutation* ή *general flow shop*) και θεωρούνται τα πιο αντιπροσωπευτικά συνεχούς ροής συστήματα, γιατί αποτελούν μια καλή αναπαράσταση των πρακτικών προβλημάτων. Άλλα συστήματα συνεχούς ροής δεν επιτρέπουν αυτή τη παράκαμψη, λειτουργώντας με τον κανόνα *FIFO* (*First-In-First-Out*) και ονομάζονται μεταθετικά συστήματα συνεχούς ροής (*permutation flow shop*). Μια γενίκευση των συστημάτων είναι τα ευέλικτα ή σύνθετα ή υβριδικά, τα οποία αποτελούνται από ένα αριθμό σταδίων σε σειρά με ένα αριθμό μηχανών συνδεδεμένων παράλληλα σε κάθε στάδιο (συνδυασμός μηχανών συνδεδεμένων παράλληλα και συνεχούς ροής). Οι διεργασίες υφίστανται επεξεργασία σε κάθε στάδιο σε οποιαδήποτε από τις παράλληλες μηχανές. Οι ουρές μεταξύ των διάφορων σταδίων συνήθως λειτουργούν με βάση τον κανόνα *FIFO*. Ο παραπάνω τύπος συστήματος συναντάται συνήθως στις βιομηχανίες καλλυντικών, τροφίμων και στις υφαντουργίες. Στα ευέλικτα αποκλίνοντα συστήματα συνεχούς ροής (*diverging flexible flow shop*), κάθε στάδιο έχει τουλάχιστον όσες μηχανές είχε και το προηγούμενό του (Καρόπουλος, 2005).
- *Job Shop* (Κατά παραγγελία): Τα συστήματα κατά παραγγελία είναι συνήθως μικρά συστήματα παραγωγής που χειρίζονται παραγωγικές διεργασίες, ειδικά επί παραγγελία από μικρού έως μεσαίου μεγέθους παραγγελίες των πελατών ή εργασίες που αφορούν παραγωγή σε παρτίδες. Οι προδιαγραφές της κάθε παραγγελίας τίθενται από τον πελάτη, και εφόσον είναι διαφορετικές ανά παραγγελία, η γραμμή παραγωγής είναι επίσης διαφορετική για κάθε μια, ανεξάρτητα από το αν θα χρησιμοποιηθεί ένα συγκεκριμένο πλήθος παραγωγικών μονάδων. Οι μηχανές κατηγοριοποιούνται στην παραγωγή ανάλογα με τη φύση των δεξιοτήτων και τις τεχνολογικές διαδικασίες που συμπεριλαμβάνονται, εξασφαλίζοντας έτσι ευελιξία στο σύστημα παραγωγής εφόσον οι εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε περισσότερες από μια μηχανές. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες συστημάτων κατά παραγγελία. Σε ένα τυπικό σύστημα παραγωγής τύπου κλειστού συστήματος κατά παραγγελία, κάθε παραγγελία είναι μοναδική και έχει ένα μοναδικό

δρομολόγιο. Οι διάφορες διεργασίες εκτελούνται με τη σειρά σαν μια μεγάλη παρτίδα από διάφορα τμήματα που προωθούνται μαζί διαμέσου του συστήματος παραγωγής. Ένα σύστημα παραγωγής που παράγει προϊόντα τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν ώστε να εξυπηρετήσουν μια μελλοντική ζήτηση και δεν απευθύνονται αποκλειστικά σε συγκεκριμένες παραγγελίες, είναι γνωστό ως *open shop*. Μπορεί δηλαδή να υπάρχουν πολλοί πελάτες που ζητούν τα ίδια (ή σχεδόν τα ίδια) προϊόντα και έτσι έχει νόημα η αποθήκευση τελικών προϊόντων ή η εκτροπή δραστηριοτήτων που ήταν προορισμένες για ένα πελάτη, προς χάρη ενός άλλου πελάτη μεγαλύτερης προτεραιότητας (*multi-use parts*). Μια άλλη κατηγορία είναι τα ευέλικτα συστήματα κατά παραγγελία (*job shop* με ίδιες μηχανές), τα οποία αποτελούν μια γενίκευση των απλών συστημάτων κατά παραγγελία. Σε αυτά, κάθε παραγωγική μονάδα αντικαθίσταται από έναν αριθμό μηχανών συνδεδεμένων παράλληλα. Όταν μια διεργασία, στη διάρκεια του δρομολογίου της, φτάσει σε αυτή τη παραγωγική μονάδα με τις παράλληλες μηχανές, μπορεί να υποστεί επεξεργασία σε οποιαδήποτε από τις μηχανές. Τέλος, σε μια πιο πολύπλοκη θεώρηση του συστήματος, μια διεργασία μπορεί να περάσει από μια συγκεκριμένη μηχανή αρκετές φορές κατά τη διάρκεια του δρομολογίου της. Τότε λέμε ότι αυτά τα συστήματα υπόκεινται σε επανακυκλοφορία (*recirculation*) (Vinoda and Sridharan, 2011).

- *Batch Shop Systems* (Κατά παρτίδες): Είναι το σύστημα παραγωγής κατά το οποίο επιτυγχάνεται η παραγωγή τμημάτων των προϊόντων σε συγκεκριμένες παρτίδες εξασφαλίζοντας έτσι οικονομίες μεγάλης κλίμακας για παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων πανομοιότυπων προϊόντων.
- *Assembly Systems* (Συναρμολόγησης): Ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί το επιστέγασμα για την υλοποίηση του προϊόντος, όπου τα συστατικά μέρη και υποσυγκροτήματα ενσωματώνονται μαζί για να σχηματίσουν τα τελικά προϊόντα. Καθώς η ποικιλία των προϊόντων αυξάνεται λόγω της μετάβασης από τη μαζική παραγωγή στη μαζική προσαρμογή, τα συστήματα συναρμολόγησης πρέπει να σχεδιάζονται κατάλληλα ώστε να μπορούν να χειριστούν τόσο μεγάλη ποικιλία. Εδώ υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός διαφορετικών τύπων προϊόντων και το σύστημα πρέπει να παράγει μια συγκεκριμένη ποσότητα από κάθε τύπο προϊόντος. Η κίνηση των διεργασιών σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχεται συχνά από ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο θέτει περιορισμούς στους χρόνους έναρξης των διεργασιών στις διάφορες μηχανές (Hu et al, 2011).
- *Manufacturing Cells* : Είναι σύνολα μηχανημάτων που ομαδοποιούνται από τα προϊόντα ή εξαρτήματα που παράγουν, σε ένα «ισχνό» περιβάλλον παραγωγής. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται στην κυτταρική έννοια κατασκευής, η οποία είναι διακριτή από το παραδοσιακό λειτουργικό σύστημα παραγωγής, στο οποίο όλες οι παρόμοιες μηχανές ομαδοποιούνται. Η χρήση των κυττάρων παραγωγής βελτιώνει τη ροή του υλικού και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για την παραγωγή των παρτίδων, ακόμα και σε σχετικά χαμηλές ποσότητες

- *JIT (Just-In-Time) Systems*: Η πολιτική των συστημάτων αυτών είναι τα τελικά προϊόντα να παράγονται ακριβώς τη στιγμή που πρέπει να παραχθούν και διέπει όλο το σύστημα από την στιγμή που αγοράζονται οι πρώτες ύλες μέχρι την στιγμή που το προϊόν φτάνει στο τελικό στάδιο επεξεργασίας. Στα συστήματα αυτά στόχος είναι η μείωση στα κόστη αποθήκευσης των προϊόντων (ενδιάμεσων και τελικών), η υψηλότερη ποιότητα των τελικών προϊόντων, η αυξημένη ικανότητα προσαρμογής στις απαιτήσεις των πελατών και τελικά η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους κατασκευής. Απαραίτητη προϋπόθεση σε αυτή την περίπτωση είναι οι παραγωγοί να γνωρίζουν με ακρίβεια τη ζήτηση του προϊόντος στην αγορά (Καρόπουλος 2005).



Σχήμα 3: Σχέση μεταξύ των κυριότερων συστημάτων παραγωγής, του όγκου παραγωγής και της ποικιλίας των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν (Καρόπουλος, 2005)

1.5 Προγραμματισμός Παραγωγής

Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος της παραγωγής ενός παραγωγικού συστήματος είναι μία διαδικασία που αποτελεί το θεμέλιο λίθο για την λειτουργία μιας παραγωγικής μονάδας. Ο προγραμματισμός ορίζεται γενικά ως η κατανομή των πόρων στη διάρκεια συγκεκριμένου χρόνου ώστε να εκτελεστούν κάποιες διεργασίες (Baker, 1974). Ο όρος προγραμματισμός της παραγωγής, περιλαμβάνει όλες εκείνες τις διαδικασίες και τις αποφάσεις που πρέπει να γίνουν και να ληφθούν αντίστοιχα, ούτως ώστε να τεθεί σε λειτουργία ο μηχανισμός της παραγωγής των προϊόντων. Συνεπώς, οι αποφάσεις αυτές περιλαμβάνουν προϊόντα που πρέπει να παραχθούν, ποσότητες που πρέπει να παραχθούν καθώς επίσης και την καταλληλότερη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσουν τα προϊόντα για την παραγωγής τους.

Ο προγραμματισμός και σχεδιασμός της παραγωγής βοηθά τους επιχειρηματίες να επιλύσουν τα προβλήματα της ποσότητας του υλικού, του ανθρώπινου δυναμικού, του μηχανολογικού εξοπλισμού και των χρημάτων που απαιτούνται για ένα προκαθορισμένο επίπεδο παραγωγής σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Με τις τρέχουσες παγκόσμιες αγορές και τον παγκόσμιο

ανταγωνισμό, πίεση τίθεται στις παραγωγικές εταιρίες να συμπίεζουν τους χρόνους εκπλήρωσης των παραγγελιών, να πληρούν την τήρηση των υποχρεώσεων παράδοσης με συνεπή τρόπο, αλλά και να διατηρούν την αποτελεσματικότητα στις διεργασίες για την αντιμετώπιση του κόστους (McCarthy, 2006).

Ο προγραμματισμός της παραγωγής, αποτελεί το πλάνο το οποίο καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας μιας παραγωγικής μονάδας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το διάστημα αυτό μπορεί να είναι από μία μέρα μέχρι και ένας χρόνος. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα πρέπει να εφαρμοστούν στην πράξη όλα όσα σχεδιάστηκαν και αποφασίστηκαν κατά την δημιουργία του προγράμματος παραγωγής. Σύμφωνα με τα όσα προηγήθηκαν, εύκολα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι ο σχεδιασμός του προγράμματος παραγωγής είναι μία διαδικασία στην οποία στηρίζεται η μετέπειτα συμπεριφορά και λειτουργία της παραγωγικής μονάδας. Στην σημερινή ανταγωνιστική οικονομία, ο σωστός προγραμματισμός είναι το κυριότερο στοιχείο για να μπορέσει μια επιχείρηση να ανταποκριθεί άμεσα και γρήγορα στην ζήτηση της αγοράς. Από την στιγμή που θα προγραμματιστεί ο τρόπος με τον οποίο θα είναι σε θέση η παραγωγική μονάδα να ανταποκριθεί, χωρίς περαιτέρω ενέργειες, σε οποιαδήποτε ποσότητα της ζητηθεί, πρέπει παράλληλα με την παραγωγή να γίνεται και έλεγχος της τελευταίας για το αν όντως παράγονται οι προγραμματισμένες ποσότητες στον προκαθορισμένο χρόνο.

Ένας από τους κύριους τομείς στην έρευνα του προγραμματισμού είναι η έρευνα στην μηχανική των συστημάτων διεργασιών. Αυτό οδήγησε σε πληθώρα τεχνικών, αλγορίθμων και ευριστικών μεθόδων προγραμματισμού (Morton and Pentico, 1993). Λόγω της προόδου στους υπολογιστές, αυτές οι τεχνικές έχουν βρει το δρόμο τους σε εμπορικά πακέτα λογισμικών. Ωστόσο, η λειτουργικότητα που παρέχεται στα πακέτα αυτά δεν χρησιμοποιείται πάντοτε (LaForge, 2000). Πάνω από τριάντα χρόνια πριν, ο Graves (1981) σημείωσε ότι η θεωρία δεν ήταν επαρκώς ανεπτυγμένη για να εφαρμοστεί. Αυτό το «χάσμα» μεταξύ θεωρίας και πρακτικής εξακολουθεί να υφίσταται, σύμφωνα με τους McKay et al. (2002). Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ευρετικές μέθοδοι μπορούν να βρουν εφικτές λύσεις σε προβλήματα προγραμματισμού, αν μπορούν να διατυπωθούν μαθηματικά. Η εύρεση μιας βέλτιστης λύσης συνήθως απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο και συνεπώς δεν είναι πάντοτε χρήσιμη στην πράξη. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα είναι ισχυρά, αλλά μόνο αν είναι δυνατόν να παραχθούν από δομημένα, καλά καθορισμένα προβλήματα ή εάν μπορούν να κατασκευαστούν απλοποιημένα προβλήματα προγραμματισμού. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι αρκετά προβλήματα προγραμματισμού βιομηχανικής κλίμακας δεν μπορούν εύκολα να διατυπωθούν ως μαθηματικά προβλήματα.

Μια άλλη προσέγγιση στον προγραμματισμό είναι η τεχνητή νοημοσύνη, η οποία προέρχεται από τις γνωστικές επιστήμες. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη βάση της στο έργο των Newell και Simon, (1972). Θεωρούν το έργο του προγραμματιστή ως μια γνωστική διαδικασία κατανόησης και αναγνώρισης των καταστάσεων και των επιλογών για τα κατάλληλα μέτρα. Σε αυτόν τον τομέα έρευνας, η έμφαση δίνεται στην παρατήρηση και περιγραφή των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Έχει επιρροές από την ψυχολογία και επίσης ερευνά άλλες διαδικασίες λήψης αποφάσεων όπως το παιχνίδι του σκακιού (Olson and Biolsi, 1991). Η τυποποίηση και προσομοίωση αυτών των διαφόρων διαδικασιών λήψης αποφάσεων προσέλκυσαν μεγάλη προσοχή. Στα συστήματα εμπειρογνομόνων και στους γενετικούς αλγορίθμους, πολλές μέθοδοι αναπτύχθηκαν (Fox, 1990;,

Metaxiotis et al, 2002, Kent and Steward, 2000). Η τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται αρκετά παρόμοια με την έρευνα των συστημάτων διεργασιών και φαίνεται να υποφέρει από το ίδιο «κενό» μεταξύ της θεωρίας και της πρακτικής. Οι Kempf et al. (1991) σημειώνουν ότι η χρήση συστημάτων προγραμματισμού που αναπτύσσονται στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης συχνά δεν συνεχίζονται μετά το τέλος του ερευνητικού προγράμματος. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Smith (1992) οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης είναι λιγότερο χρήσιμες σε πιο σύνθετα προβλήματα προγραμματισμού.

Λόγω της έλλειψης πρακτικής χρήσης των τεχνικών που προαναφέρθηκαν, ένας άλλος τομέας εμφανίστηκε στον τομέα των γνωστικών επιστημών, ο οποίος επιστρέφει στην αρχική ερευνητική προσέγγιση των Newell και Simon (1972), όπου η προσοχή εστιάζεται στο καθήκον του προγραμματιστή. Σε αυτές τις λεγόμενες προσανατολισμένες εργασίες, η βασική ιδέα είναι ότι η απόφαση πρέπει να βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο ο προγραμματιστής αναθέτει τις οντότητες (μηχανές, παραγγελίες, χειριστές κλπ.), αντί για απλά προβλήματα εκχώρησης οντοτήτων. Η απόφαση πρέπει να αντιστοιχεί στα διαφορετικά βήματα που λαμβάνει ο προγραμματιστής.

Συμπερασματικά, οι μέθοδοι της έρευνας των διεργασιών και τεχνητής νοημοσύνης επικεντρώνονται σε απλοποιημένες καταστάσεις ή απλοποιημένα τμήματα του συνολικού προβλήματος προγραμματισμού και αυτό οδηγεί σε τεχνικές που συχνά δεν χρησιμοποιούνται στην πράξη. Επιπλέον, αυτές οι προσεγγίσεις δεν λαμβάνουν υπόψη την ανθρώπινη πτυχή του προγραμματισμού. Οι έρευνες στον τομέα των γνωστικών επιστημών επικεντρώνονται στην διαδικασία λήψης αποφάσεων και τα καθήκοντα του προγραμματιστή, αλλά ελάχιστη προσοχή δίνεται στον χαρακτηριστικά της διαδικασίας παραγωγής που πρόκειται να προγραμματιστεί. Επομένως, και οι δύο προσεγγίσεις φαίνεται να είναι πολύ γενικές για να είναι πολύτιμες για τη βελτίωση σύνθετων προβλημάτων προγραμματισμού όπως αυτά της επεξεργασίας τροφίμων. Ο προγραμματισμός θα πρέπει να βασίζεται τόσο στα χαρακτηριστικά του συστήματος παραγωγής όσο και στην εργασία του προγραμματιστή και αυτός ο συνδυασμός είναι το κλειδί για μια επιτυχημένη προσέγγιση σε προβλήματα προγραμματισμού.

1.6 Χρονοπρογραμματισμός Παραγωγής

1.6.1 Χρονοπρογραμματισμός στα συστήματα παραγωγής

Ως χρονικός προγραμματισμός της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να οριστεί η διαδικασία οργάνωσης, επιλογής και χρονισμού της χρήσης των παραγωγικών πόρων με σκοπό την εκτέλεση όλων των δραστηριοτήτων που είναι απαραίτητες για την παραγωγή των επιθυμητών προϊόντων στους επιθυμητούς χρόνους, ικανοποιώντας παράλληλα μια πλειάδα περιορισμών ανάμεσα στους πόρους και τις δραστηριότητες (Πάππης, 2006).

Η διαδικασία του χρονικού προγραμματισμού αποτελεί βασικό κομμάτι πλέον στις βιομηχανίες παραγωγής-κατασκευών, αλλά και σε αυτές της παροχής υπηρεσιών. Στο σημερινό ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς, ο αποτελεσματικός προγραμματισμός εργασιών είναι σημαντικός παράγοντας στην επιβίωση μιας επιχείρησης. Οι εταιρείες πρέπει να ανταποκριθούν σε πολλές διορίες που τίθενται από τους πελάτες τους, αλλιώς θα χάσουν την αξιοπιστία τους. Ταυτόχρονα θα πρέπει να προγραμματίσουν τις ενέργειές τους έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τους πόρους τους με αποτελεσματικό τρόπο.

Ο χρονικός προγραμματισμός περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκείνες που απαιτούνται για να διασφαλιστεί η ολοκλήρωση του έργου στον προαποφασισμένο χρόνο, με το αρχικά ορισμένο κόστος και στην ζητούμενη ποιότητα (Project Management Institute, 2008). Οι διαδικασίες αυτές συνοψίζονται ως εξής:

- Καθορισμός των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν το έργο
- Θέσπιση προτεραιοτήτων μεταξύ των δραστηριοτήτων
- Καθορισμός των απαιτούμενων πόρων για την επίτευξη των στόχων
- Εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων του έργου
- Σχεδιασμός χρονοπρογράμματος
- Έλεγχος του έργου

Επομένως, κατά το χρονικό προγραμματισμό καθορίζεται η χρονική αλληλουχία των επί μέρους δραστηριοτήτων, η χρονική κατανομή του παραγωγικού δυναμικού και η ροή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο. Ο χρονικός προγραμματισμός αφορά την δημιουργία χρονοπινάκων (ημερομηνίες έναρξης, ημερομηνίες ολοκλήρωσης, διάρκειες δραστηριοτήτων).

Τα χρονοπρογράμματα είναι βασικά εργαλεία εργασίας για τον προγραμματισμό, την αξιολόγηση και τον έλεγχο του προγράμματος (Καλοειδάς, 2012).

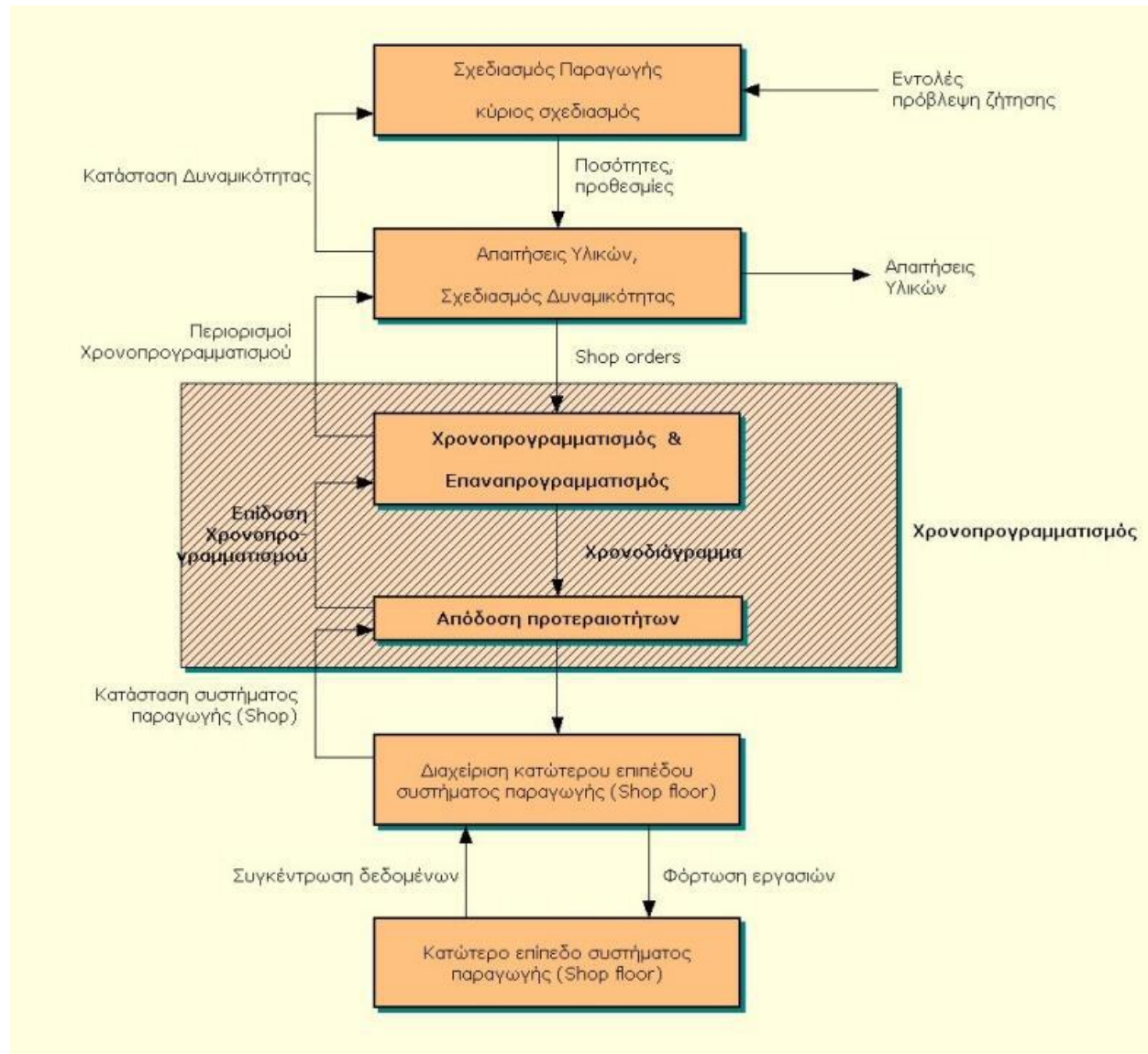
1.6.2 Κύρια κριτήρια αξιολόγησης προγραμμάτων

Στον χρονοπρογραμματισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα κριτηρίων. Τα κριτήρια είναι αυτό που καθορίζει εάν ένα πρόγραμμα είναι κατάλληλο ή όχι. Μπορεί ένα πρόγραμμα σύμφωνα με ένα κριτήριο να είναι ακατάλληλο ενώ το ίδιο πρόγραμμα βάσει ενός άλλου κριτηρίου να είναι πολύ καλό.

Τα διάφορα κριτήρια ή αλλιώς οι αντικειμενικές συναρτήσεις για προβλήματα χρονοπρογραμματισμού παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Χρόνος ολοκλήρωσης (*completion time*): Με τον όρο αυτό καλούμε το χρονικό σημείο στο οποίο όλες οι λειτουργίες όλων των εργασιών έχουν ολοκληρωθεί. Το πρόγραμμα με τη μικρότερη διάρκεια (*makespan*) εκλαμβάνεται συνήθως ως το πρόγραμμα με τη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Η βασική ιδέα πίσω από αυτό είναι πως ολοκληρώνοντας το δοσμένο σύνολο δραστηριοτήτων νωρίτερα θα επιτρέψει νέες δραστηριότητες να ξεκινήσουν νωρίτερα. Το *makespan* δεν λαμβάνει υπόψη του τις ημερομηνίες παράδοσης, κάτι που στη βιομηχανία σε πραγματικές συνθήκες είναι παράγοντας υψηλής προτεραιότητας.
- Ο χρόνος ροής (*flowtime*): Ο χρόνος ροής είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της άφιξης μίας εργασίας στο σύστημα και της αναχώρησης από αυτό. Ο χρόνος ροής μετρά την ανταπόκριση του συστήματος στις διάφορες απαιτήσεις υπηρεσιών.
- Καθυστέρηση (*lateness*): Η καθυστέρηση μετρά την ικανότητα προσαρμογής ενός προγράμματος σε μία δοσμένη ημερομηνία παράδοσης. Η καθυστέρηση «ανταμείβει» τις εργασίες που γίνονται νωρίτερα και «τιμωρεί» αυτές που αργοπορούν. Ο χρόνος ροής και η καθυστέρηση είναι στην πραγματικότητα δύο μορφές του ίδιου μέτρου και καταλήγουν στην ίδια συμπεριφορά χρονοπρογραμματισμού.

- Ο χρόνος βραδύτερης περάτωσης (*tardiness*): Η καθυστέρηση μίας εργασίας εάν αυτή είναι θετική. Αν η καθυστέρηση δεν είναι θετική, ο χρόνος βραδύτερης περάτωσης είναι μηδέν. Ο χρόνος βραδύτερης περάτωσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις συγκεκριμένα κόστη μπορεί να προέρχονται από μία θετική καθυστέρηση ενώ μία αρνητική καθυστέρηση δεν αποφέρει πραγματικά οφέλη. Αυτό είναι ένα καλό μέτρο της χρησιμότητας ενός προγράμματος σε πραγματικούς όρους.



Σχήμα 4: Διάγραμμα ροής δημιουργίας χρονικού προγράμματος παραγωγής (Καρόπουλος, 2005)

- Μέγιστος χρόνος βραδύτερης περάτωσης (*maximum tardiness, T_{max}*): Η ελαχιστοποίηση του μέγιστου χρόνου βραδύτερης περάτωσης είναι σημαντικό μέτρο όταν οι πελάτες

ανέχονται τις μικρές καθυστερήσεις αλλά γίνονται σταδιακά όλο και πιο ανήσυχοι και πιεστικοί όσο αυξάνονται αυτές. Η ελαχιστοποίηση της μέγιστης καθυστέρησης είναι αντίστοιχο πρόβλημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό για τη λύση άλλων προβλημάτων.

- Ο χρόνος νωρίτερης περάτωσης (*earliness*): Το αντίστροφο της καθυστέρησης μίας εργασίας, εάν αυτή είναι αρνητική. Εάν η καθυστέρηση είναι θετική ο χρόνος νωρίτερης περάτωσης είναι μηδέν. Ο χρόνος νωρίτερης περάτωσης αντιστοιχεί σε κάποιες περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρξει κόστος όταν μία δραστηριότητα ολοκληρώνεται πριν την ημέρα παράδοσής της (το κόστος αποθεμάτων ενδέχεται να είναι αρκετά υψηλό).

1.7 Προβλήματα που προκύπτουν σε παραγωγικά συστήματα

1.7.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και τονιστεί επανειλημμένως ο σωστός προγραμματισμός της παραγωγής είναι μείζονος σημασίας για τη βέλτιστη μελλοντική λειτουργία μιας παραγωγικής μονάδας. Ο προγραμματισμός αυτός πρέπει να ορίζει τις κατάλληλες ποσότητες προϊόντων που πρέπει να παραχθούν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με βάση τον προγραμματισμό αυτό ρυθμίζεται και η παραγωγική ροή των προϊόντων της μονάδας. Εξαιτίας κάποιων δυσμενών παραγόντων υπάρχει περίπτωση η ροή αυτή να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιαστικού ορίζοντα. Οι δυσμενείς αυτοί παράγοντες εμφανίζονται με υψηλή πιθανότητα σχεδόν σε όλα τα ρεαλιστικά παραγωγικά συστήματα.

1.7.2 Προβλήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας

Κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα υπάρξουν κάποια απρόσμενα γεγονότα τα οποία θα επηρεάσουν σε κάποιο βαθμό το τρέχον πρόγραμμα παραγωγής, πράγμα που σημαίνει ότι αναγκαστικά θα υπάρξουν διορθωτικές αλλαγές ή ακόμα και επανασχεδιασμός του προγράμματος. Το τι απ' τα δύο θα γίνει είναι συνάρτηση της σημαντικότητας του προβλήματος και του πόσο γρήγορα και εύκολα μπορεί να επιλυθεί. Τα προβλήματα αυτά επειδή προκύπτουν κατά τη διαδικασία του πραγματικού χρόνου της παραγωγής, ονομάζονται γεγονότα πραγματικού χρόνου (*real-time*) και είναι βέβαιο ότι σε κάποια φάση θα επηρεάσουν τον ρυθμό παραγωγής. Επίσης εκτός από αυτά τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της παραγωγής, μπορεί να προκύψουν και άλλου είδους προβλήματα που αφορούν τις πωλήσεις ή τις προμήθειες ή διάφορους άλλους παράγοντες. Τα διάφορα προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν παρουσιάζονται παρακάτω:

- Προβλήματα σχετικά με την λειτουργία των προμηθειών
 - a) Μη διαθεσιμότητα α' & β' υλών
Οι ελλείψεις σε α' και β' ύλες προέρχονται κυρίως από τον κακό προγραμματισμό των προμηθειών και την εσφαλμένη γνώση των πραγματικών αποθεμάτων. Οι συνέπειες είναι προφανείς: αδυναμία εκτέλεσης του προγράμματος παραγωγής και σημαντικές καθυστερήσεις στις παραδόσεις των προϊόντων.
 - b) Ποιότητα α' & β' υλών

Η έγκαιρη παράδοση των α' και β' υλών, δεν εξασφαλίζει πάντοτε την επάρκεια για την κάλυψη των αναγκών της παραγωγής. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της ύπαρξης στις αποθήκες υλικών που δεν πληρούν τις απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές. Οι αστοχίες αυτές μεταφράζονται σε καθυστέρηση για την παραγωγή. Το κόστος του εκάστοτε προβλήματος είναι σε συνάρτηση με τη φάση παραγωγής στην οποία εντοπίζεται και το χρόνο παράδοσης του κάθε υλικού. Βέβαια, σε ορισμένες περιπτώσεις υλικών τα προβλήματα ποιότητας είναι δυνατόν να εντοπιστούν μόνο σε ενδιάμεσα στάδια παραγωγής μετά την αρχική επεξεργασία τους και όχι κατά τη φάση της παραλαβής τους.

- Προβλήματα σχετικά με την λειτουργία της παραγωγής.
 - a) Εσφαλμένος προγραμματισμός παραγωγής
Η εσφαλμένη εκτίμηση των χρόνων παραγωγής των προϊόντων και η αδυναμία προσδιορισμού της βέλτιστης αλληλουχίας παραγωγής τους οδηγούν στη διαμόρφωση “ασταθών” προγραμμάτων παραγωγής, τα οποία υπό το βάρος των αρχικών αδυναμιών τους ανατρέπονται και εμφανίζουν σημαντικές χρονικές αποκλίσεις σε σχέση με τις υποσχόμενες ημερομηνίες.
 - b) Προβλήματα οργάνωσης παραγωγής
Η εμφάνιση αστοχιών στις τεχνικές προδιαγραφές των παραγομένων προϊόντων, τα λάθη στον υπολογισμό των απαιτούμενων υλικών για την υλοποίηση μιας εντολής και οι εσφαλμένες ρυθμίσεις των μηχανών αποτελούν αιτίες σημαντικών αποκλίσεων στα προγράμματα παραγωγής. Ιδιαίτερα οι βιομηχανίες που κατά βάση ακολουθούν το μοντέλο “παραγωγής κατά παραγγελία” αντιμετωπίζουν εντονότερα προβλήματα οργάνωσης κυρίως λόγω της μεγάλης ποικιλίας των παραγομένων προϊόντων, των ιδιαίτερων απαιτήσεων των πελατών και της δυσκολίας τυποποίησης της παραγωγικής διαδικασίας.
 - c) Βλάβες εξοπλισμού
Σε όλες τις βιομηχανίες που χαρακτηρίζονται ως “εντάσεως κεφαλαίου”, η πιστή εκτέλεση του προγράμματος παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αδιάλειπτη λειτουργία του παραγωγικού εξοπλισμού. Η εμφάνιση βλαβών οδηγεί σε καθυστερήσεις στο πρόγραμμα παραγωγής και κατά συνέπεια σε εκπρόθεσμες παραδόσεις.
- Προβλήματα σχετικά με την λειτουργία των πωλήσεων.
 - a) Εμβόλιμες-Έκτακτες παραγγελίες
Επιθυμία κάθε βιομηχανίας είναι η ικανοποίηση των αναγκών των πελατών της. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως, που στο όνομα της άμεσης εκτέλεσης εκτάκτων παραγγελιών, παρεμβάλλονται εμβόλιμες εντολές στο πρόγραμμα παραγωγής, ανατρέποντας τον αρχικό σχεδιασμό και δημιουργώντας σημαντική αναστάτωση και καθυστερήσεις στην παραγωγική διαδικασία.
 - b) Παραγγελία προϊόντων με ειδικές προδιαγραφές
Η παραγωγή προϊόντων με ειδικές προδιαγραφές, τα οποία διαφοροποιούνται από την κλασική γκάμα προϊόντων της εταιρίας, είναι συνήθως ευάλωτη στην εμφάνιση κατασκευαστικών λαθών και χρονικών καθυστερήσεων λόγω του πλήθους και του είδους των ιδιαιτεροτήτων που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

c) Εσφαλμένες προβλέψεις πωλήσεων

Η πρόβλεψη της ζήτησης αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία κυρίως για τις εταιρίες που παράγουν για απόθεμα. Η πλημμελής υλοποίησή της οδηγεί σε σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματική ζήτηση. Κατά συνέπεια είναι πιθανόν η εταιρία να αδυνατεί να ανταποκριθεί στους υπεσχημένους χρόνους παράδοσης, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται προβλήματα στις προμήθειες των α' υλών.

- Άλλες αιτίες

a) Έλλειψη συνεργασίας παραγωγής & πωλήσεων

Είναι γνωστό ότι τα τμήματα παραγωγής επιζητούν ένα σταθερό πρόγραμμα παραγωγής, ενώ από την άλλη πλευρά, τα τμήματα πωλήσεων επιθυμούν τη μέγιστη δυνατή ευελιξία. Επιπλέον, ορισμένες φορές τα τμήματα πωλήσεων και παραγωγής δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους με αρνητικές συνέπειες για το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών.

b) Ανεπαρκείς αποθηκευτικοί χώροι

Σε αρκετές βιομηχανίες η διαχείριση των αποθηκευτικών χώρων έτοιμων προϊόντων και α' υλών, καθίσταται δυσχερής λόγω περιορισμένης έκτασης. Τα προβλήματα εντείνονται, όσο η γκάμα των παραγόμενων προϊόντων αυξάνει και από την εμφάνιση φαινόμενων αδυναμίας(για οικονομικούς κυρίως λόγους)των πελατών να παραλάβουν τις παραγγελίες τους.

c) Απουσία προσωπικού

Οι βιομηχανίες που είναι εντάσεως εργασίας, αντιμετωπίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό προβλήματα σε ενδεχόμενη απουσία εργαζομένων από την παραγωγή. Βέβαια, σε κάθε περίπτωση το πόσο επιζήμια θα αποδειχθεί η απουσία κάποιου εργαζόμενου εξαρτάται και από το περιεχόμενο της εργασίας που εκτελεί.

d) Απρόβλεπτες-ειδικές καταστάσεις

Σε πολλές περιπτώσεις συμβαίνουν γεγονότα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν πλήρως και εξαρτώνται από το είδος της παραγωγικής διαδικασίας, τη γεωγραφική θέση μιας εταιρείας, τις κλιματολογικές συνθήκες και άλλους αστάθμητου παράγοντες. Λόγω της φύσης τους, επομένως, χρήζουν ειδικής αντιμετώπισης (Tersine & Hummingbird, 1996).

1.7.3 Διάσπαση των προβλημάτων προγραμματισμού

Η διάσπαση («τεμαχισμός») είναι μια κοινή τεχνική για την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων. Οι Onacik και Uzsoy (1997) δηλώνουν ότι οι μέθοδοι διάσπασης προσπαθούν να αναπτύξουν λύσεις για πολύπλοκα προβλήματα με τον τεμαχισμό τους σε μια σειρά μικρότερων υπό-προβλημάτων, τα οποία είναι πιο ευδιάκριτα και πιο κατανοητά. Οι Onacik και Uzsoy (1997) δίνουν δύο ακόμη επιχειρήματα υπέρ της διάσπασης. Πρώτον, δεν είναι όλα τα μέρη ενός προβλήματος εξίσου σημαντικά. Η αντιμετώπιση των υπό-προβλημάτων βάση σημαντικότητας, μπορεί να δώσει μια ποιοτική λύση. Δεύτερον, διαφορετικές λειτουργίες που πρέπει να προγραμματιστούν μπορούν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Αυτή η συγκεκριμένη δομή μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί για να κερδίσει υπολογιστικά πλεονεκτήματα εάν χρησιμοποιηθεί ως βάση για μεθόδους διάσπασης. Μετά την επίλυση των μεμονωμένων υπό-προβλημάτων, οι λύσεις ενσωματώνονται για να σχηματίσουν μια λύση για το αρχικό πρόβλημα.

Οι συνδυασμένες λύσεις από τα δευτερεύοντα προβλήματα ενδέχεται να μην είναι πάντα μια ενιαία λύση για το όλο πρόβλημα. Ωστόσο, αν η αποσύνθεση πραγματοποιείται προσεκτικά, οι συνδυασμένες λύσεις μπορεί να είναι καλές προσεγγίσεις της ενιαίας λύσης, ενώ είναι πολύ πιο εύκολο να επιτευχθούν. Οι Bertrand et al. (1990) το αποκαλούν μείωση της ελευθερίας των αποφάσεων, η οποία αντισταθμίζεται από μια μείωση της πολυπλοκότητας, η οποία με τη σειρά της βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων.

1.7.4 Βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής

Ο όρος βελτιστοποίηση έχει χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση λειτουργιών, την έρευνα συστημάτων διεργασιών και τη μηχανική για δεκαετίες. Η ιδέα είναι να χρησιμοποιούνται μαθηματικές τεχνικές για να βρεθεί η καλύτερη λύση, δεδομένου του τι είναι προς βελτιστοποίηση (κόστος, κέρδος ή χρόνος). Η βελτιστοποίηση ενός παραγωγικού συστήματος σημαίνει ότι η προσπάθεια εξεύρεσης βέλτιστων λύσεων επικεντρώνεται στην εξεύρεση της αποτελεσματικότερης χρήσης των πόρων σε σχέση με τον χρόνο (Yu-Lee, 2000).

Λόγω της αύξησης της ανταγωνιστικότητας, οι εταιρείες πρέπει να βελτιστοποιούν συνεχώς τις διεργασίες τους. Με αυτή την έννοια ο προγραμματισμός της παραγωγής έγινε ένα σημαντικό εργαλείο, διότι επιτρέπει να προσδιοριστεί τότε, πού και πώς μπορεί να παραχθεί ένα σύνολο προϊόντων λαμβάνοντας υπόψη ένα ορισμένο σύνολο λειτουργικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της παραγωγικής απόδοσης και συσχετίζει την προσφορά προϊόντων με τη ζήτηση μέσω της σωστής κατανομής των εταιρικών πόρων, ενώ ενεργοποιεί τη μεγιστοποίηση του επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών.

Σύμφωνα με τους Li και Ierapetritou (2008) ο προγραμματισμός στοχεύει στη βέλτιστη κατανομή των πόρων στις εργασίες επεξεργασίας κατά τη διάρκεια του προβλεπόμενου σχεδιασμού, ο οποίος θα καθορίσει τη βέλτιστη ακολουθία παραγωγής. Δηλαδή, επιτρέπει την ανάθεση των δραστηριοτήτων στους διαθέσιμους πόρους σε μια συγκεκριμένη ακολουθία κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, καθορίζοντας έτσι το μέγεθος της παρτίδας. Στις περιπτώσεις που υπάρχει ανταγωνισμός πόρων (π.χ. εξοπλισμού και ανθρώπινου δυναμικού), αυτό προϋποθέτει μια ιδιαίτερη συσχέτιση. Οι συγγραφείς συνοψίζουν τους κύριους στόχους των αποφάσεων προγραμματισμού ως: καθορισμός της βέλτιστης σειράς εργασιών και της ποσότητας πρώτων υλών που επεξεργάζονται κάθε φορά.

Οι Yang et al. (2000) μελέτησαν το πρόβλημα προγραμματισμού δύο προϊόντων σε μια ενιαία παραγωγική γραμμή. Ο στόχος ήταν να καθοριστεί ένας τρόπος παραγωγής και μια πολιτική σεταρίσματος που ελαχιστοποιεί τον μέσο όρο των αποθεμάτων, των ανεκτέλεστων υπολοίπων και του κόστους ρυθμίσεων. Οι συγγραφείς υπέθεσαν ότι ο ρυθμός παραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί κατά τη διάρκεια των παραγωγικών διαδικασιών και παρείχαν μια στενή μορφή για τη βέλτιστη παραγωγή και το πρόγραμμα σεταρίσματος. Επαλήθευσαν τη βέλτιστη πολιτική που προέκυψε συνδυάζοντας τον δυναμικό προγραμματισμό και την εξίσωση Hamilton-Jacobi-Bellman. Το συμπέρασμά τους ανέφερε μια αποτελεσματική χρήση του μοντέλου.

1.8 Λογισμικό προσομοίωσης παραγωγικής διαδικασίας *SchedulePro*

Το *SchedulePro* (της εταιρείας *Intelligen Inc.*, www.intelligen.com) είναι ένα λογισμικό εργαλείο προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας μονάδων ασυνεχούς ή ημι-συνεχούς λειτουργίας με έμφαση στον χρονικό προγραμματισμό. Μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές του *SchedulePro* αποτελούν:

- Βραχυπρόθεσμος/μακροπρόθεσμος προγραμματισμός παραγωγής
- Ανάλυση ικανότητας παραγωγής (δυναμικότητας)
- Ταυτοποίηση και εξάλειψη περιοριστικών διεργασιών/πόρων (*debottlenecking*)
- Μείωση του κύκλου χρόνου παραγωγής

Οι πόροι στο *SchedulePro* αντιπροσωπεύουν τα φυσικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση μιας συνταγής και την παραγωγή μιας παρτίδας προϊόντος. Μέσα στον όρο «πόροι» περιλαμβάνεται το ανθρώπινο δυναμικό, τα υλικά και ο εξοπλισμός που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα παραγωγής ως εισροές. Οι εισροές μπορούν να διακριθούν στις κύριες εισροές, δηλαδή σε εκείνες που θα μετασχηματισθούν μέσω μιας παραγωγικής διαδικασίας, και σε εκείνες που βοηθούν στο μετασχηματισμό, των κύριων εισροών, δηλαδή το ανθρώπινο δυναμικό, τα μηχανήματα κλπ. Οι εισροές μετατρέπονται μέσω της παραγωγικής διαδικασίας σε εκροές. Οι πόροι χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση συνταγών προϊόντων. Οι διαθέσιμοι πόροι ανήκουν σε μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις/μονάδες παραγωγής. Κάθε μονάδα ή δηλούμενος πόρος μέσα σε αυτήν διαθέτει ημερολόγιο όπου μπορούν να καταγραφούν τα χρονικά διαστήματα προγραμματισμένης διακοπής λειτουργίας. 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. Οι συσκευές είναι μη αναλώσιμοι επαναχρησιμοποιούμενοι πόροι. Κάθε διαδικασία εξ ορισμού απαιτεί μία συσκευή για την εκτέλεσή της ενώ, προαιρετικά, κάθε διεργασία μπορεί να απαιτήσει μια πρόσθετη μονάδα βοηθητικού εξοπλισμού. Κάθε συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν κύριος είτε σαν βοηθητικός εξοπλισμός. Για κάθε διαδικασία ή διεργασία 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 ή διεργασία 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*. 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*).

Υλικά (*Materials*): Τα υλικά στο *SchedulePro* είναι ένας μη επαναχρησιμοποιήσιμος πόρος. Διακρίνονται δύο είδη υλικών: αυτά που μετρούνται χύδην (κατά μάζα ή όγκο, *bulk*) και αυτά που είναι διακριτά (*discrete*) και 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 διεργασίας. 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 του αποθεματικού 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* είναι κατά ειδικότητα. 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 (Κουλούρης, 2014).

Το *SchedulePro* χρησιμοποιεί την έννοια της συνταγής για την απεικόνιση της διαδικασίας παραγωγής κάθε προϊόντος της μονάδας. Για την εκτέλεση κάθε συνταγής το *SchedulePro* αναγνωρίζει και παρακολουθεί την χρήση πόρων όπως συσκευών, προσωπικού, πρώτων υλών και βοηθητικών παροχών, αποθηκευτικών χώρων κλπ.

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 διεργασίες (*operations*). Οι διεργασίες 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 διεργασίες: 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 διεργασίες ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

- Σταθερού χρόνου (προεπιλογή) (*Fixed duration*): Η χρονική διάρκεια των διεργασιών αυτών 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 εξαρτάται 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 διεργασίας ή μιας ακολουθίας διεργασιών. Για παράδειγμα, το άδειασμα μίας δεξαμενής είναι ίσο σε χρονική διάρκεια με την διεργασία της συσκευασίας την οποία τροφοδοτεί.

Ως προς τον χρόνο έναρξης ή λήξης της εκτέλεσης μιας διεργασίας μπορούν να αναγνωριστούν οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Έναρξη με την έναρξη της παρτίδας (για διεργασίες που σηματοδοτούν το ξεκίνημα μίας παρτίδας)
- Ταυτόχρονη έναρξη με την έναρξη μιας άλλης διεργασίας
- Έναρξη ταυτόχρονη με την λήξη μιας άλλης διεργασίας
- Ταυτόχρονη λήξη με την λήξη μιας άλλης διεργασίας
- Λήξη ταυτόχρονη με την έναρξη κάποιας άλλης διεργασίας

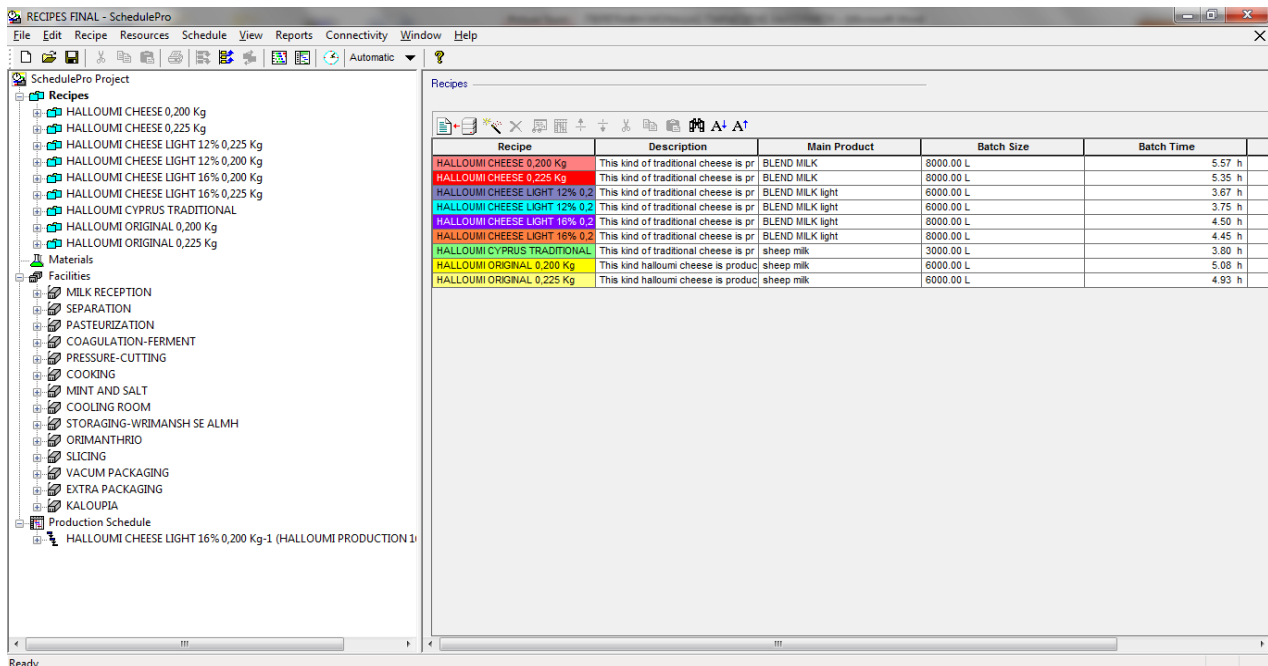
Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα χρονικής μετατόπισης (time shift) της διεργασίας σε σχέση με το σημείο αναφοράς της (πχ. την έναρξη μιας άλλης διεργασίας). Η μετατόπιση αυτή μπορεί να είναι σταθερή (fixed) οπότε εφαρμόζεται πάντα, ή ευέλικτη (flexible) στην οποία περίπτωση χρησιμοποιείται μόνο εφόσον υπάρχει ανάγκη να καθυστερήσει η διεργασία 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 αυτής της διεργασίας, η συσκευή CIP που απαιτείται δεν είναι διαθέσιμη, η έναρξη της διεργασίας μπορεί να καθυστερήσει μέχρι 6 ώρες το ανώτερο ωστόσο η συσκευή απελευθερωθεί από τις άλλες διεργασίες που προηγήθηκαν χρονικά και την χρησιμοποιούν. Φυσικά, αν η συσκευή είναι άμεσα διαθέσιμη τότε η διεργασία 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”. Εφόσον για κάθε διεργασία καθοριστεί, με έναν από τους προαναφερθέντες τρόπους, τόσο η χρονική της διάρκεια όσο και η χρονική “θέση” έναρξης ή λήξης της, είναι δυνατός ο χρονοισμός όλης της συνταγής και ο προσδιορισμός της έναρξης και λήξης της κάθε παρτίδας που εκτελείται με βάση την συνταγή (Κουλούρης, 2014).

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. Συνοπτικά, το *SchedulePro* (Σχήμα 5) είναι ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να βοηθήσει στην οργάνωση της

καθημερινής παραγωγής και να χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας.

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

- a) 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,
- b) 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.



The screenshot shows the SchedulePro software interface. On the left, there is a tree view of the 'SchedulePro Project' containing 'Recipes' and 'Facilities'. The 'Recipes' list includes various cheese products like 'HALLOUMI CHEESE 0,200 Kg', 'HALLOUMI CHEESE LIGHT 12% 0,225 Kg', etc. The 'Facilities' list includes 'MILK RECEPTION', 'SEPARATION', 'PASTEURIZATION', etc. The main window displays a table of recipes with the following data:

Recipe	Description	Main Product	Batch Size	Batch Time
HALLOUMI CHEESE 0,200 Kg	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK	8000.00 L	5.57 h
HALLOUMI CHEESE 0,225 Kg	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK	8000.00 L	5.35 h
HALLOUMI CHEESE LIGHT 12% 0,2	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK light	6000.00 L	3.67 h
HALLOUMI CHEESE LIGHT 12% 0,2	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK light	6000.00 L	3.75 h
HALLOUMI CHEESE LIGHT 16% 0,2	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK light	8000.00 L	4.50 h
HALLOUMI CHEESE LIGHT 16% 0,2	This kind of traditional cheese is pr	BLEND MLK light	8000.00 L	4.45 h
HALLOUMI CYPRUS TRADITIONAL	This kind of traditional cheese is pr	sheep milk	3000.00 L	3.80 h
HALLOUMI ORIGINAL 0,200 Kg	This kind halloumi cheese is produc	sheep milk	6000.00 L	5.08 h
HALLOUMI ORIGINAL 0,225 Kg	This kind halloumi cheese is produc	sheep milk	6000.00 L	4.93 h

Σχήμα 5: Διεπιφάνεια προγράμματος *SchedulePro*

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.

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* παρέχει μια σειρά από επιλογές οι οποίες είναι:

- καθορισμός του νωρίτερου χρόνου έναρξης (*release date*)
- καθορισμός αργότερου χρόνου λήξης (*due date*)
- καθορισμός χρόνου έναρξης σε σχέση με την έναρξη ή λήξη μιας άλλης καμπάνιας με βάση την πραγματοποίηση ενός γεγονότος το οποίο λειτουργεί ως έναυσμα για την έναρξη της καμπάνιας (όπως όταν το ύψος του αποθέματος σε μία αποθήκη φτάσει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο)

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 πηγάει, μια παρτίδα έχει καταχωρήσεις για κάθε διαδικασία και διεργασία που περιλαμβάνει η συνταγή με καθορισμένους όμως χρόνους έναρξης και λήξης και συγκεκριμένους 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 (Κουλούρης, 2014).

Κατά την δημιουργία ενός πλάνου παραγωγής, το *SchedulePro* 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 ως «υψηλής προτεραιότητας» 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* 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* 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

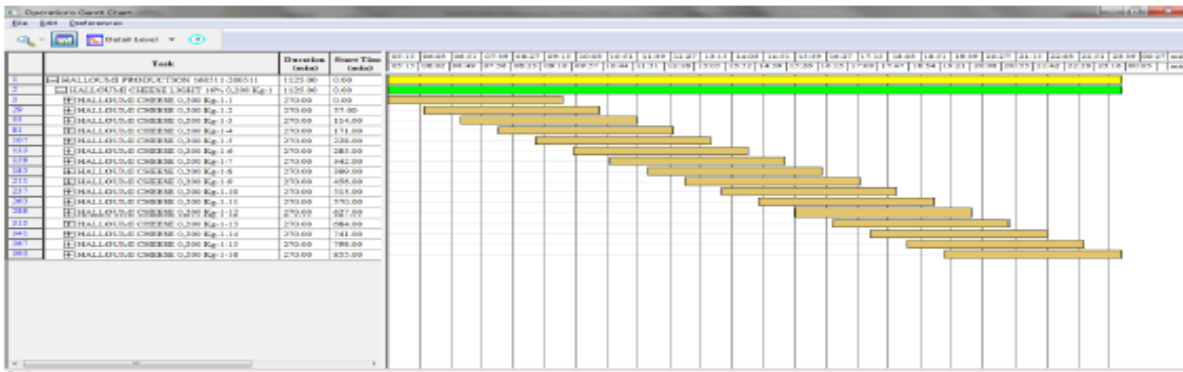
από κάποιες άλλες παρτίδες υψηλότερης προτεραιότητας, είτε γιατί η χρήση τους για το συγκεκριμένο διάστημα είναι απαγορευτική λόγω συντήρησης, αργίας κλπ. Σε αυτές τις περιπτώσεις το *SchedulePro* προσπαθεί να επιλύσει την χρονική επικάλυψη των πόρων (*conflict*) χρησιμοποιώντας έναν από τους κάτωθι μηχανισμούς:

- επιλογή, από την λίστα των συμβατών πόρων, εναλλακτικού πόρου που να είναι διαθέσιμος,
- χρονική μετάθεση της διαδικασίας/διεργασίας 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* καταλήγει σε ένα προτεινόμενο πρόγραμμα παραγωγής για τις εισαχθείσες καμπάνιες. Να σημειωθεί ότι το είδος των προβλημάτων προγραμματισμού που θα κληθεί το *SchedulePro* να επιλύσει εξαρτάται από τις επιλογές του χρήστη. Εξ ορισμού, το *SchedulePro* 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* προσπαθεί να δημιουργήσει ένα εφικτό και κατά το δυνατόν βέλτιστο πρόγραμμα παραγωγής ικανοποιώντας όλους τους αποδεκτούς περιορισμούς. Το προτεινόμενο από το *SchedulePro* πρόγραμμα παραγωγής είναι η βάση για την δημιουργία του τελικού προγράμματος από τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να κληθεί να επιλύσει παραβιάσεις περιορισμών 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 επικαιροποίησή 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* 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 παράχθηκαν αυτόματα από κάποιο ‘‘έξυπνο’’ αλγόριθμο.

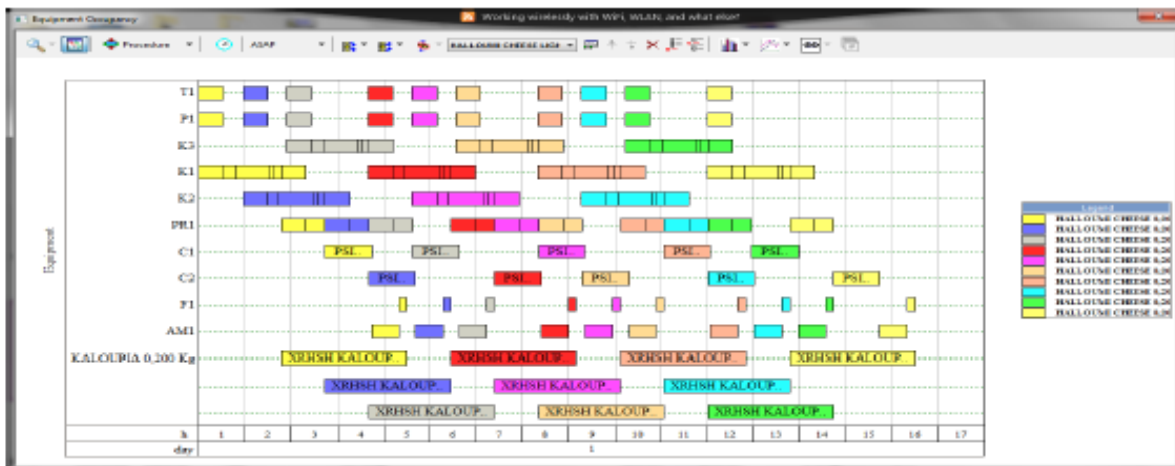
Για την καλύτερη παρακολούθηση του χρονικού προγραμματισμού, το *SchedulePro* δίνει την δυνατότητα απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε μια σειρά από γραφήματα. Πιο συγκεκριμένα, το *SchedulePro* παρέχει τους ακόλουθους τύπους διαγραμμάτων:

Γράφημα Διεργασιών *Gantt* (*Operation Gantt Chart*) – Απεικονίζει γραφικά την χρονική εξέλιξη των διαδικασιών για την ολοκλήρωση της παραγωγής μιας συνταγής ή σχεδιασμένων παρτίδων (*Σχήμα 6*).



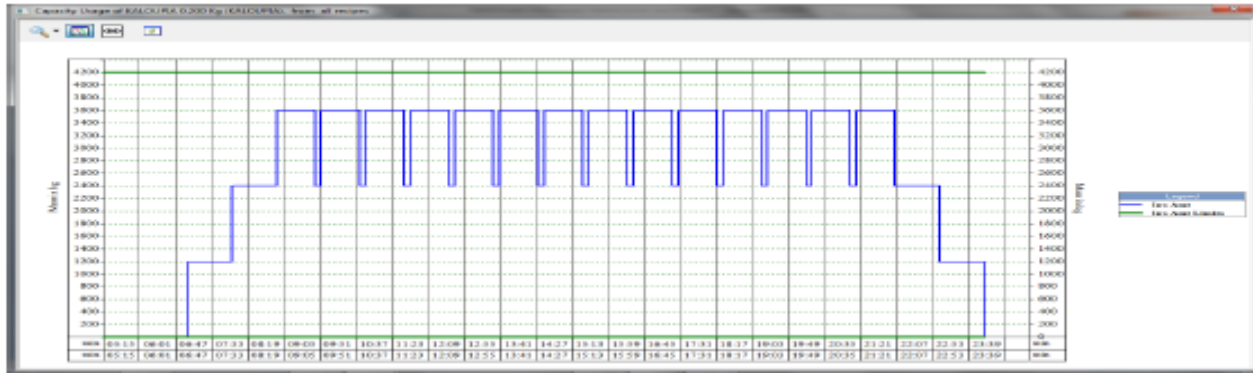
Σχήμα 6: Γράφημα διεργασιών Gantt

Διάγραμμα Απασχόλησης Εξοπλισμού/Προσωπικού (*Equipment/Staff Occupancy Profile*) - εμφανίζει τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες οι συσκευές, χώροι εργασίας και το προσωπικό απασχολούνται από διεργασίες στο πλαίσιο εκτέλεσης των παρτίδων (Σχήμα 7). 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.



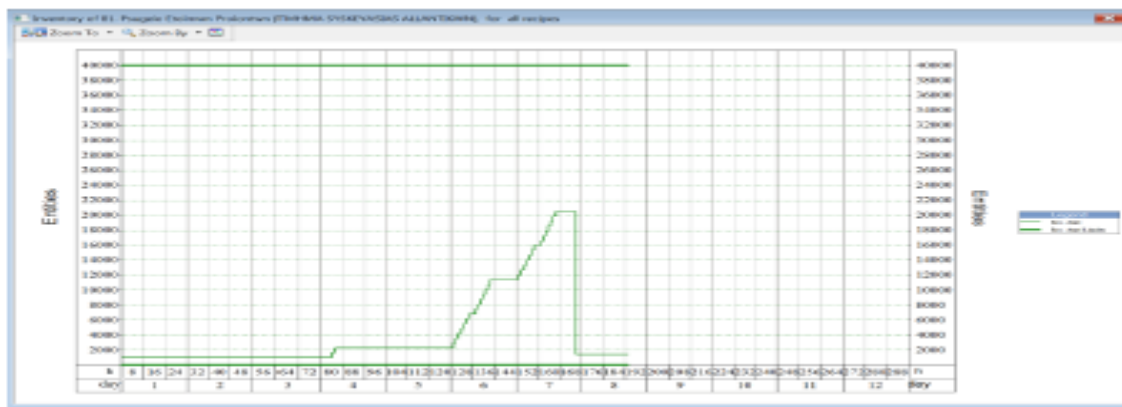
Σχήμα 7: Διάγραμμα Απασχόλησης Εξοπλισμού/Προσωπικού (*Equipment/Staff Occupancy Profile*)

Διαγράμματα χρήσης δυναμικότητας εξοπλισμού (*Capacity Usage of Equipment*) - Εμφανίζει την χρήση με τον χρόνο της δυναμικότητας επιλεγμένης συσκευής (Σχήμα 8). Με τη χρήση του διαγράμματος αυτού μπορεί να ελεγχθεί κατά πόσο η μονάδα χρησιμοποιεί όλη τη δυναμικότητα του εξοπλισμού της καθώς επίσης και αν η μονάδα έχει περισσότερη δυναμικότητα σε εξοπλισμό από ότι απαιτείται ή το αντίθετο.



Σχήμα 8: Διάγραμμα χρήσης δυναμικότητας εξοπλισμού

Διαγράμματα Αποθεματικών (*Inventory Charts*) - Σε αυτά τα διαγράμματα, γίνεται η γραφική απεικόνιση του επιπέδου πληρότητας αποθηκών/δεξαμενών (*storage units*) σαν αποτέλεσμα της κατανάλωσης/παραγωγής των αντίστοιχων αποθηκευμένων πόρων (υλικών) από την παραγωγή (Σχήμα 9). 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 9: Διάγραμμα αποθεματικού τελικού προϊόντος

Το *SchedulePro* παρέχει επίσης διάφορους τύπους αναφορών (*reports*) για την υποβολή παρουσιάσεων των αποτελεσμάτων του χρονικού προγραμματισμού. Όλες οι αναφορές παράγονται σε μορφή αρχείων *HTML* (Κουλούρης, 2014).

2. Βιομηχανική Παραγωγή Φρέσκων Κομμένων Λαχανικών

2.1 Εισαγωγή

Τα φρούτα και τα λαχανικά αποτελούν σημαντικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής. Είναι μια από τις τέσσερις μεγάλες ομάδες τροφίμων που χρειάζεται το σώμα μας να καταναλώνει καθημερινά. Η σημερινή τάση των καταναλωτών είναι προς τα φρέσκα, φυσικά, ελάχιστα

επεξεργασμένα τρόφιμα. Αυτή η κατάσταση αυξάνει τις ευκαιρίες για αυτόν τον τομέα της διατροφής ώστε να διαδραματίσει έναν αυξανόμενο ρόλο στην υγεία και την ευημερία μας. Οι καταναλωτές αγοράζουν λαχανικά με βάση την ποιότητα. Για τη βελτίωση της ποιότητας των φρούτων και των λαχανικών, πρέπει να κατανοηθεί η χημική βάση των ποιοτικών παραγόντων. Πολλά βιβλία και κεφάλαια έχουν γραφτεί για τη ποιότητα των τροφίμων, αν και λίγα έχουν αφιερωθεί αποκλειστικά στα φρούτα και λαχανικά (Pattee, 1985).

Τα φρέσκα κομμένα λαχανικά, που αρχικά είχαν την ονομασία ως ελάχιστα μεταποιημένα ή ελαφρά επεξεργασμένα προϊόντα, μπορούν να οριστούν ως κάθε νωπό λαχανικό που έχει φυσικά τροποποιηθεί από την αρχική του μορφή (με ξεφλούδισμα, πλύσιμο και κοπή) σε 100% βρώσιμο προϊόν το οποίο στη συνέχεια συσκευάζεται και διατηρείται προς αποθήκευση σε ψυγεία (IFPA, 2005). Τα φρέσκα προϊόντα περιλαμβάνουν κάθε είδους νωπά προϊόντα και τα μείγματα τους σε διαφορετικά αναλογίες και συσκευασίες. Προϊόντα όπως συσκευασμένες σαλάτες, μικρά καρότα, μίγματα λαχανικών για ανάδευση είναι μόνο μερικά παραδείγματα αυτού του τύπου προϊόντων. Η παραγωγή και η κατανάλωση πρώτων υλών δεν είναι κάτι καινούργιο. Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Φρέσκων Κομμένων Προϊόντων (IFPA), τα φρέσκα προϊόντα ήταν διαθέσιμα στους καταναλωτές από τη δεκαετία του 1930 στη λιανική αγορά. Ωστόσο, η βιομηχανία κοπής φρέσκων λαχανικών αναπτύχθηκε κυρίως για την παροχή ξενοδοχείων, εστιατορίων, υπηρεσιών τροφοδοσίας και άλλων ιδρυμάτων. Για τον κλάδο των υπηρεσιών τροφοδοσίας και των εστιατορίων, τα φρέσκα προϊόντα παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της ανάγκης του ανθρώπινου δυναμικού για την προετοιμασία των τροφίμων, μειωμένη ανάγκη ειδικών συστημάτων για τη διαχείριση αποβλήτων και τη δυνατότητα να παραδίδουν σε σύντομο χρονικό διάστημα συγκεκριμένες μορφές προϊόντων φρέσκιας κοπής (Watada et al., 1996). Μόνο τις τελευταίες δύο δεκαετίες τα φρέσκα λαχανικά έχουν κερδίσει δημοτικότητα στην παραγωγή προϊόντων με αποτέλεσμα τη γενική τάση αύξησης της κατανάλωσης νωπών οπωροκηπευτικών (Mayen and Marshall, 2005). Η βιομηχανία κοπής φρέσκων λαχανικών αυξάνεται συνεχώς κυρίως λόγω της τάσης κατανάλωσης υγιεινών και εύκολων τροφίμων και το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν στη βελτίωση της ανθρώπινης ευημερίας του καταναλωτή (Ragaert et al., 2004).

Επί του παρόντος, ο κύριος παράγοντας που έχει προωθήσει και διατηρήσει τις πωλήσεις φρέσκων κομμένων λαχανικών είναι η τεχνολογία. Ωστόσο, συνεχή καινοτομία είναι απαραίτητη για την προώθηση της ανάπτυξης σε αυτόν τον τομέα. Χρήση καινοτόμων τεχνολογιών συσκευασίας που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων και τη διάρκεια ζωής τους, νέα μίγματα λαχανικών με περισσότερη ποικιλία, ενσωμάτωση αρωμάτων ή χρήση σάκων ατμού για τα λαχανικά, είναι μόνο λίγες σκέψεις που θα μπορούσαν να επεκτείνουν τις αγορές των φρέσκων κομμένων λαχανικών. Σε όλο τον κόσμο, υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία λαχανικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διευρύνουν και να αυξάνουν τις προσφορές προϊόντων στην αγορά. Ωστόσο σε πολλές χώρες, είναι απαραίτητο να βελτιωθούν οι παραγωγικές διαδικασίες καθώς και ο προγραμματισμός της παραγωγής.

2.2 Προβλήματα προγραμματισμού παραγωγής βιομηχανιών φρέσκων κομμένων λαχανικών

Η βιομηχανία φρέσκων κομμένων λαχανικών έχει κάποιες ιδιαιτερότητες συγκριτικά με άλλες κατηγορίες τροφίμων, οι οποίες δημιουργούν προβλήματα στην οργάνωση και προγραμματισμό της παραγωγής τους. Αρχικά λόγω της μικρής διάρκειας ζωής των κομμένων λαχανικών περιορίζεται η δυνατότητα μακροχρόνιας αποθήκευσης προϊόντων με σκοπό την απορρόφηση παραγγελιών εκτός προγράμματος ή μεταβολών των ήδη υπαρχόντων παραγγελιών. Τα λαχανικά έχουν έντονη εποχικότητα και για αυτό το λόγο η επάρκεια και η ποιότητα τους είναι δύο μεταβλητές που αλλάζουν συχνά, δημιουργώντας προβλήματα στην οργάνωση της παραγωγής. Επίσης με τη μεγάλη ποικιλία των λαχανικών συνεπάγεται και η ευρεία γκάμα μιγμάτων-τελικών προϊόντων που μπορούν να παραχθούν από μια βιομηχανία. Τα πολλά διαφορετικά τελικά προϊόντα προϋποθέτουν αρκετές αλλαγές στις γραμμές παραγωγής, ρυθμίσεις των μηχανών, διαφοροποιήσεις σε τρόπους παραγωγής, συσκευασίας και καθαρισμούς των γραμμών στις αλλαγές αυτές. Όλα τα παραπάνω είναι παράγοντες που σε μια βιομηχανία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη καθώς δυσκολεύουν το έργο του σχεδιασμού και ανάπτυξης του προγράμματος παραγωγής.

3. Σκοπός της Παρούσας Εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των προβλημάτων ημερήσιου προγραμματισμού της παραγωγής σε μονάδα παραγωγής φρέσκων, κομμένων και συσκευασμένων λαχανικών με βάση δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί από πραγματική βιομηχανία η οποία για λόγους εμπιστευτικότητας θα ονομάζεται βιομηχανία "ΑΒΓ". Το πρόβλημα που θα διερευνηθεί σε αυτή τη μελέτη είναι ο συνεχώς αυξανόμενος χρόνος παραγωγής λόγω της αύξησης των ζητούμενων ποσοτήτων από τους πελάτες. Αυτό θα γίνει μέσω της προσπάθειας συστηματοποίησης και βελτίωσης της διαδικασίας χρονικού προγραμματισμού και οργάνωσης της παραγωγής στην υπό μελέτη βιομηχανία ΑΒΓ. Επίσης θα μελετηθούν σενάρια προσθήκης επιπλέον μηχανολογικού εξοπλισμού για την αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας της εταιρίας. Δεδομένου ότι η μελέτη επικεντρώνεται στην παραγωγική διαδικασία της εταιρείας, είναι σημαντικό να χαρακτηριστούν και να κατανοηθούν λεπτομερώς όλες οι σχετικές πτυχές της. Ως εκ τούτου, στο επόμενο τμήμα θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων, η παραγωγική διαδικασία και η τρέχουσα διαδικασία σχεδιασμού και προγραμματισμού της παραγωγής. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στον προσδιορισμό ενός βέλτιστου τρόπου προγραμματισμού της παραγωγής για την βιομηχανία ΑΒΓ. Αφού χαρακτηριστούν οι κύριες πτυχές της τρέχουσας διαδικασίας παραγωγής, είναι σημαντικό να κατανοηθούν ποια είναι τα κύρια προβλήματα και οι περιορισμοί της τρέχουσας παραγωγικής διαδικασίας. Ως εκ τούτου, οι ακόλουθες πτυχές μπορούν να εντοπιστούν στο *Σχήμα 10*.

Όπως φαίνεται από το *Σχήμα 10*, έχουν εντοπιστεί τρεις κατηγορίες οι οποίες αντιπροσωπεύουν τους κύριους περιορισμούς: περιορισμοί της διαδικασίας παραγωγής, δυσκολία πρόβλεψης της ζήτησης στα προϊόντα και η απουσία συστηματικής διαδικασίας προγραμματισμού.



Σχήμα 10: Τα κύρια προβλήματα που εντοπίστηκαν στο περιβάλλον παραγωγής της εταιρείας.

4. Περιγραφή Παραγωγικής Διαδικασίας

4.1 Η υπό μελέτη βιομηχανία φρέσκων κομμένων λαχανικών

Η υπό μελέτη εταιρεία είναι ένας από τους πιο γνωστούς παραγωγούς φρέσκων κομμένων λαχανικών στην ελληνική αγορά, με καθιερωμένο εμπορικό σήμα στην αγορά. Για λόγους εμπιστευτικότητας, στη συνέχεια, η υπό μελέτη εταιρεία θα ονομάζεται ΑΒΓ.

Η ΑΒΓ έχει περισσότερα από 10 χρόνια ιστορίας, ξεκίνησε τις δραστηριότητές της παρέχοντας φρέσκες σαλάτες υψηλής ποιότητας σε συγκεκριμένες αλυσίδες καταστημάτων. Όντας ιδιαίτερα επιτυχής, από τότε η εταιρεία είχε την ευκαιρία να επεκτείνει τις δραστηριότητές της, προκειμένου να προσεγγίσει περισσότερους καταναλωτές. Η διάθεση των προϊόντων της ΑΒΓ ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2005, και παράγει μία σειρά καινοτόμων και πρωτοποριακών προϊόντων τα οποία διακινούνται στο ελληνικό λιανεμπόριο. Επίσης, η εταιρεία δραστηριοποιείται με ευρεία γκάμα προϊόντων και συνταγών στην αγορά των υπηρεσιών εστίασης (*HO.RE.CA.*), παράγει για λογαριασμό σημαντικών πελατών, και έχει αναπτύξει σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα σε χώρες των Βαλκανίων.

Σήμερα, η ΑΒΓ αντιπροσωπεύει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των φρέσκων σαλατών που εμπορεύονται εντός της χώρας αλλά και εκτός. Η εταιρία διαθέτει ένα εργοστάσιο που εξυπηρετεί όλους τους συνεργάτες της κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού της. Η αύξηση των πωλήσεων επέτρεψε στην εταιρεία όχι μόνο να ενισχύσει αλλά και να αυξήσει τη θέση της στην αγορά, χωρίς να χάσει τον κύριο στόχο της, δηλαδή την παροχή υψηλής ποιότητας προϊόντων.

Η εταιρεία έχει επενδύσει σημαντικά και στην ανάπτυξη της ελληνικής γεωργίας. Έχει πειραματιστεί με διάφορες καλλιέργειες και ποικιλίες ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα των πρώτων υλών για όλη την διάρκεια του χρόνου. Σήμερα πλέον, η

εταιρία καταφέρνει να καλύπτει τις ανάγκες της σε φρέσκα λαχανικά από εγχώριους παραγωγούς από όλες τις γωνιές της Ελλάδας, την Πελοπόννησο, την Κρήτη και την Βόρεια Ελλάδα.

Στόχος της ABΓ είναι η παράδοση στους πελάτες της καινοτόμων φρέσκων καθαρισμένων, πλυμένων, κομμένων λαχανικών υψηλής διατροφικής αξίας και ασφάλειας που θα του προσφέρουν εξοικονόμηση χρόνου, κόστους και ευκολία.

4.2 Παραγωγική δυναμικότητα

Τα δεδομένα τρέχουσας δυναμικότητα του εργοστασίου της επιχείρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα καταγράφονται η μέση μηνιαία παραγωγή του εργοστασίου σε κιλά, καθώς και η μέση απόδοση του εργοστασίου σε κιλά ανά ώρα για το έτος 2017. Η παραγωγή αυτή επιτυγχάνεται με περίπου 34 υπαλλήλους, μέσα σε περίπου 14 ώρες ημερήσιας λειτουργίας. Οι ανάγκες της παραγωγής και τα διαθέσιμα άτομα δεν είναι σταθερά σε όλη τη διάρκεια της ημέρας καθώς εφαρμόζεται κλιμακωτό ωράριο μέσα σε αυτές τις ώρες λειτουργίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μέσες ποσότητες που παρουσιάζονται είναι οι απαιτούμενες για την ικανοποίηση της συνολικής ζήτησης της επιχείρησης, καθώς πρόκειται για το μοναδικό εργοστάσιο της εταιρείας. Η παραγωγή αρχίζει στις 8:00 και τελειώνει συνήθως το βράδυ. Τα ωράρια που έρχεται το προσωπικό είναι μεταξύ 8:00-16:00, 10:00- 18:00, 12:00-20:00 και 14:00-22:00. Οι δύο βασικότερες βάρδιες είναι 8:00-16:00 και 12:00-20:00 στις οποίες ανήκουν περίπου 12-13 άτομα. Ως εκ τούτου, τα περισσότερα άτομα στην μονάδα βρίσκονται στο διάστημα 12:00-16:00. Το εργοστάσιο δουλεύει 6 ημέρες την εβδομάδα.

Μήνας	Μέση Μηνιαία Παραγωγή (kg)	Μέση Απόδοση Εργοστασίου (kg/h)
Ιανουάριος	486600	968
Φεβρουάριος	664200	1,137
Μάρτιος	664100	1,181
Απρίλιος	621300	1,130
Μάιος	589900	1,129
Ιούνιος	540800	1,118
Ιούλιος	570100	1,077
Αύγουστος	629850	1,080
Σεπτέμβριος	585500	1,072
Οκτώβριος	630400	1,167
Νοέμβριος	599250	1,134
Δεκέμβριος	656250	1,201
Σύνολο	7238250	-

Πίνακας 1: Μέση μηνιαία παραγωγή σε κιλά και απόδοση εργοστασίου ABΓ σε κιλά ανά ώρα

4.3 Παραγωγική διαδικασία φρέσκων κομμένων λαχανικών

Η βιομηχανία διαθέτει τέσσερις γραμμές παραγωγής. Οι τρεις γραμμές παραγωγής είναι όμοιες και ίδιας δυναμικότητας, ενώ η τέταρτη είναι πιο μικρής δυναμικότητας. Αυτές εξυπηρετούνται από πέντε συσκευαστικές μηχανές κάθετης συσκευασίας. Οι συσκευαστικές μηχανές είναι συνδεδεμένες ανά δύο με αντίστοιχα μία γραμμή παραγωγής, εκτός από μια γραμμή παραγωγής που είναι συνδεδεμένη με μια συσκευαστική. Η πιο μικρή δυναμικότητας γραμμή συνδέεται με την ίδια συσκευαστική που συνδέεται και η μια εκ των τριών γραμμών παραγωγής που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι γραμμές παραγωγής είναι ευθύγραμμες συνεχούς λειτουργίας με ονομαστική δυναμικότητα 1 τόνο ανά ώρα για βαρύ λαχανικό σύμφωνα με το κατασκευαστή. Η δυναμικότητα των γραμμών παραγωγής επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Βάρος και μέγεθος λαχανικού
- Είδος (φυλλώδες ή κεφάλι)
- Ποιότητα λαχανικού (φύρα)

Ο μέσος όρος δυναμικότητας είναι 500-600 κιλά/ώρα, αλλά με σημαντικές διακυμάνσεις διότι στην αρχή και στο τέλος υπάρχουν καθυστερήσεις.

Η παραγωγική διαδικασία φαίνεται στο διάγραμμα ροής στο *Σχήμα 11*. Η παραγωγή του εκάστοτε μίγματος σαλάτας αρχίζει με την επεξεργασία των πρώτων υλών. Τα αντίστοιχα λαχανικά για το κάθε μίγμα περνούν από οπτική διαλογή και χειρωνακτική κοπή. Οι τρεις μεγάλης δυναμικότητας γραμμές παραγωγής αποτελούνται από διπλούς πάγκους διαλογής όπου οι εργαζόμενοι κόβουν τα λαχανικά. Κατά τη διαλογή και κοπή υπάρχουν απώλειες στα λαχανικά οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από τη ποιότητα τους. Η ποιότητα των λαχανικών είναι ένας συνεχώς μεταβαλλόμενος παράγοντας που εξαρτάται από το είδος, την καλλιεργητική περίοδο, την ωριμότητα του φυτού και τυχόν ελαττώματα από ασθένειες ή καιρικά φαινόμενα. Αφού γίνει η χειρωνακτική κοπή και τα λαχανικά διαχωριστούν από τα μη επιθυμητά μέρη τους, με ταινίες μεταφοράς οδηγούνται σε κοπτικό μηχάνημα ώστε να κοπούν περαιτέρω στο επιθυμητό μέγεθος και έπειτα να μεταφερθούν στις δεξαμενές πλυσίματος. Στη διαδικασία του πλυσίματος τα λαχανικά θα περάσουν από τρία διαδοχικά στάδια πλυσίματος. Αρχικά τα λαχανικά θα περάσουν από τη δεξαμενή πρόπλυσης με φρέσκο νερό, σε συνέχεια οδηγούνται στη δεξαμενή πλυσίματος με χλωριωμένο νερό και τέλος περνούν από το στάδιο ξεπλύματος με φρέσκο νερό. Τα πλυμένα λαχανικά μεταφέρονται σε φυγόκεντρο όπου στεγνώνονται για την απομάκρυνση περίσσιας υγρασίας. Σε επόμενη φάση τα στεγνά πλέον λαχανικά περνούν από οπτικό σαρωτή. Εκεί μη αποδεκτά ποιοτικά λαχανικά αλλά και ξένα σώματα όπως γυαλί, ξύλο, έντομα υπάρχει η δυνατότητα να απομακρυνθούν. Κάποια μίγματα λαχανικών ακολουθούν διαφορετική διαδικασία παραγωγής. Λαχανικά όπως το καρότο ή το λάχανο τυγχάνουν διαφορετικής επεξεργασίας από τα προηγούμενα, όπου απαιτείται μεγαλύτερη ανθρώπινη παρέμβαση καθώς αρκετές φορές το επεξεργασμένο λαχανικό χρειάζεται να συλλεχθεί σε καλάθια και μετά να φορτωθεί σε γραμμές παραγωγής.

Η συσκευασία των λαχανικών είναι το επόμενο βήμα που ακολουθεί. Η συσκευασία του τελικού προϊόντος γίνεται στις γραμμές συσκευασίας. Από τη στιγμή που θα κοπεί το λαχανικό ως την συσκευασία μεσολαβούν δέκα λεπτά. Οι γραμμές παραγωγής που συνδέονται με δύο συσκευαστικές μπορούν να ανταποκριθούν πλήρως στο ρυθμό που επεξεργάζονται και μεταφέρονται προς συσκευασία τα λαχανικά. Υπάρχει η δυνατότητα μίγματα λαχανικών να περάσουν από άλλη γραμμή παραγωγής σε διαφορετική χρονική στιγμή, να αποθηκευτούν σε

τελάρα και έπειτα να μεταφερθούν για συσκευασία από διαφορετική συσκευαστική. Η σειρά που θα μπουν τα μίγματα εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την απόδοση των λαχανικών, από το μέγεθος των παραγγελιών καθώς και από τον αριθμό των εργαζομένων ανά βάρδια. Τα μίγματα μπαίνουν έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα καθαρίσματα των γραμμών και οι αλλαγές των *format* (μέγεθος από σακουλάκια μικρό, μεσαίο, μεγάλο).

Η πρώτη συσκευασία γίνεται σε σακούλα. Το προϊόν μεταφέρεται με ταινίες προς τις πολυκέφαλες συσκευαστικές όπου ζυγίζεται αυτόματα στις 14 κεφαλές ζύγισης και οδηγείται στην κατακόρυφη μηχανή συσκευασίας όπου εκεί συσκευάζεται σε φακέλους (*pillow bags*) με φιλμ συσκευασίας αντίστοιχης διάτρησης και μεγέθους. Υπάρχει η δυνατότητα έκχυσης μίγματος αερίων στη συσκευασία για εκείνους τους κωδικούς που επωφελούνται από τη χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Οι σακούλες του προϊόντος πέφτουν στην περιστροφική τράπεζα εγκιβωτισμού, μπαίνουν σε χαρτοτελάρο και σχηματίζονται οι παλέτες του προϊόντος. Κάποιες έτοιμες σαλάτες συσκευάζονται σε σκαφάκι. Σε αυτή τη περίπτωση μετά τη κοπή και πλύσιμο των λαχανικών ζυγίζονται χειρωνακτικά οι ποσότητες των λαχανικών και άλλων πρώτων υλών για το κάθε προϊόν και μπαίνουν σε πλαστικό περιέκτη ο οποίος στη συνέχεια προωθείται σε γραμμή συσκευασίας, όπου λειτουργεί ειδική συσκευαστική μηχανή οριζόντιας φοράς (*tray sealer*). Και εδώ υπάρχει η δυνατότητα έκχυσης μίγματος αερίων στη συσκευασία για εκείνους τους κωδικούς που επωφελούνται από τη χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

4.4 Σχεδιασμός προγράμματος παραγωγής

Η φύση των προϊόντων της μονάδας προκαλεί μεγάλη αβεβαιότητα στον προγραμματισμό της παραγωγής, καθώς υπάρχουν πολλοί εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πρόβλεψη της ζήτησης αλλά και την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες και η εποχικότητα τους.

Ο αρχικός σχεδιασμός του προγράμματος της παραγωγής ξεκινάει την προηγούμενη μέρα το απόγευμα, ώρα κατά την οποία κάποιες πρώτες παραγγελίες έχουν ήδη αποσταλεί από τους συνεργάτες. Την επόμενη μέρα ο προγραμματισμός συνεχίζεται καθώς το πρωί έρχονται οι υπόλοιπες παραγγελίες. Κάποιοι από τους πελάτες στέλνουν τις τελικές τους παραγγελίες αφού έχει αρχίσει η παραγωγή, ακόμη και αφού έχει αρχίσει να παράγεται το προϊόν που θα παραδοθεί σε αυτούς. Έτσι σε τέτοιες περιπτώσεις η παραγωγή αρχίζει κατ' εκτίμηση από τις προηγούμενες παραγγελίες του πελάτη. Τέλος ως και το μεσημέρι κάποιοι από τους πελάτες θα στείλουν οριστικές παραγγελίες τους ή τυχόν αλλαγές στις ήδη ζητηθείσες ποσότητες. Το πρόγραμμα παραγωγής δημιουργείται έχοντας υπόψη ότι η παραγωγή, αν δεν προκύψουν προβλήματα, μπορεί να ανταπεξέλθει χωρίς υπερωρίες σε φόρτιση περίπου 14 τόνων την ημέρα. Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες πρακτικές στην παραγγελειοληψία από διάφορους πελάτες:

- Ο μεγαλύτερος όγκος πελατών στέλνει τις παραγγελίες από την προηγούμενη ημέρα
- Ορισμένοι πελάτες αποστέλλουν τις προ παραγγελίες τους την προηγούμενη ημέρα, αλλά το μεσημέρι της επόμενης ημέρας αποστέλλεται η οριστική παραγγελία
- Άλλοι πελάτες αποστέλλουν τη παραγγελία τους το πρωί της ίδιας ημέρας

- Τέλος πολλοί πελάτες αποστέλλουν τις παραγγελίες αργότερα μέσα στην ημέρα, συνεπώς ο προγραμματισμός για τους συγκεκριμένους γίνεται κατ' εκτίμηση. Αφού έρθουν οι παραγγελίες ελέγχεται το πρόγραμμα της ημέρας αν χρειάζεται κάποια αλλαγή.

Αποθέματα προηγούμενης ημέρας που έχουν παραχθεί θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πριν τον σχεδιασμό της παραγωγής της επόμενης ημέρας. Οι παραγγελίες που έχουν ληφθεί καταγράφονται σε ένα ενιαίο αρχείο και λαμβάνοντας υπόψη τα αποθέματα εκδίδεται το πρόγραμμα παραγωγής. Σε περίπτωση που μια παραγγελία έρθει εκτός προθεσμίας, η οποία αφορά ποσότητες που θα επηρεάσουν σημαντικά την παραγωγή, αποφασίζεται το πως και αν θα ικανοποιηθεί η παραγγελία. Μετά τη λήψη συμπληρωματικών παραγγελιών, εκδίδεται αναθεωρημένο-οριστικό πρόγραμμα παραγωγής, εφόσον απαιτείται διόρθωση στις ποσότητες. Στον *Πίνακα 2* εμφανίζονται οι παραγγελίες σε τεμάχια ανα τελικό προϊόν για μια τυπική αλλά τυχαία ημέρα του χρόνου καθώς και το απόθεμα που έχει παραχθεί τη προηγούμενη ημέρα. Βάσει της συνολικής ζήτησης από τις παραγγελίες αλλά και τους πελάτες θα γίνει ο προγραμματισμός της παραγωγής. Η λογική με την οποία θα ανατεθούν τα διάφορα προϊόντα στις γραμμές παραγωγής εμφανίζεται στον *Πίνακα 3*.

Προϊόν	Παραγγελία Lot 1 (τμχ)	Παραγγελία Lot 2 (τμχ)	Απόθεμα Lot 1 (τμχ)	Απόθεμα Lot 2 (τμχ)
Σπανάκι	177		3	
Ρόκα	77		115	
Βαλεριάνα	-60		108	
Ιταλική	444	1296	864	
Σαλάτα Iceberg	-44	360	590	
3 Μαρούλια	366			
Πολίτικη	49		62	
Δροσάτη 250 ΑΒΓ	-42	540	684	
Λάχανο-Καρότο, 300γρ	65		88	
Ρόκα-Σπανάκι Νεαρά Φύλλα	129		159	
Τρυφερά Φύλλα Μαρουλιού, 150γρ	348			
4 Εποχές, 200γρ	118	540	716	
Κλασική 200γρ	302	240	202	
Ευεξία, 180 g	73	360	425	
Νέα Έτοιμη Σαλάτα Chef 250γρ ΑΒΓ		123		51
Νέα Έτοιμη Caesar's 250γρ ΑΒΓ		194		4
Νέα Έτοιμη Ιταλική Σαλάτα, 180 g		57		
Μεσογειακή, 140 g XYZ				
Πολύχρωμη, 210 g XYZ				
Δροσερή, 170 g XYZ				
Ρόκα, 80 g Discount				
Σαλάτα Γαλλική Μαρούλια Ιντίβια, 200 g ΔΕΖ		1974	2370	
Σαλάτα Άγρια Ρόκα, 80 g ΔΕΖ	6	2082	2424	
Σαλάτα Λάχανο Καρότο, 300 g ΔΕΖ	12	2040	2316	
Σαλάτα Σπανάκι, 350 g ΔΕΖ	486	1656	1428	
"ΓΕΡ" Σπανάκι 5X350g	1280	1800	195	
"ΓΕΡ" Σαλάτα Italiana 6X160g	600	12072	6060	
"ΓΕΡ" Λάχανο-Καρότο 6X250g	462	2160	1290	
"ΓΕΡ" Μαρούλια Mix 5X200g	1505	3250	645	
"ΓΕΡ" Σαλάτα Τρικολόρε 5X250g	845	3950	2180	
"ΓΕΡ" Ρόκα 5X85g	-35	2900	2085	
"ΓΕΡ" Βαλεριάνα Mix 5X200g	295	2075	1140	
Allegria ΓΕΡ, 250 g	15	700	605	

Κηπουρού	612			
Φρέσκο Σπανάκι	360	240	240	
Λάχανο Καρότο, 250γρ	592		32	
Ρόκα 100γρ ΩΖ	354		234	
Βαλεριάνα ΩΖ	104	120		
Καπριτσιόζα	1932			
Τρίχρωμη ΩΖ	1578			
Πανδαισία ΩΖ	474		282	
Δροσάτη	1404			
Μαρούλι κομμ. 2 cm		76		1
Φύλλα Lollo Verde		34		
Άγρια Ρόκα 10x100g		421		29
Σπανάκι κομμένο		53		17
Iceberg κομμένο 10x500g		107		13
Καρότο Julienne		29		
Ice Radicchio		375		
Μαρούλι Ice		24		
Mista 10x500g		157		22
Ιταλική 6x300g		966		2
Λάχανο-Καρότο 10x500g		75		5
Πολίτικη 10x500g		307		
Μαρούλι Ρόκα 500γρ		50		
Αμβροσία 500γρ		117		
Φύλλα Romaine VIV		92		33
Καρότο Julienne VIV		-17		43
Ice Radicchio VIV		102		36
Μαρούλι Ice VIV		307		41
Φύλλα Lollo Verde VIV		13		91
Τοματίνια VIV		34		36
Σπανάκι Κομμένο 6x500 VIV		18		3
Μαρούλι Κομμ. 2cm VIV		169		36
Mista 10x500 VIV		13		17
Άγρια Ρόκα 8x100 VIV		115		40
Ιταλική 300g VIV		74		26
Σπανάκι & Ρόκα Baby 250g VIV		54		36
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ		130		

Iceberg Mix 250γρ Εξωτ		282	
Μίστα 250γρ Εξωτ		438	
Ιταλική 160γρ Εξωτ		1752	
Σπανάκι Ρόκα 125γρ Εξωτ		1302	
Τρυφερά Φυλ. Μαρουλιού 150γρ Εξωτ		1398	
Iceberg κομμένο 500γρ Εξωτ. MET		40	
Ιταλική 300γρ Εξωτ. MET		450	
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ. MET		120	
Iceberg Mix 250γρ Εξωτ. MET		36	
Συνολική ποσότητα (kg) =		14233,8	5675,2

Πίνακας 2: Ζήτηση σε τεμάχια ανά προϊόν βάση παραγγελιών και αντίστοιχο απόθεμα

Γραμμή Α			
Προϊόν	Συσκευαστική	Τμχ.	Σχόλιο
Τρυφερά Φύλλα Μαρουλιού, 150γρ	2	348	Αρχή ημέρας με κωδικούς που θέλουν λίγα άτομα και είναι λίγα κιλά. Επίσης επιλέγεται σειρά τέτοια ώστε να έχουμε τους λιγότερο δυνατόν καθαρισμούς και αλλαγές Α' υλών.
Τρυφερά Φυλ. Μαρουλιού 150γρ Εξωτ	1 & 2	1398	
Ρόκα ΑΒΓ	1	77	Οι κωδικοί μπήκαν με σειρά ανάλογα το format των φιλμ, αλλά και τις ποσότητες ώστε να τελειώνουν περίπου ίδιο χρονικό διάστημα και οι δύο συσκευαστικές.
Ρόκα 100γρ ΩΖ	2	354	
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ	2	130	
Άγρια Ρόκα 10x100g	2	421	
Άγρια Ρόκα 8x100 VIV	2	115	
"ΓΕΡ" Ρόκα 5X85g	1	2900	
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ. MET	2	120	Οι κωδικοί από την «Άγρια Ρόκα 10x100g» στη συσκευαστική 2 και μετά είναι όλοι σε ατύπωτο φιλμ ίδιου μεγέθους οπότε εξοικονομείται ο χρόνος αλλαγής φιλμ ανάμεσα στους κωδικούς.
Σαλάτα Άγρια Ρόκα, 80 g Σκλαβενίτης	2	2088	
Ρόκα-Σπανάκι Νεαρά Φύλλα	2	129	Μετά τη παραγωγή των κωδικών με ρόκα, συνεχίζουμε με ρόκα σπανάκι για να αποφύγουμε το καθαρισμό της γραμμής.
Σπανάκι Ρόκα 125γρ Εξωτ	1	1302	
Σπανάκι & Ρόκα Baby 250g VIV	2	54	

Καπριτσιόζα	1	1932	Το προϊόν ιταλική ως συνήθως μπαίνει στη γραμμή παραγωγής τελευταίο καθώς είναι από τους πιο μεγάλους κωδικούς και θέλει και αρκετά άτομα.
Ιταλική	2	1740	
Ιταλική 6x300g	2	966	
Ιταλική 300g VIV	2	74	
Ιταλική 160γρ Εξωτ	2	1752	
Ιταλική 300γρ Εξωτ. MET	2	450	
"ΓΕΡ" Σαλάτα Italiana 6X160g	1 & 2	12672	
Γραμμή Ε			
Λάχανο-Καρότο, 300γρ	5	65	Το Λάχανο Καρότο είναι το πρώτο μείγμα που τρέχει σε αυτή τη γραμμή. Φορτώνεται σε τελάρα και μπαίνει ως συνήθως στη συσκευαστική 5. Η προετοιμασία του καρότου γίνεται την ίδια ημέρα, ενώ το λάχανο ως συνήθως προετοιμάζεται από τη προηγούμενη ημέρα και συμπληρώνεται ότι χρειαστεί την ίδια ημέρα.
"Η Κουζίνα μου" Λάχανο-Καρότο 6X250g	5	2622	
Λάχανο Καρότο, 250γρ	5	592	
Λάχανο-Καρότο 10x500g	5	75	
Σαλάτα Λάχανο Καρότο, 300 g ΔΕΖ	5	2052	
Σαλάτα Iceberg	3	360	
Δροσάτη ΩΖ	3	1404	
Iceberg Mix 250γρ Εξωτ	3	282	
Iceberg Mix 250γρ Εξωτ. MET	3	36	
Καρότο Julienne	3	29	Η γραμμή Ε συνεχίζει με το καρότο ώστε να μη χρειαστεί κάποιος καθαρισμός στο ενδιάμεσο.
Πολίτικη 10x500g	3	307	Το τελευταίο μίγμα που περνάει από τη συσκευαστική 3 είναι η πολίτικη λόγω του σέλινου που θεωρείται αλλεργιογόνο.
Πολίτικη	3	49	
Γραμμή Β			
Iceberg κομμένο 10x500g	3	107	Αρχή ημέρας με κωδικούς που θέλουν λίγα άτομα και είναι λίγα κιλά. Επίσης επιλέγεται σειρά τέτοια ώστε να έχουμε τους λιγότερο δυνατόν καθαρισμούς και αλλαγές Α' υλών.
Iceberg κομμένο 500γρ Εξωτ. MET	3	40	
Mista 10x500g	3	157	

Mista 10x500 VIV	3	13	Η γραμμή Β συνεχίζει με αυτή τη σειρά μιγμάτων ώστε να μη χρειαστεί κάποιος καθαρισμός στο ενδιαμέσο.
Μίστα 250γρ Εξωτ	3	438	
Ice Radicchio	3	375	
Ice Radicchio VIV	3	102	
Αμβροσία 500γρ	3	117	
Τρίχρωμη ΩΖ	3	1578	
Δροσάτη 250 ΑΒΓ	3	540	
"ΓΕΡ" Σαλάτα Τρικόλορε 5Χ250g	3	4795	
Γραμμή G			
Φύλλα Lollo Verde	4	34	Αρχή ημέρας με κωδικούς που θέλουν λίγα άτομα και είναι λίγα κιλά. Επίσης επιλέγεται σειρά τέτοια ώστε να έχουμε τους λιγότερο δυνατόν καθαρισμούς και αλλαγές πρώτων υλών. Όσο τρέχει από τη συσκευαστική 5 το λάχανο καρότο η γραμμή G εξυπηρετείται μόνο από τη 4.
Φύλλα Lollo Verde VIV	4	13	
Φύλλα Romaine VIV	4	92	
Μαρούλι κομμ. 2 cm	4	76	
Μαρούλι Κομμ. 2cm VIV	4	169	
Μαρούλι Ice	4	24	
Μαρούλι Ice VIV	4	307	
Κλασική 200γρ	4	542	
4 Εποχές, 200γρ	4	558	
Μαρούλι Ρόκα 500γρ	4	50	
Βαλεριάνα ΩΖ	4	224	
Πανδαισία ΩΖ	5	474	
Ευεξία, 180 g	4	433	
"ΓΕΡ" Βαλεριάνα Mix 5Χ200g	4 & 5	2370	
3 Μαρούλια	5	366	Το μίγμα 3 μαρούλια ως συνήθως μπαίνει στη γραμμή παραγωγής από τα τελευταία καθώς είναι από τους πιο μεγάλους κωδικούς και θέλει και αρκετά άτομα.
Κηπουρού	4	612	
Σαλάτα Γαλλική Μαρούλια Ιντίβια, 200 g ΔΕΖ	4	1974	

"ΓΕΡ" Μαρούλια Mix 5X200g	4 & 5	4755	Το μίγμα σπανάκι ως συνήθως μπαίνει στη γραμμή παραγωγής τελευταίο.
Σπανάκι 6x500	4	177	
Φρέσκο Σπανάκι 350 g	5	600	
Σπανάκι κομμένο 6x500	4	53	
Σπανάκι Κομμένο 6x500 VIV	4	18	
Σαλάτα Σπανάκι, 350 g ΔΕΖ	4	2142	
"ΓΕΡ" Σπανάκι 5X350g	4 & 5	3080	
Tray Sealer			
Τοματίνια VIV		34	
Νέα Έτοιμη Σαλάτα Chef 250γρ ΑΒΓ		123	
Νέα Έτοιμη Caesar's 250γρ ΑΒΓ		94	
Νέα Έτοιμη Ιταλική Σαλάτα, 180 g		57	
Allegria ΓΕΡ, 250 g		715	

Πίνακας 3: Λογική προγραμματισμού και ανάθεσης έργου στις γραμμές παραγωγής

4.5 Στόχοι Προγραμματισμού Παραγωγής

Για τη δημιουργία ενός βέλτιστου τρόπου προγραμματισμού της παραγωγής για την εταιρεία ΑΒΓ θα πρέπει να ξεπεραστούν οι περιορισμοί που υπάρχουν στη παραγωγική διαδικασία.

Τα ακόλουθα θα πρέπει κατά τη προσπάθεια δημιουργίας ενός προγράμματος παραγωγής να συμπεριλαμβάνονται στο σχεδιασμό του.

- Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η περιορισμένη δυναμικότητα και επάρκεια των πόρων του εξοπλισμού καθώς καθορίζει το ανώτερο όριο μεγέθους παρτίδας.
- Άλλη σημαντική πτυχή σχετίζεται με τον χαρακτήρα αυτής της διαδικασίας που την καθιστά πιο εξαρτημένη από τη διαθεσιμότητα ανθρώπινου δυναμικού.
- Η μειωμένη διάρκεια ζωής των προϊόντων έχει μεγάλη επίδραση στη διάρκεια του ορίζοντα σχεδιασμού και στην ίδια την παραγωγική διαδικασία.

- Τέλος, οι πολιτικές διαθεσιμότητας και προμηθειών πρώτων υλών και ο έλεγχος της ποιότητας τους έχουν μεγάλη επίδραση στην παραγωγικότητα. Οι περισσότερες από τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες έχουν μικρή διάρκεια ζωής και το ποιοτικό τους πρότυπο επηρεάζει άμεσα την επιθυμητή ποιότητα των τελικών προϊόντων.

Λαμβάνοντας υπόψη τη δεύτερη κατηγορία που προσδιορίστηκε, τα προϊόντα, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, έχουμε να κάνουμε με εποχιακά προϊόντα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της εποχής. Είναι σαφές ότι, κατά την υψηλή περίοδο, η εταιρεία φτάνει στο μέγιστο της ποσότητας τελικών προϊόντων που παράγονται ως συνέπεια, θα είναι και αυτή την περίοδο ότι η εταιρεία θα μπορέσει να επιτύχει τη μέγιστη παραγωγική της ικανότητα.

Τέλος, όσον αφορά την διαδικασία παραγωγής, δεν υπάρχει αποτελεσματική / επίσημη διαδικασία για την πρόβλεψη και βελτιστοποίηση του προγραμματισμού της παραγωγής. Επομένως, δεν υπάρχει προηγούμενος προγραμματισμός της παραγωγής για ένα καθορισμένο χρονικό παράθυρο, ούτε από άποψη ποσοτήτων ούτε από άποψη σειράς παραγωγής. Με δεδομένους τους περιορισμούς που παρουσιάστηκαν, ο κύριος στόχος της διατριβής είναι η βελτιστοποίηση της τρέχουσας παραγωγικής διαδικασίας.

5. Μοντελοποίηση Μονάδας Παραγωγής

Για να μελετηθεί η διαδικασία χρονικού προγραμματισμού της μονάδας φρέσκων κομμένων λαχανικών, αναπτύχθηκε μοντέλο προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας με τη βοήθεια του λογισμικού *SchedulePro*. Παρακάτω παρατίθενται τα βήματα της δημιουργίας της προσομοίωσης αυτής.

5.1 Δημιουργία *SKU*

Οι πρώτες ύλες ως υλικά που εισέρχονται στη παραγωγική μονάδα θεωρούνται πόροι. Στη περίπτωση της συγκεκριμένης βιομηχανίας οι πρώτες ύλες είναι τα φρέσκα λαχανικά που έρχονται προς επεξεργασία (Σχήμα 12). Τα επεξεργασμένα λαχανικά (ημέτοιμα), τα οποία έχουν πάντα φύρα, αποτελούν τα συστατικά των διαφόρων μιγμάτων λαχανικών που καταλήγουν μέσω των συνταγών στα τελικά προϊόντα. Οι πρώτες ύλες, τα ημέτοιμα και τα τελικά προϊόντα θεωρήθηκε ότι αποθηκεύονται σε μονάδες αποθήκευσης (*storage units*). Με αυτόν τον τρόπο όπως έχει αναφερθεί γίνεται δυνατή η παρακολούθηση του αποθεματικού και ο προγραμματισμός τους.

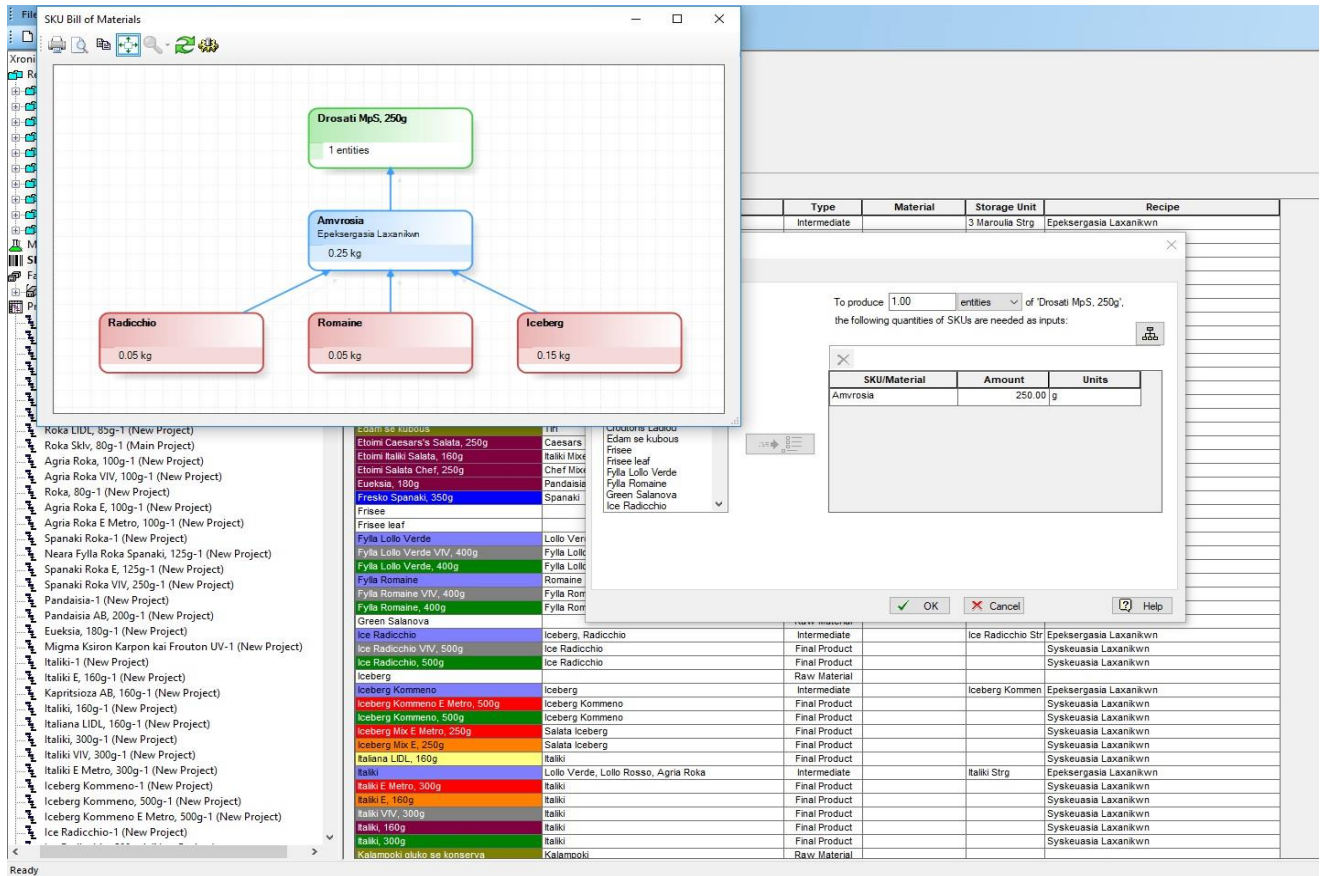
Το κάθε τελικό προϊόν δημιουργείται από συγκεκριμένες πρώτες ύλες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13, όπου παρουσιάζονται οι αναλώσεις από κάθε συστατικό αναλυτικά στον κατάλογο υλικών (*BOM*). Για κάθε τελικό προϊόν υπάρχει το αντίστοιχο *BOM*. Όταν δημιουργείται ένα τελικό προϊόν βάσει των δηλωμένων πρώτων υλών γίνεται η αντίστοιχη ανάλωσή τους σε ποσότητα. Οι πρώτες ύλες στη πορεία τους προς τελικά προϊόντα περνούν από τη κατάσταση ημέτοιμου προϊόντος. Για την ορθή λειτουργία και εξυπηρέτηση της προσομοίωσης δημιουργήθηκαν ημέτοιμα προϊόντα ώστε οι ποσότητες των επεξεργασμένων λαχανικών από ποσότητες όγκου να μετατρέπονται σε διακριτές μονάδες.

SKU	Description	Type	Material	Storage Unit	Recipe
Skiro Tri Italias Fides	Tri	Raw Material			
Selino		Raw Material			
Sauce Mouslardas me kotopoulo	Sauce	Raw Material			
Sauce Elaioledo Kaldi kai Balsamiko	Sauce	Raw Material			
Sauce Chef me zampon	Sauce	Raw Material			
Romaine		Raw Material			
Red Salanova		Raw Material			
Radicchio		Raw Material			
Piperia lokkini		Raw Material			
Migma Ksiron Karpon kai Froudon	Superfood Mix	Raw Material			
Lollo Verde		Raw Material			
Lollo Rosso		Raw Material			
Lahano aspro		Raw Material			
Karoto		Raw Material			
Kalamipki glukos se konservia	Kalamipki	Raw Material			
Iceberg		Raw Material			
Green Salanova		Raw Material			
Frisee leaf		Raw Material			
Frisee		Raw Material			
Edam se kubous	Tri	Raw Material			
CROUTONS LADIOU	Artimata	Raw Material			
Butterhead		Raw Material			
Baby Spanaki		Raw Material			
Agria Roka		Raw Material			
Valeriana Monolaxaniko	Valeriana	Intermediate		Valeriana Mon Str	Epexergasia Laxanikwn
Valeriana Itix	Romaine, Radicchio, Valeriana	Intermediate		Valeriana Itix Str	Epexergasia Laxanikwn
Tryfera Fylla	Red Salanova, Gren Salanova	Intermediate		Tryfera Fylla Str	Epexergasia Laxanikwn
Tomatina Monolaxaniko	Tomatina	Intermediate		Tomatina Mon Str	Proetoimasia Tomatinia
Spanaki Roka	Spanaki, Agria Roka	Intermediate		Spanaki Roka Str	Epexergasia Laxanikwn
Spanaki Monolaxaniko	Spanaki	Intermediate		Spanaki Mon Str	Epexergasia Laxanikwn
Selino kommeno		Intermediate			Proetoimasia Selino
Salata Iceberg	Iceberg, Radicchio, Karoto	Intermediate		Salata Iceberg Str	Epexergasia Laxanikwn
Roka Monolaxaniko	Agria Roka	Intermediate		Roka Mon Str	Epexergasia Laxanikwn
Politiki	Lahano aspro, Karoto, Piperia lokkini, Selino	Intermediate		Politiki Str	Epexergasia Laxanikwn
Piperia lokkini kommeno		Intermediate			Proetoimasia Piperia
Pandaisia	Butterhead, Radicchio, Valeriana	Intermediate		Pandaisia Str	Epexergasia Laxanikwn
Mista	Iceberg, Radicchio, Frisee	Intermediate		Mista Str	Epexergasia Laxanikwn
Migma Ksiron Karpon kai Froudon UV	Superfood Mix	Intermediate			UV
Marouli Roka	Iceberg, Romaine, Agria Roka	Intermediate		Marouli Roka Str	Epexergasia Laxanikwn
Marouli Kommeno	Romaine	Intermediate		Marouli Kommen	Epexergasia Laxanikwn
Marouli Ice	Romaine, Iceberg	Intermediate		Marouli Ice Str	Epexergasia Laxanikwn
Lahano aspro kommeno		Intermediate			Proetoimasia Laxano
Lahano Karoto	Lahano, Karoto	Intermediate		Lahano Karoto Str	Epexergasia Laxanikwn
Karoto kommeno		Intermediate			Proetoimasia Karoto
Karoto Julienne	Karoto	Intermediate		Karoto Julienne	Epexergasia Laxanikwn
Italki	Lollo Verde, Lollo Rosso, Agria Roka	Intermediate		Italki Str	Epexergasia Laxanikwn
Icebero Kommeno	Icebero	Intermediate		Icebero Kommen	Epexergasia Laxanikwn

Σχήμα 12: Λίστα πρώτων υλών

5.2 Δημιουργία Πόρων

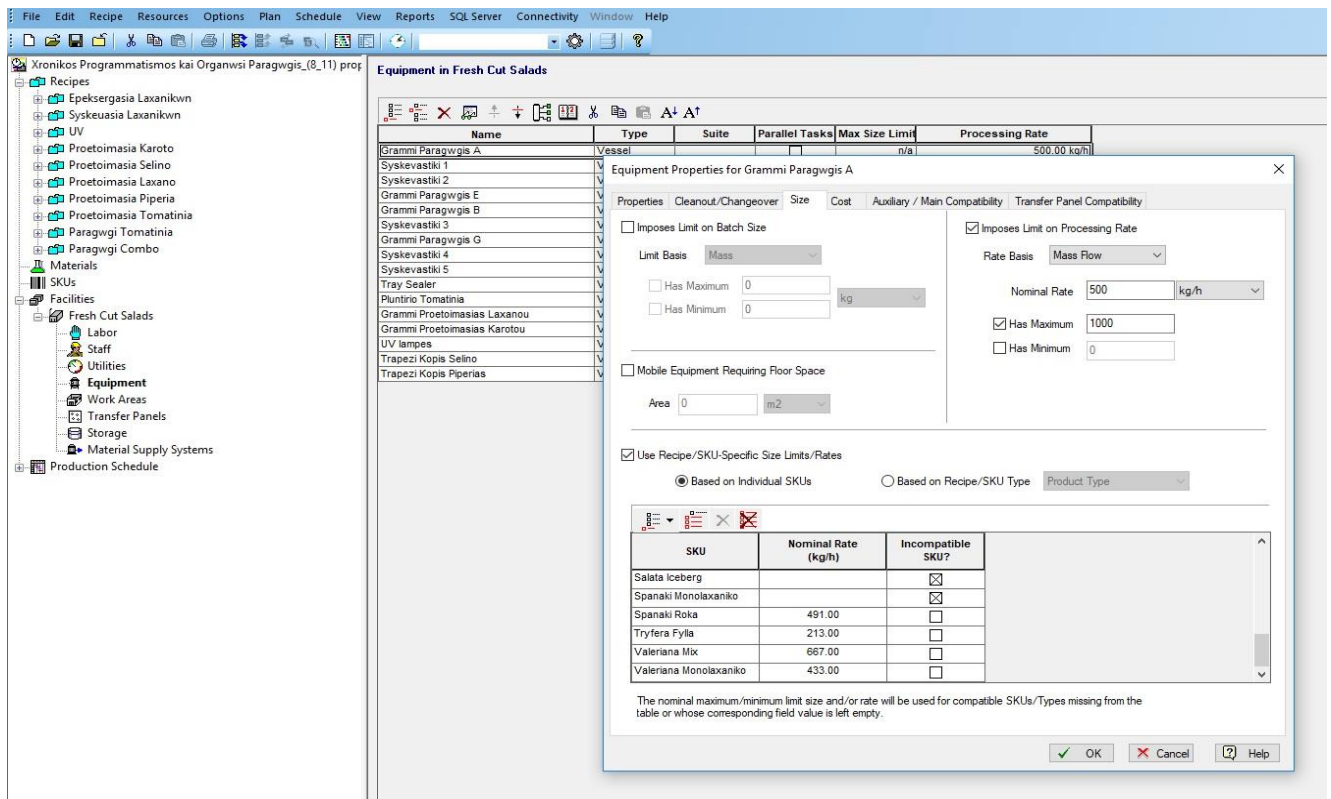
Στη παρούσα βιομηχανία η μονάδα παραγωγής είναι μια και όλοι οι διαθέσιμοι πόροι παραγωγής ανήκουν εκεί. Στο αντίστοιχο πεδίο του λογισμικού δημιουργήθηκε μία νέα μονάδα (*Fresh Cut Salads*) και δηλώθηκαν τα διαθέσιμα στην μονάδα τα μηχανήματα σύμφωνα με την υπάρχουσα κατάσταση της παραγωγής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 14. Στα μηχανήματα αυτά συμπεριλαμβάνονται οι 4 γραμμές παραγωγής, οι 5 συσκευαστικές μηχανές, η συσκευαστική για σαλάτες σε σκαφάκια (*tray sealer*), το πλυντήριο για τοματίνια, οι γραμμές προετοιμασίας λάχανου, καρότου, σέλινου και πιπεριάς και οι λάμπες UV. Ο εξοπλισμός αυτός έχει διαφορετικές δυναμικότητες για τα διάφορα μίγματα που επεξεργάζονται. Οι δυναμικότητες ανα μίγμα έχουν περαστεί σε κάθε μηχανήμα αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 15 σύμφωνα με τον Πίνακα στο Παράρτημα Α. Όλα τα μίγματα λαχανικών δεν παράγονται σε όλες τις γραμμές παραγωγής για αυτό το λόγο και για να αυτοματοποιηθεί η προσομοίωση της παραγωγής, τα μίγματα που δεν παράγονται από συγκεκριμένες γραμμές ορίζονται ως μη συμβατά (*incompatible sku*). Έτσι όταν θα χρειαστεί να επιλεγεί η γραμμή παραγωγής που θα βγει ένα μίγμα αυτόματα αποκλείονται. Όπως αναφέρθηκε μέσα στη κατηγορία των πόρων θεωρείται και το ανθρώπινο δυναμικό. Δηλώθηκε μία κατηγορία εργαζομένων ("Εργάτες Παραγωγής") όπως φαίνεται στο Σχήμα 16 και με την βοήθεια του ημερολογίου δηλώθηκε ανά περίοδο της ημέρας η διαθεσιμότητα τους. Υπενθυμίζεται ότι ο αριθμός των εργαζομένων ποικίλει μέσα στην ημέρα.



Σχήμα 13: Bill of Materials συνταγής τελικών προϊόντων

Name	Type	Suite	Parallel Tasks	Max Size Limit	Processing Rate
Grammi Paragwgis A	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	500.00 kg/h
Syskevastiki 1	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	28.00 entities/min
Syskevastiki 2	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	28.00 entities/min
Grammi Paragwgis E	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	300.00 kg/h
Grammi Paragwgis B	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	500.00 kg/h
Syskevastiki 3	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	28.00 entities/min
Grammi Paragwgis G	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	500.00 kg/h
Syskevastiki 4	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	28.00 entities/min
Syskevastiki 5	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	20.00 entities/min
Tray Sealer	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	500.00 entities/h
Pluntrio Tomatinia	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	218.00 kg/h
Grammi Proetoimasias Laxanou	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	400.00 kg/h
Grammi Proetoimasias Karotou	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	233.00 kg/h
UV lampes	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	1920.00 entities/h
Trapezi Kopis Selino	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	17.00 kg/h
Trapezi Kopis Piperias	Vessel		<input type="checkbox"/>	n/a	76.00 kg/h

Σχήμα 14: Λίστα μηχανημάτων-εξοπλισμού



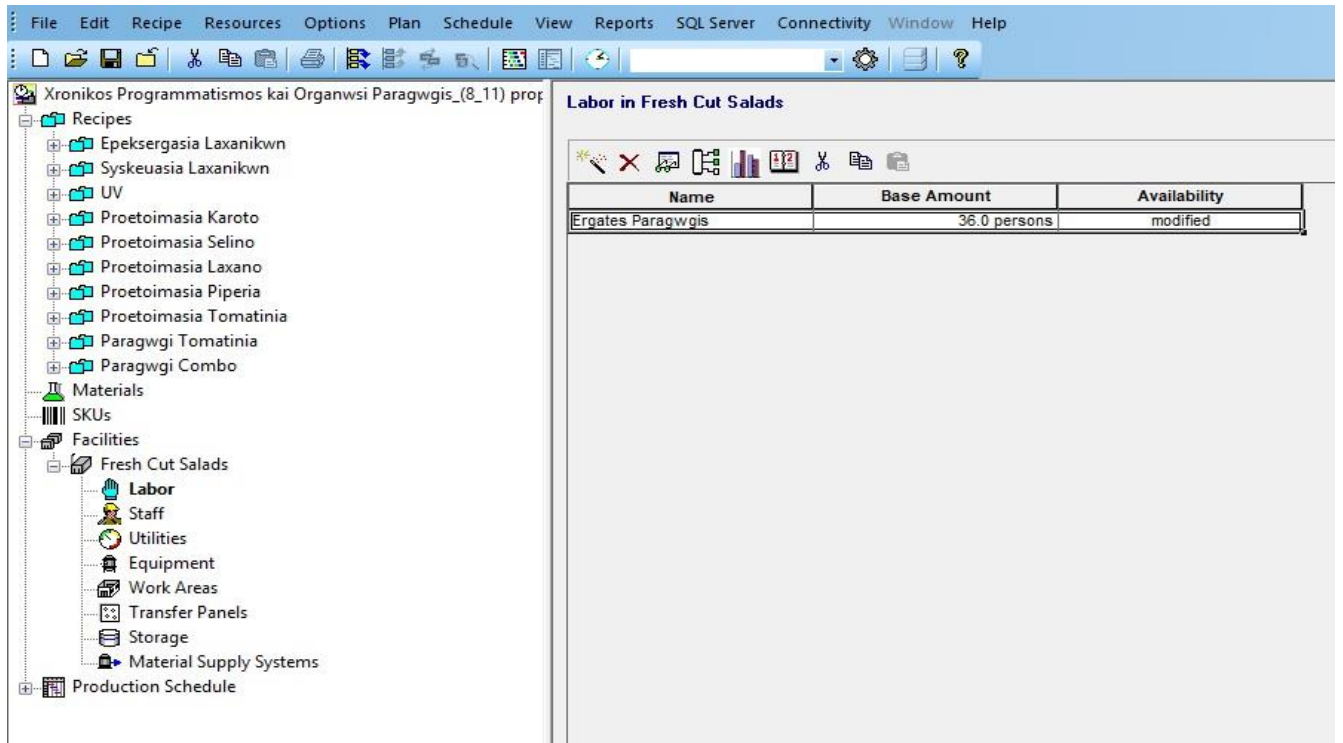
Σχήμα 15: Δυναμικότητες ανα μίγματα σε εξοπλισμό

Το εργατικό δυναμικό δεν έχει χωριστεί σε κατηγορίες ειδικότητας καθώς πολλές φορές οι εργαζόμενοι μπορεί να μεταφέρονται από θέση σε θέση και δεν χρειάζεται κάποια εξειδίκευση. Οι απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό ανά μίγμα και γραμμή παραγωγής όπως θα φανεί παρακάτω διαφέρουν.

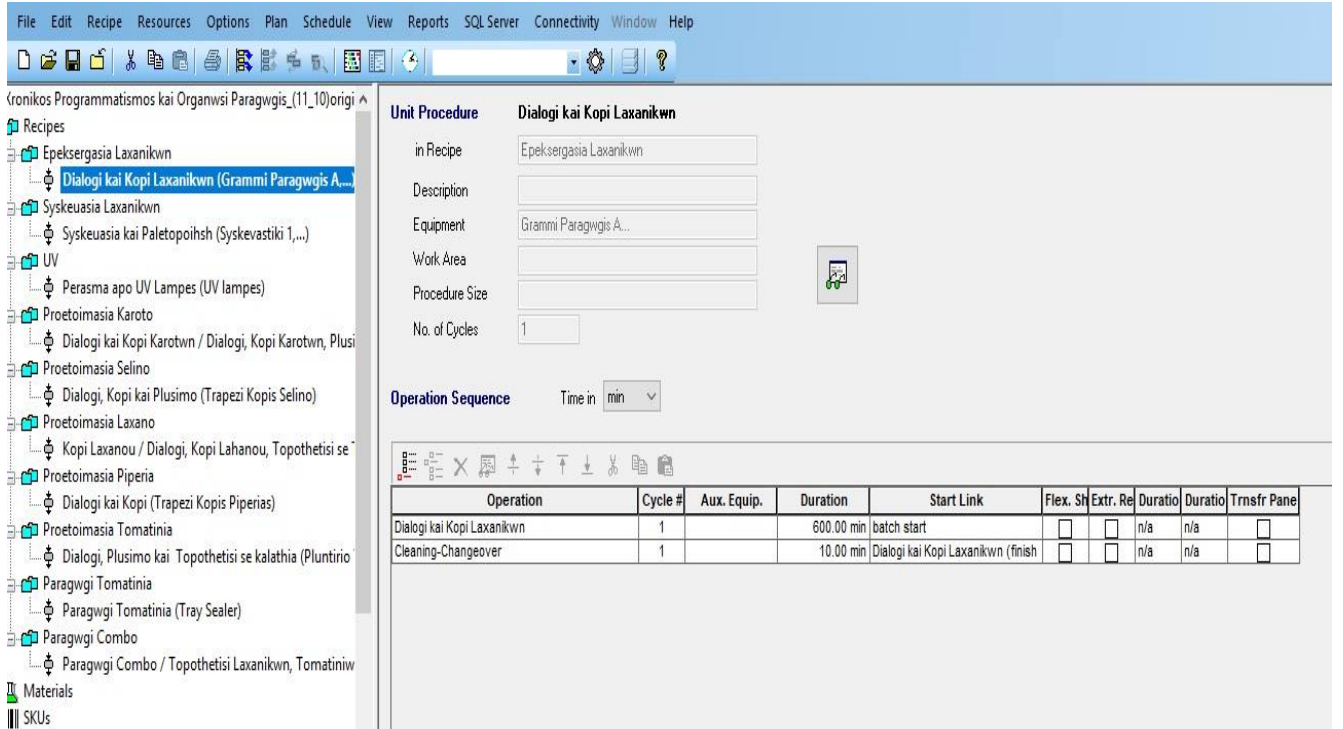
5.3 Δημιουργία Συνταγών

Η συνταγή αντιπροσωπεύει το πρότυπο ή την περιγραφή του πώς φτιάχνεται μία παρτίδα ενός προϊόντος. Οι συνταγές αποτελούνται από κλάδους (*branches*) και τμήματα (*sections*).

Για την υποστήριξη του μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας, δημιουργήθηκαν οι απαραίτητες συνταγές (*recipes*) οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 17. Οι συνταγές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: προετοιμασίας/επεξεργασίας λαχανικών και συσκευασίας. Ο διαχωρισμός αυτός είναι απαραίτητος καθώς η παραγωγή και η συσκευασία μπορεί να λειτουργούν ανεξάρτητα. Η σύνδεση των διακριτών συνταγών γίνεται μέσω του ορισμού πραγματικών ή εικονικών αποθηκευτικών χώρων (*Storage Units*) στους οποίους οι συνταγές προετοιμασίας/επεξεργασίας αποθέτουν τα ημιέτοιμα προϊόντα τα οποία παραλαμβάνονται από τις συνταγές συσκευασίας για να ολοκληρωθεί η παραγωγή. Καθίσταται επομένως υποχρεωτική η παρακολούθηση των αποθεματικών των αποθηκευτικών αυτών χώρων για να επιβεβαιώνεται ότι η παραγωγή είναι εφικτή.



Σχήμα 16: Δημιουργία πόρων, ανθρώπινου δυναμικού



Σχήμα 17: Λίστα συνταγών

Για κάθε συνταγή που δημιουργήθηκε έχει οριστεί και μια δυναμικότητα η οποία συνδυαστικά με τη δυναμικότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τη διεκπεραίωση της διεργασίας, παράγει τη διάρκεια της συνταγής ανά περίπτωση (Σχήμα 18). Οι συνταγές που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής:

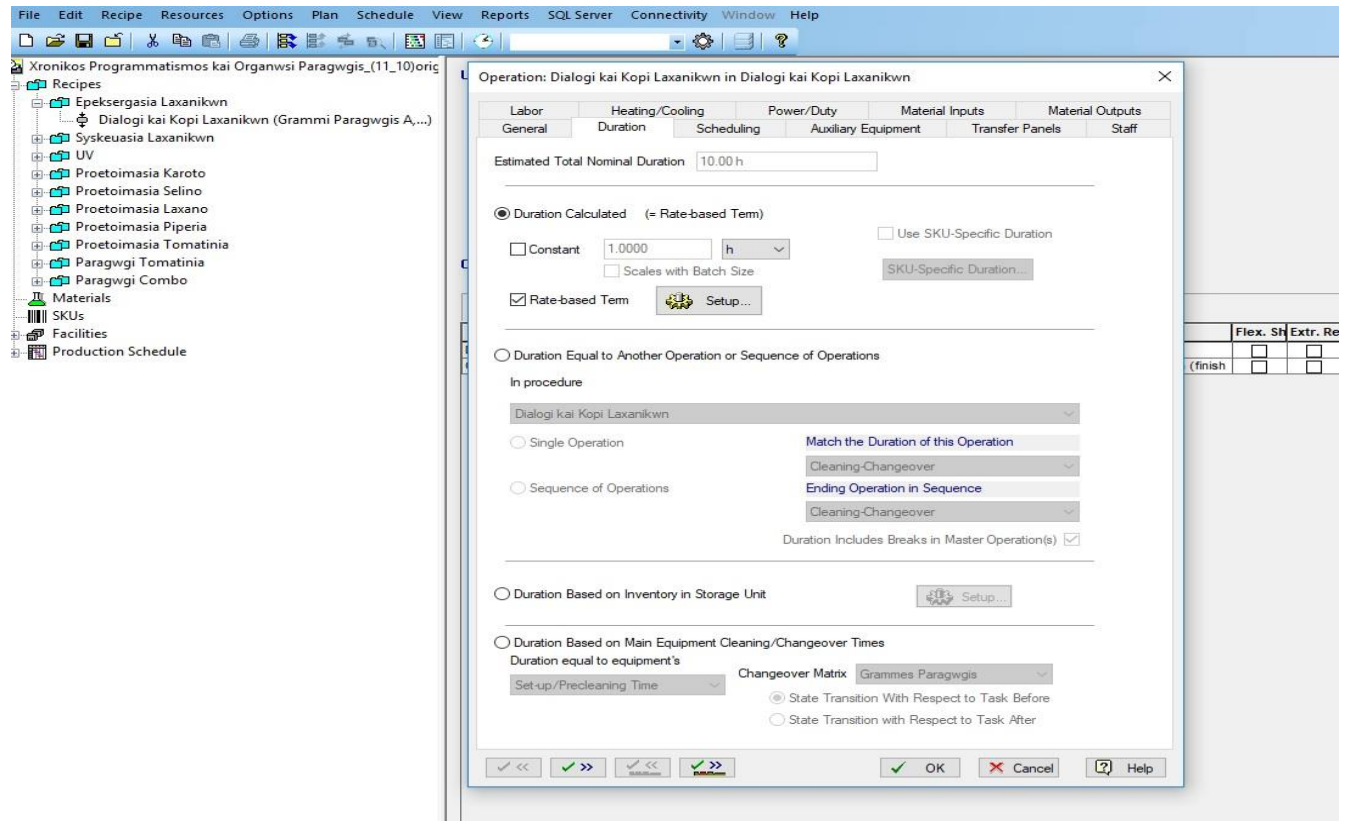
1. Επεξεργασία λαχανικών (Διεργασία διαλογής, κοπής και πλυσίματος των λαχανικών λίγο πριν φτάσουν στις συσκευαστικές μηχανές. Οι πρώτες ύλες σε αυτή τη συνταγή εισέρχονται ανά είδος και βγαίνουν χύδην σε μίγματα λαχανικών)
2. Συσκευασία και παλετοποίηση (Διεργασία συσκευασίας ως και παλετοποίηση του τελικού προϊόντος. Τα χύδην μίγματα λαχανικών εισέρχονται σε αυτή τη διεργασία και μετατρέπονται σε διακριτά τεμάχια τελικών προϊόντων)
3. UV (Διεργασία περάσματος ατομικών συσκευασμένων σε σακουλάκια πρώτων υλών από λάμπες UV)
4. Προετοιμασία καρότο (Διεργασία επεξεργασίας πρώτης ύλης καρότου σε ημιέτοιμο προς χρήση σε μίγμα λαχανικών)
5. Προετοιμασία σέλινο (Διεργασία επεξεργασίας πρώτης ύλης σέλινου σε ημιέτοιμο προς χρήση σε μίγμα λαχανικών)
6. Προετοιμασία λάχανου (Διεργασία επεξεργασίας πρώτης ύλης λάχανου σε ημιέτοιμο προς χρήση σε μίγμα λαχανικών)
7. Προετοιμασία πιπεριάς (Διεργασία επεξεργασίας πρώτης ύλης πιπεριάς σε ημιέτοιμο προς χρήση σε μίγμα λαχανικών)
8. Προετοιμασία τοματίνια (Διεργασία επεξεργασίας πρώτης ύλης τοματίνια σε ημιέτοιμο προς χρήση σε μίγμα λαχανικών)
9. Προετοιμασία combo (Διεργασία μίξης και συσκευασίας σαλατών σε σκαφάκια)

Όπως φαίνεται από την παραπάνω λίστα, οι συνταγές αναπτύχθηκαν κατά γενικευμένο τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύουν την παραγωγή πολλαπλών προϊόντων. Διαφοροποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία προϊόντων τα οποία παράγονται από την ίδια συνταγή δηλώνονται στο επίπεδο του *SKU* που αντιστοιχεί στο προϊόν. Για παράδειγμα, τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για να παραχθούν διαφορετικά ημιέτοιμα ή προϊόντα μέσα από την ίδια συνταγή δηλώνονται στον Κατάλογο Υλικών (*BOM*) του κάθε *SKU*. Το ίδιο ισχύει και για τις διαφορετικές δυναμικότητες ή την δυνατότητα ή μη εκτέλεσης ενός προϊόντος σε συγκεκριμένη μηχανή η οποία έχει δηλωθεί ως υπονήφιος προς χρήση πόρος στο επίπεδο της συνταγής. Τέλος, οι χρόνοι εκτέλεσης της κάθε διεργασίας όπως και ο απαιτούμενος αριθμός εργατών για την εκτέλεσή της μπορούν επίσης να διαφοροποιηθούν ανάλογα με το *SKU* το οποίο εκτελείται.

Μία σημαντική κατηγορία χρόνων είναι οι νεκροί χρόνοι καθαρίσματος ή ρύθμισης (μοντάρισμα) των μηχανών. Οι χρόνοι αυτοί εξαρτώνται από την αλληλουχία των προϊόντων και γι' αυτό το λόγο δηλώθηκαν σε κάθε συσκευή ως μήτρες (*matrix*) οι οποίες καλύπτουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς εναλλαγής από κατηγορία προϊόντος (μίγματος λαχανικών) ή μεγέθους συσκευασίας σε άλλη και καταγράφουν τους αντίστοιχους χρόνους. Στο Σχήμα 19 φαίνεται η μήτρα των χρόνων εναλλαγής μεγέθους συσκευασίας στις συσκευαστικές μηχανές.

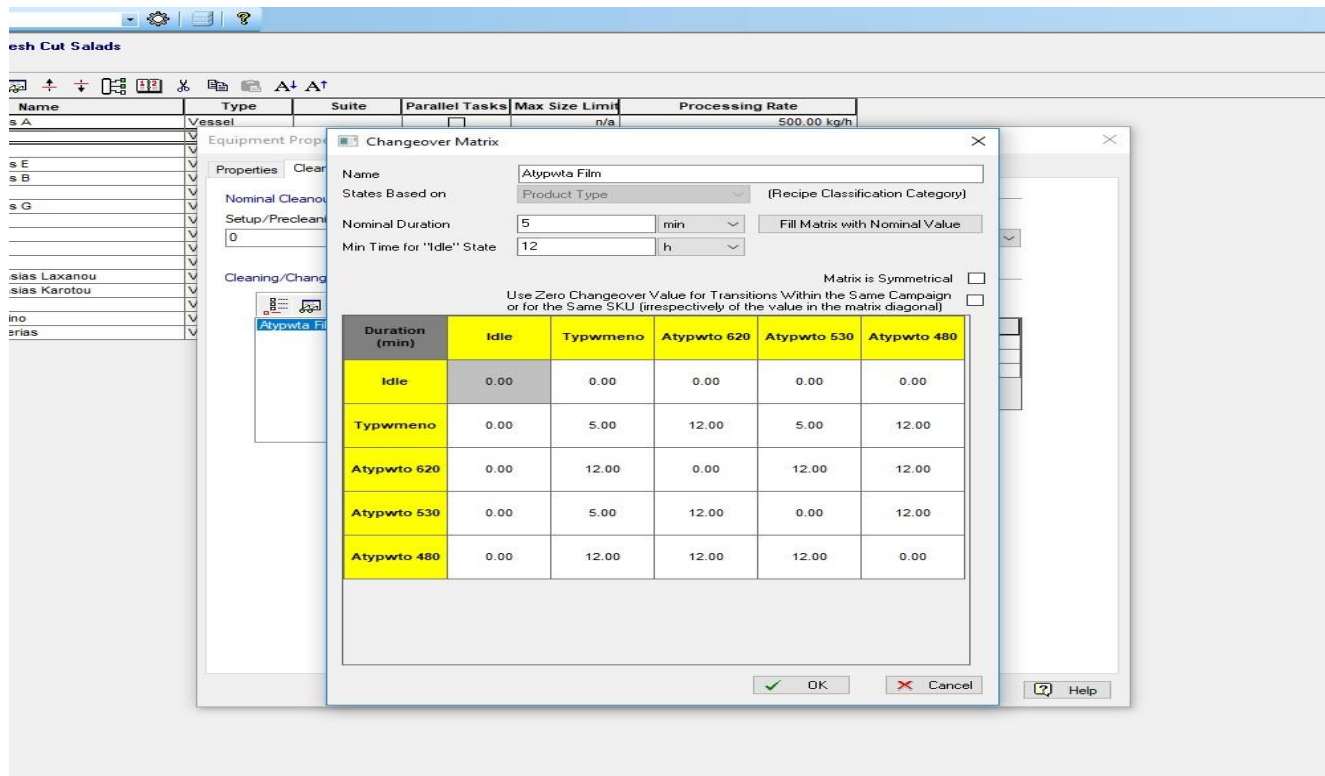
5.4 Δημιουργία Καμπάνιας

Ανάλογα με τις παραγγελίες της ημέρας ορίζονται και οι καμπάνιες των αντίστοιχων προϊόντων που πρέπει να παραχθούν και με βάση τους εμπειρικούς κανόνες που προαναφέρθηκαν καθορίζεται και η σειρά με την οποία μπαίνουν στην "ουρά" εκτέλεσης.



Σχήμα 18: Ρύθμιση διάρκειας διεργασιών

Ο χρόνος έναρξης διεξαγωγής κάθε καμπάνιας (*release date*) ορίζεται έτσι ώστε να υπάρχουν οι λιγότερες αλλαγές μιγμάτων, καθαρισμοί γραμμών καθώς και να επιτυγχάνεται ολοκλήρωση παραγγελιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε πελάτη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πραγματική σειρά εκτέλεσης μπορεί να διαφέρει από την προγραμματισμένη. Για παράδειγμα, εάν μία καμπάνια απαιτεί πόρους που δεν είναι διαθέσιμοι όταν είναι προγραμματισμένη να εκτελεστεί, η παραγωγή της μπορεί να καθυστερήσει σε σχέση με άλλη καμπάνια η οποία ήταν προγραμματισμένη για αργότερα αλλά υπάρχουν διαθέσιμοι πόρους για να εκτελεστεί. Ο προγραμματισμός αυτός της παραγωγής μπορεί να γίνει μέσω του *SchedulePro* αυτόματα, χειροκίνητα είτε ημι-αυτοματοποιημένα.

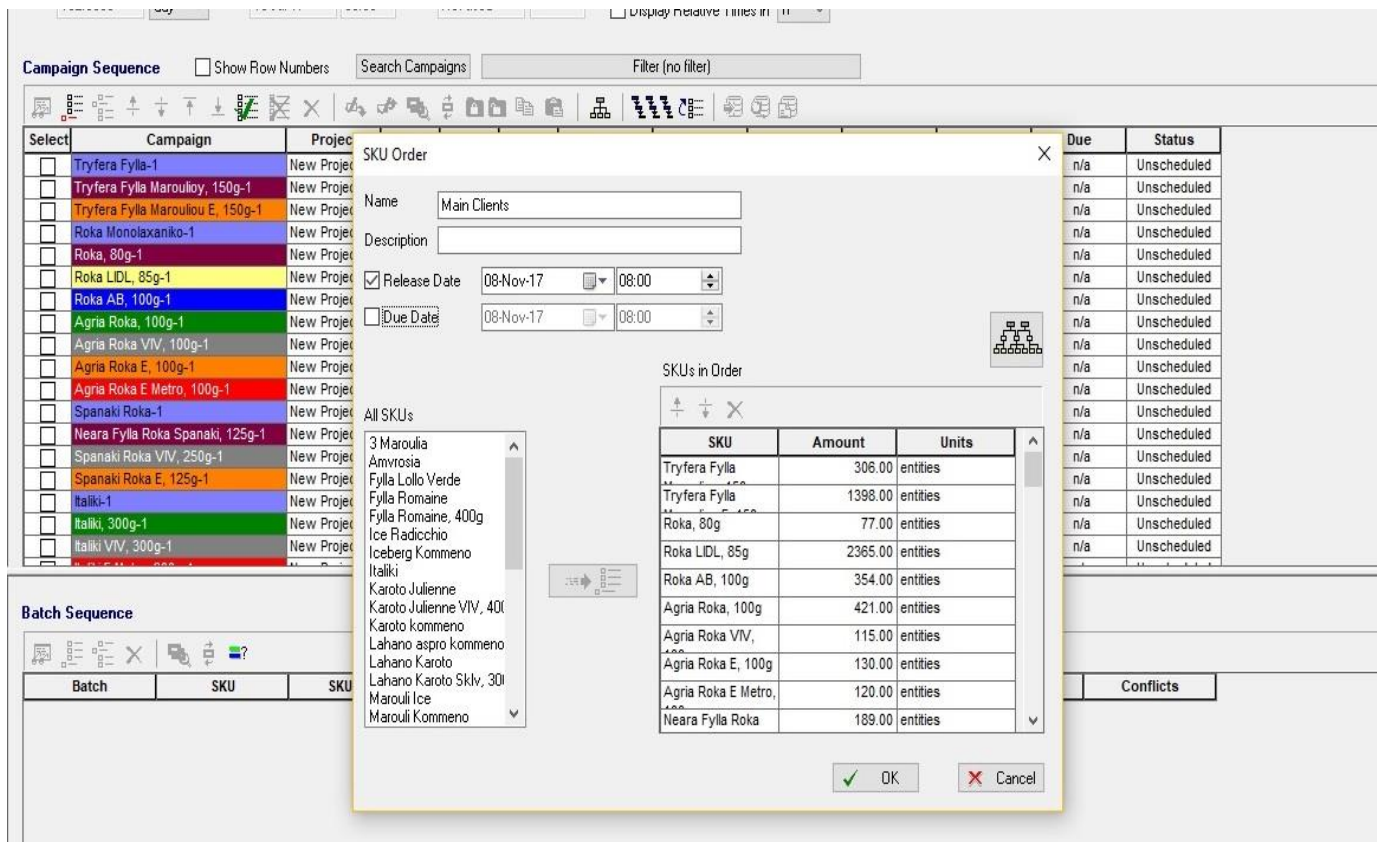


Σχήμα 19: Μήτρα διάρκειας χρόνων αλλαγής συσκευαστικών

6. Σενάρια Προγραμματισμού Παραγωγής

6.1 Βελτίωση της διαδικασίας δημιουργίας προγράμματος παραγωγής μέσω λογισμικού

Έγινε προσπάθεια μέσω του λογισμικού *Schedule Pro* ώστε να δοθεί η δυνατότητα στον προϊστάμενο παραγωγής να μπορεί να εκτελεί τον προγραμματισμό πιο γρήγορα, εύελικτα και με μεγαλύτερη ευχέρεια πρόβλεψης των επιλογών που θα γίνουν αλλά και των συνεπειών που θα έχουν οι επιλογές αυτές. Πιο συγκεκριμένα, ο τρέχων μέσος χρόνος προγραμματισμού χωρίς χρήση οποιουδήποτε λογισμικού είναι περίπου 95 λεπτά με μεγάλη όμως απόκλιση η οποία εξαρτάται από την ευχέρεια του προγραμματιστή και τη δυσκολία προγραμματισμού της ημέρας. Ο χρόνος δημιουργίας του προγράμματος παραγωγής μέσω του λογισμικού υπολογίστηκε περίπου σε 45 λεπτά. Για τη μείωση του χρόνου αυτού χρειάστηκε η δημιουργία κάποιων πρότυπων παραγγελιολόγιων πάνω στα οποία να βασίζεται ο ημερήσιος προγραμματισμός. Η δημιουργία ενός τυπικού παραγγελιολογίου φαίνεται στο Σχήμα 20 και περιλαμβάνει τυπικές ποσότητες ημερήσιων παραγγελιών για τα προϊόντα της μονάδας.



Σχήμα 20: Δημιουργία προεπιλεγμένων παραγγελιών μέσω λογισμικού Schedule Pro

Σε επόμενο στάδιο οι παραγγελίες αυτές μπορούν να μεταβληθούν αναλόγως της πραγματικής ζήτησης της ημέρας. Η δημιουργία ενός ημερήσιου προγράμματος παραγωγής με βάση τις προβλεπόμενες παραγγελίες γίνεται με ημι-αυτοματοποιημένο τρόπο από το λογισμικό μέσα από μία διαδικασία η οποία προσομοιάζει την δημιουργία ενός σεναρίου *MRP* από το κύριο πρόγραμμα παραγωγής (*MPS*). Η διαδικασία αυτή ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

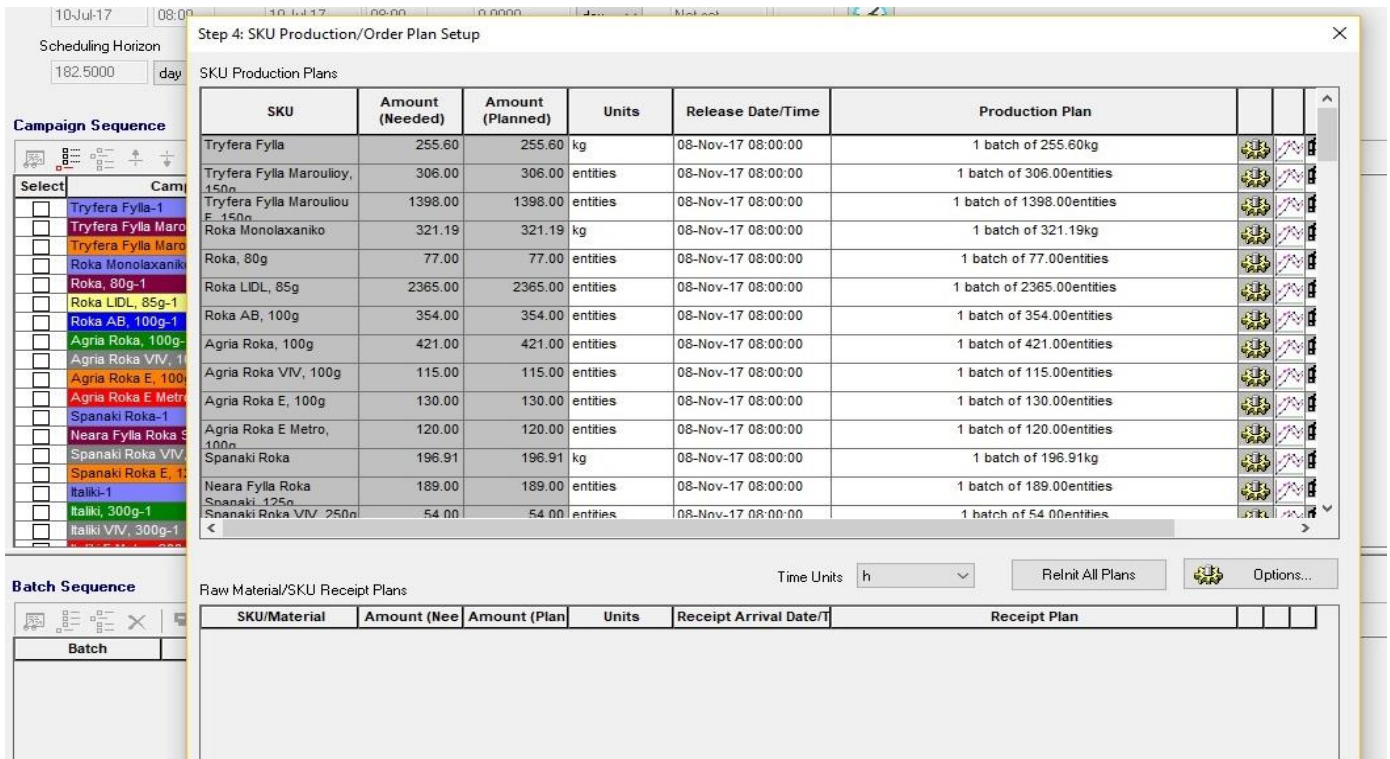
1. Υπολογισμός των ποσοτήτων όλων των πρώτων υλών, ημιτέτοιμων και τελικών προϊόντων που απαιτούνται βάσει της παραγγελίας
2. Ορισμός (από τον χρήστη ή μέσω της καταγεγραμμένης στο λογισμικό κατάστασης των αποθεματικών) των διαθέσιμων ποσοτήτων στην αποθήκη των πρώτων υλών, ημιτέτοιμων και τελικών προϊόντων
3. Επαναυπολογισμός των ποσοτήτων που πρέπει να παραγγελθούν (πρώτες ύλες) ή να παραχθούν (ημιτέτοιμα και τελικά προϊόντα)
4. Δημιουργία προτεινόμενου πλάνου παραγωγής το οποίο για κάθε παραγόμενο είδος (ημιτέτοιμο ή τελικό προϊόν) περιλαμβάνει τον αριθμό των παρτίδων που πρέπει να εκτελεστούν, την ποσότητα ανά παρτίδα και τον χρόνο ένταξης της παραγωγής στην σειρά εκτέλεσης (*release date*)
5. Οριστικοποίηση του προγράμματος παραγωγής μετά από πιθανές αλλαγές από τον χρήστη

Στο Σχήμα 21 φαίνεται το πρόγραμμα παραγωγής όπως προτείνεται από το λογισμικό στο βήμα 4. Στην αυτόματη δημιουργία του προγράμματος αυτού λαμβάνονται υπόψιν γενικές επιλογές του χρήστη που αφορούν την διαμόρφωση των παρτίδων (πχ. αν οι παρτίδες θα είναι πάντα συγκεκριμένης ποσότητας ή μεταβλητής) και τον τρόπο προσδιορισμού του χρόνου ένταξης της παρτίδας στην παραγωγή (πχ. στην περίπτωση που απαιτείται κάποιο ημιέτοιμο, αν η ένταξη γίνει μετά την παραγωγή όλης της απαιτούμενης ποσότητας του ημιέτοιμου ή κάποιας αρχικής ποσότητας). Τόσο στο βήμα αυτό όσο και στο επόμενο βήμα 5 ο χρήστης μπορεί να επέμβει και να διαμορφώσει το πρόγραμμα σύμφωνα με τις επιθυμίες του.

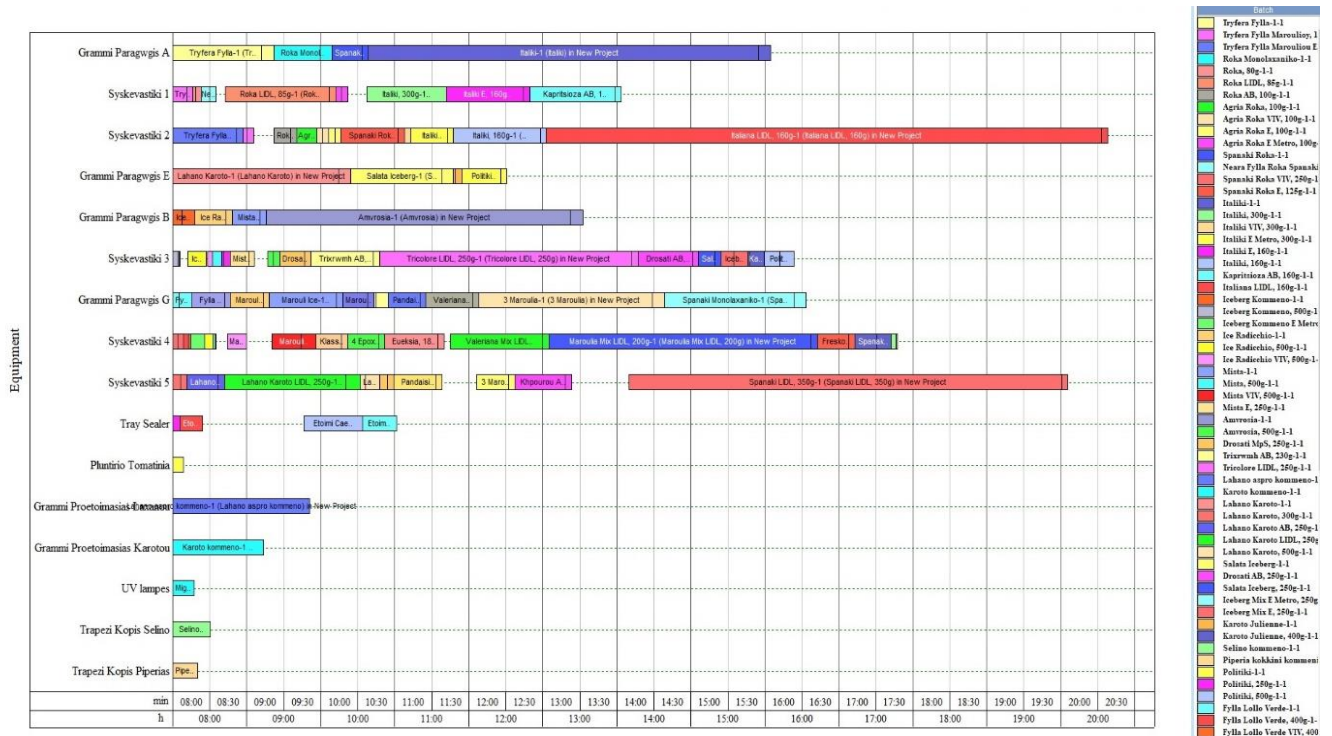
Μέσα από την παραπάνω διαδικασία οριστικοποιείται το πλάνο παραγωγής το οποίο ικανοποιεί τις προβλεπόμενες παραγγελίες και το οποίο περιλαμβάνει τις παρτίδες και τις παραγγελίες πρώτων υλών προς εκτέλεση. Σε δεύτερη φάση το πλάνο αυτό προγραμματίζεται σε συγκεκριμένο χρόνο εκτέλεσης των παρτίδων και με ανάθεση συγκεκριμένων πόρων μέσα στην ημέρα και ελέγχεται η εφικτότητα εκτέλεσής του.

Διαφοροποιήσεις στο πλάνο παραγωγής είναι δυνατόν να υπάρξουν όταν αλλάζουν οι παραγγελίες των τελικών προϊόντων. Καθώς οι παραγγελίες για την ημέρα προγραμματισμού έρχονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, κάποιες το προηγούμενο απόγευμα και οι άλλες την ίδια ημέρα το πρωί, ο προγραμματισμός γίνεται σε δύο στάδια. Από τη προηγούμενη μέρα βάσει των παραγγελιών που έχουν έρθει και των προβλέψεων για την επόμενη ημέρα βγαίνει ένα πρόγραμμα παραγωγής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 22. Σε συνέχεια το πρόγραμμα με τις προ-παραγγελίες θα υποστεί αλλαγές την επόμενη ημέρα, μόλις έχουν παραληφθεί και οι υπόλοιπες παραγγελίες. Στο Σχήμα 23 φαίνεται ο προγραμματισμός μετά τη παραλαβή όλων των παραγγελιών. Παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα στους δύο προγραμματισμούς. Οι διακυμάνσεις αυτές λόγω διαφοροποίησης των παραγγελιών επηρεάζουν σημαντικά την ομαλή εκτέλεση της παραγωγής.

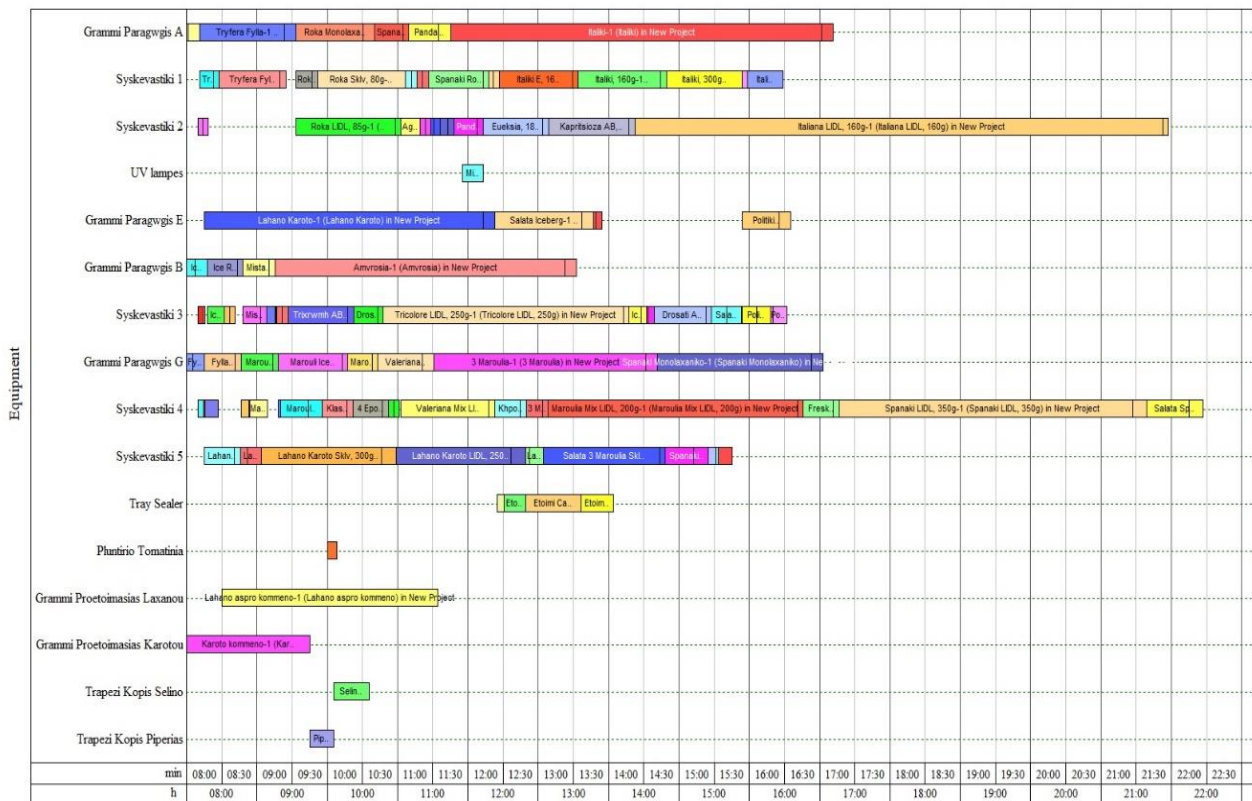
Σε σχέση με τον χειρωνακτικό προγραμματισμό, η χρήση του λογισμικού προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στις αλλαγές του προγράμματος και καλύτερη πρόβλεψη για την εξέλιξή του. Το λογισμικό δίνει επίσης τη δυνατότητα του υπολογισμού των συνολικών ατόμων που χρειάζεται η παραγωγή ανά πάσα χρονική στιγμή, βάσει των απαιτήσεων σε ανθρωποώρες που έχουν δηλωθεί από το χρήστη για κάθε παραγωγική διαδικασία ξεχωριστά. Ο αριθμός των συνολικών ατόμων συγκρίνεται με τον αριθμό των διαθέσιμων ατόμων στη διάρκεια της ημέρας και ταυτοποιούνται τα χρονικά διαστήματα μέσα στα οποία υπάρχουν ελλείψεις. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 23 για την ολοκλήρωση της παραγωγής για την ημέρα 8/11 χρειάστηκαν βάσει του προγραμματισμού 13,7 ώρες, με λειτουργία της μονάδας από τις 8:00 έως 21:40. Επίσης κατά το διάστημα 12:00 με 13:00 εμφανίζεται η μεγαλύτερη ανάγκη σε απασχόληση ατόμων για τη παραγωγή, η οποία είναι 39 άτομα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 24.



Σχήμα 21: Υπολογισμός διάρκειας και προτάσεις για παραγγελίες μέσω λογισμικού Schedule Pro



Σχήμα 22: Πρόγραμμα παραγωγής προ-παραγγελιών



Σχήμα 23: Πρόγραμμα παραγωγής παραγγελιών

6.2 Εγκατάσταση οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής B

Βάσει των προγραμμάτων παραγωγής που εκτελούνται μέσω του λογισμικού, είναι δυνατός ο υπολογισμός και η παρουσίαση των χρόνων απασχόλησης ή αντίστροφα διαθεσιμότητας της κάθε μηχανής που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σε σχέση με τον συνολικό χρόνο λειτουργίας. Με αυτόν τον τρόπο ταυτοποιούνται οι περιοριστικές μηχανές (*bottleneck*) που χρησιμοποιούνται περισσότερο και αυτές που υποχρησιμοποιούνται κι επομένως προσφέρουν την δυνατότητα αύξησης της παραγωγικότητας μέσα από την πιο αποτελεσματική χρήση τους. Σύμφωνα με την αναφορά του λογισμικού στο Σχήμα 25 για την υπό μελέτη μονάδα, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης των πόρων εξοπλισμού, η γραμμή παραγωγής B φαίνεται να συμμετέχει σε μικρότερο βαθμό στη παραγωγή συγκριτικά με τις άλλες γραμμές παραγωγής (ποσοστό διαθεσιμότητας 61.65% του χρόνου). Με τη προσθήκη ενός οπτικού σαρωτή στη γραμμή B παρέχεται η δυνατότητα να περάσουν από τη γραμμή επιπλέον μίγματα λαχανικών. Η γραμμή παραγωγής G και οι συσκευαστικές γραμμές που τροφοδοτούνται από αυτή, εμφανίζονται ως *bottleneck* στις περισσότερες φορές της παραγωγικής διαδικασίας εκτελέσεις της ημερήσιας παραγωγής. Συνεπώς για την μείωση του συνολικού χρόνου παραγωγής θα πρέπει να γίνει μεταβίβαση παραγωγής μιγμάτων από τις γραμμές παραγωγής με το μεγαλύτερο φόρτο εργασίας προς τη γραμμή B.



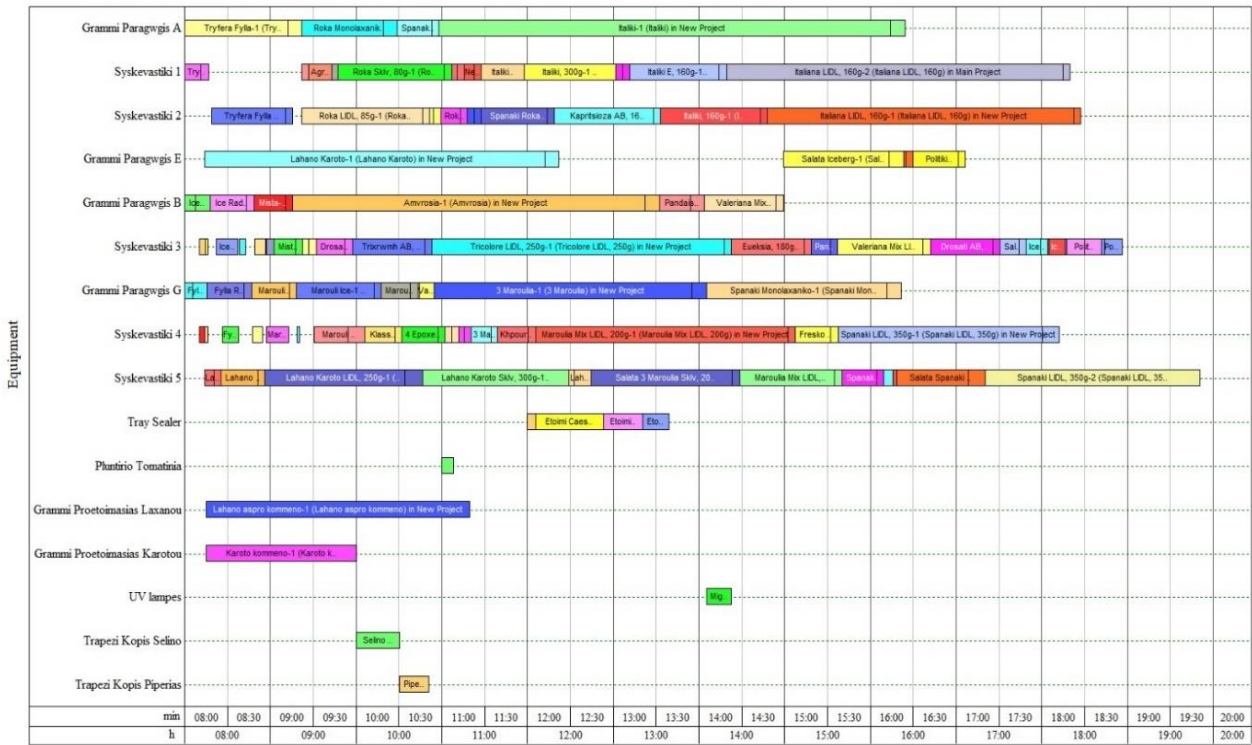
Σχήμα 24: Απαιτήσεις προσωπικού για τη παραγωγή

Total Utilization Table

Equipment/Staff	Percent Occupied	Percent Busy	Percent Occupied idle	Percent Available
Grammi Paragwgis A	63.62	63.62	0.00	36.38
Syskevastiki 2	86.84	86.84	0.00	13.16
Syskevastiki 1	97.65	56.32	41.33	2.35
UV lampes	2.01	2.01	0.00	97.99
Grammi Paragwgis B	38.35	38.35	0.00	61.65
Syskevastiki 3	56.99	56.85	0.15	43.01
Grammi Proetoimasias Laxanou	21.29	21.29	0.00	78.71
Grammi Proetoimasias Karotou	12.13	12.13	0.00	87.87
Grammi Paragwgis E	43.91	43.91	0.00	56.09
Syskevastiki 5	98.27	51.98	46.29	1.73
Trapezi Kopsis Piperias	2.35	2.35	0.00	97.65
Trapezi Kopsis Selino	3.50	3.50	0.00	96.50
Grammi Paragwgis G	62.62	62.62	0.00	37.38
Syskevastiki 4	95.38	95.38	0.00	4.62
Pluntirio Tomatinia	0.97	0.97	0.00	99.03
Tray Sealer	11.43	11.43	0.00	88.57

Σχήμα 25: Αναφορά χρήσης μηχανολογικών πόρων

Η δυνατότητα της γραμμής παραγωγής Β να επεξεργαστεί επιπλέον μίγματα λαχανικών δίνει επίσης μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό του προγράμματος παραγωγής. Ο χρόνος που μπορεί να εξοικονομηθεί στη συνολική παραγωγή με τη προσθήκη του οπτικού σαρωτή είναι περίπου 45 λεπτά όπως φαίνεται στο Σχήμα 26, αναλόγως των αλλαγών που θα γίνουν στο πρόγραμμα της παραγωγής.



Σχήμα 26: Πρόγραμμα παραγωγής παραγγελιών με προσθήκη οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής Β

Ο αριθμός των ατόμων που απαιτούνται για τη εκτέλεση της παραγωγής επίσης επηρεάζεται από την προσθήκη του επιπλέον μηχανολογικού εξοπλισμού. Ο μέγιστος αριθμός ατόμων που χρειάζονται μειώνεται στα 37 και αυξάνεται η ανάγκη σε άτομα στο σύνολο καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 27. Με τη προσθήκη του οπτικού σαρωτή και τον ανάλογο προγραμματισμό παρατηρείται μια ομαλοποίηση στις απαιτήσεις της παραγωγής για εργατικό δυναμικό.



Σχήμα 27: Απαιτήσεις προσωπικού με προσθήκη οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής B

6.3 Εγκατάσταση οπτικού σαρωτή στη γραμμή παραγωγής B και προσθήκη συσκευαστικής

Καθώς η γραμμή παραγωγής B είναι συνδεδεμένη μόνο με μια γραμμή συσκευασίας, δεν μπορεί να πιάσει τις δυναμικότητες των άλλων γραμμών. Η προσθήκη επιπλέον συσκευαστικής στη γραμμή παραγωγής B αποσκοπεί στη πλήρη χρήση της δυναμικότητας της γραμμής, με συνέπεια την άμεση ενδυνάμωση της παραγωγής. Αποτέλεσμα της προσθήκης μιας επιπλέον γραμμής συσκευασίας θα είναι η πιο γρήγορη διεκπεραίωση των παραγγελιών και σε συνδυασμό με τη δυνατότητα να εξυπηρετηθούν περισσότερα τελικά προϊόντα, ο συνολικός χρόνος παραγωγής μπορεί να μειωθεί αρκετά. Η χρήση λογισμικού προσομοίωσης της παραγωγικής διαδικασίας επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη διερεύνηση τέτοιων υποθετικών σεναρίων και διευκολύνει την λήψη αποφάσεων για θέματα αγοράς εξοπλισμού.

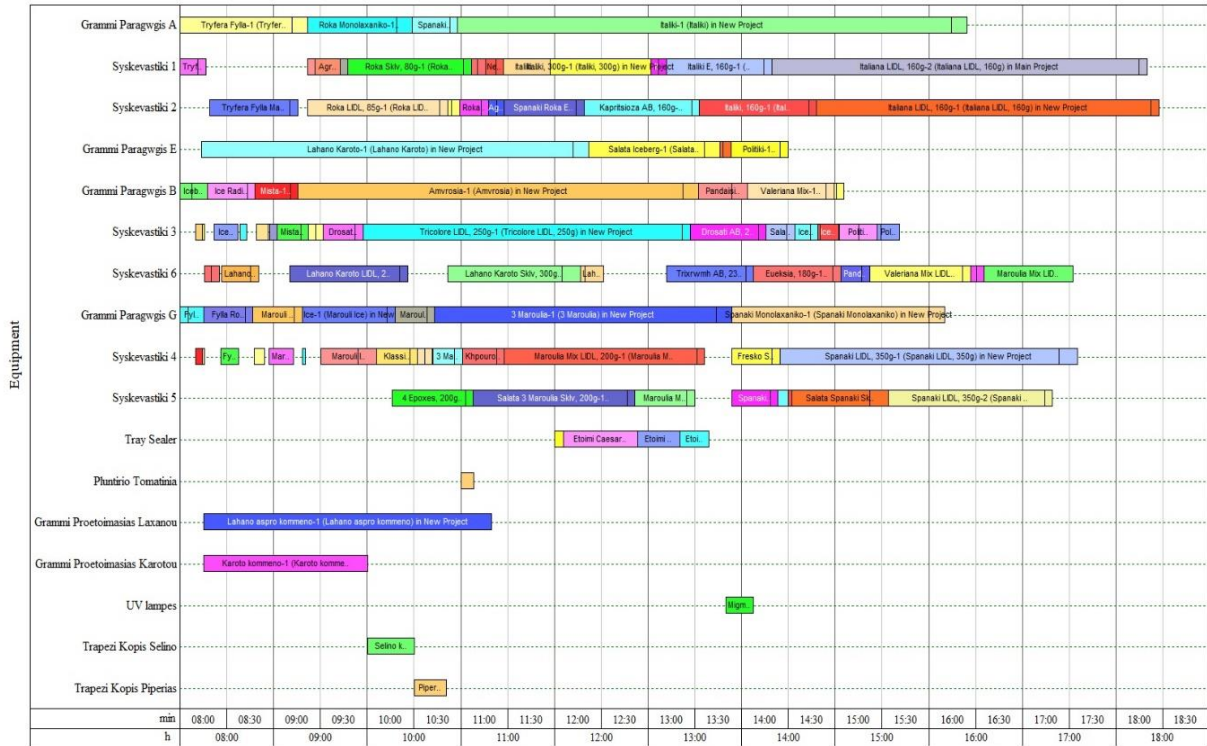
Με την εισαγωγή της επιπλέον συσκευαστικής ("Συσκευαστική 6"), η χρήση των γραμμών παραγωγής ισοσταθμίζεται καθώς δεν υπάρχει πλέον το εμφανές bottleneck της γραμμής παραγωγής G, που είχε παρατηρηθεί χωρίς την προσθήκη επιπλέον μηχανολογικού εξοπλισμού. Τα ποσοστά απασχόλησης των γραμμών παραγωγής είναι πλέον ανάμεσα στο 60% με 80% όπως φαίνεται στο Σχήμα 28 σε αντίθεση με το Σχήμα 25 όπου οι αντίστοιχες τιμές κυμαίνονται από 38% έως 63%. Συνολικά, φαίνεται να χρησιμοποιούνται όλοι οι πόροι σε μεγαλύτερο βαθμό καθώς έχει αυξηθεί το ποσοστό χρήσης τους και έχει μειωθεί το ποσοστό που μένουν ανεκμετάλλευτοι. Στο Σχήμα 29 φαίνεται το πρόγραμμα παραγωγής με τη προσθήκη της νέας συσκευαστικής γραμμής όπου παρατηρείται εξοικονόμηση χρόνου συγκριτικά με τη προηγούμενη

περίπτωση. Η εξοικονόμηση χρόνου παραγωγής φτάνει περίπου τα 60 λεπτά και είναι ανάλογος και του προγράμματος παραγωγής της ημέρας. Με τη προσθήκη του επιπλέον μηχανολογικού εξοπλισμού μπορεί να μειώνεται σημαντικά ο συνολικός χρόνος παραγωγής, δημιουργείται όμως ανάγκη για επιπλέον προσωπικό. Αυτό φαίνεται στο *Σχήμα 30* όπου η ανάγκη σε εργαζομένους σε όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι αυξημένη αλλά και ο απαιτούμενος μέγιστος αριθμός των εργαζομένων μέσα στην ημέρα έχει αυξηθεί. Ο μέγιστος αριθμός εργαζομένων έχει φτάσει τα 42 άτομα και η συνολική ανάγκη σε εργαζόμενους όλη την ημέρα εμφανίζεται μεγαλύτερη από τη περίπτωση κατά την οποία μόνο ο οπτικός σαρωτής έχει προστεθεί.

Total Utilization Table

Equipment/Staff	Percent Occupied	Percent Busy	Percent Occupied idle	Percent Available
Grammi Paragwgis A	80.39	80.39	0.00	19.61
Syskevastiki 1	88.33	88.33	0.00	11.67
Syskevastiki 2	96.04	96.04	0.00	3.96
Grammi Paragwgis B	67.83	67.83	0.00	32.17
Syskevastiki 3	69.64	69.63	0.01	30.36
Syskevastiki 6	83.57	74.84	8.73	16.43
UV lampes	2.78	2.78	0.00	97.22
Grammi Proetoimasias Karotou	16.76	16.76	0.00	83.24
Grammi Proetoimasias Laxanou	29.42	29.42	0.00	70.58
Grammi Paragwgis E	59.88	59.88	0.00	40.12
Trapezi Kopis Selino	4.83	4.83	0.00	95.17
Trapezi Kopis Piperias	3.24	3.24	0.00	96.76
Grammi Paragwgis G	78.11	78.11	0.00	21.89
Syskevastiki 4	81.03	81.02	0.01	18.97
Syskevastiki 5	63.64	63.64	0.00	36.36
Pluntirio Tomatinia	1.33	1.33	0.00	98.67
Tray Sealer	15.79	15.79	0.00	84.21

Σχήμα 28: Αναφορά χρήσης μηχανολογικών πόρων μετά τη προσθήκη οπτικού σαρωτή και γραμμής συσκευασίας



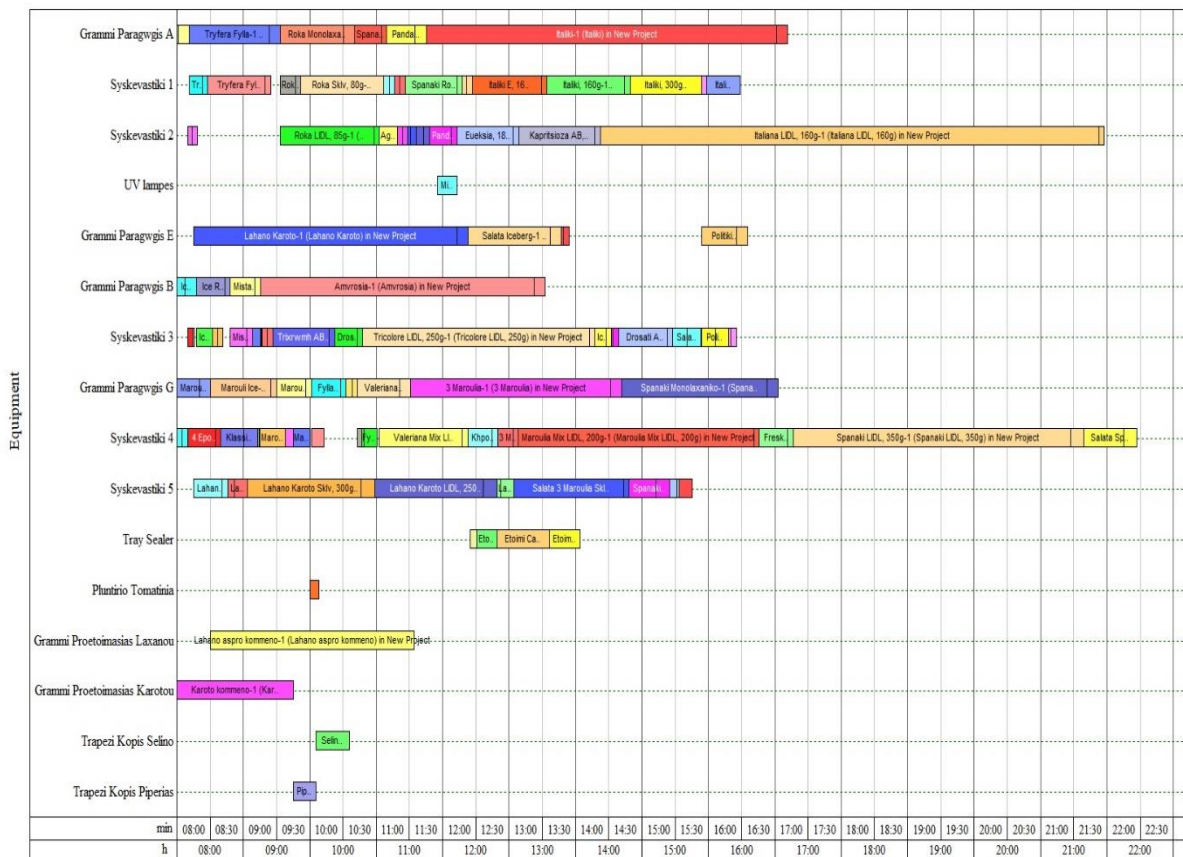
Σχήμα 29: Πρόγραμμα παραγωγής παραγγελιών με προσθήκη οπτικού σαρωτή και γραμμής συσκευασίας στη γραμμή παραγωγής B



Σχήμα 30: Απαιτήσεις προσωπικού με προσθήκη οπτικού σαρωτή και γραμμής συσκευασίας στη γραμμή παραγωγής B

6.4 Αλλαγή σειράς εκτέλεσης παραγωγής

Τα μίγματα των λαχανικών που επεξεργάζεται η μονάδα συσκευάζονται ως διαφορετικοί κωδικοί με άλλες συσκευασίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις τον πελάτη. Οι συσκευασίες αυτές εκτός από οπτικές και τεχνολογικές διαφορές, μπορεί να διαφοροποιούνται και ως προς το μέγεθος. Οι συσκευαστικές μηχανές έχουν διαφορετικά εξαρτήματα για να μπορέσουν να συσκευάσουν σε διαφορετικά μεγέθη. Συνεπώς η ρύθμιση του μηχανολογικού εξοπλισμού από ένα μέγεθος συσκευασίας σε άλλο χρειάζεται κάποιο χρόνο εναλλαγής και δέσμευση εργαζομένων για να γίνει. Συνήθως, η αλλαγή αυτή απαιτεί περίπου 10 λεπτά και έναν χειριστή γραμμής συσκευασίας για να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες. Ο έως τώρα προγραμματισμός της παραγωγής προέβλεπε τέτοιες αλλαγές νωρίς μέσα στην ημέρα, όπου ο αριθμός των εργαζομένων δεν είναι ο μεγαλύτερος. Η μετατόπιση της σειράς των κωδικών που χρειάζονται τέτοια αλλαγή αργότερα μέσα στην ημέρα, έτσι ώστε ο εξοπλισμός αυτός να αλλάζεται αργότερα από το προκαθορισμένο που υπήρχε ως τώρα, βοηθάει στη μείωση του συνολικού χρόνου παραγωγής καθώς αποδεσμεύει άτομα που θα χρειάζονταν για αυτή την αλλαγή. Η αλλαγή θα γίνει αργότερα όταν υπάρχουν περισσότερα άτομα διαθέσιμα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 31 ο χρόνος που εξοικονομείται από την αναδιάρθρωση αυτή των κωδικών είναι περίπου 30 λεπτά.



Σχήμα 31: Πρόγραμμα παραγωγής παραγγελιών με αλλαγές στη προκαθορισμένη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών

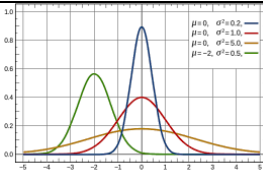
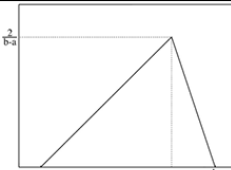
Η εύρεση της βέλτιστης αλληλουχίας της εκτέλεσης των προϊόντων ώστε να ελαχιστοποιούνται τέτοιοι νεκροί χρόνοι όπως τα πλυσίματα ή τα μονταρίσματα των μηχανών είναι ένα δύσκολο μαθηματικό πρόβλημα. Η ύπαρξη όμως ενός μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας επιτρέπει μέσω προσομοίωσης την διερεύνηση κάποιων εναλλακτικών σεναρίων ώστε τουλάχιστον να επιτυγχάνεται κάποια βελτίωση στους δείκτες παραγωγικότητας και να προσεγγίζεται κατά το δυνατόν το βέλτιστο.

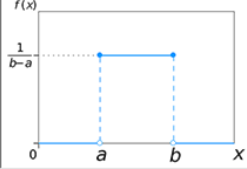
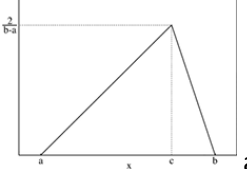
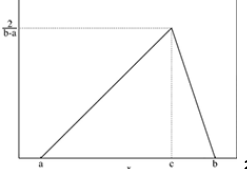
6.5 Μελέτη μεταβλητότητας χρόνου ολοκλήρωσης παραγωγής

Στις παραπάνω αναλύσεις θεωρήθηκαν ντετερμινιστικοί χρόνοι περαίωσης του κάθε σταδίου παραγωγής. Στην πραγματικότητα όμως οι χρόνοι αυτοί εμφανίζουν σημαντική μεταβλητότητα η οποία οφείλεται σε καθυστερήσεις λόγω βλαβών, στην διαφορετική παραγωγικότητα ανθρώπων και μηχανών, στις διαφοροποιήσεις στην διαθεσιμότητα προσωπικού κλπ. Αποτέλεσμα αυτής της μεταβλητότητας, είναι η στοχαστικότητα (τυχειότητα) στον χρόνο ολοκλήρωσης της παραγωγής και η συνεπαγόμενη αβεβαιότητα στην επίτευξη ή μη των προγραμματισμένων στόχων.

Εφόσον η μεταβλητότητα στους χρόνους περαίωσης του κάθε σταδίου μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με την βοήθεια ιστορικών δεδομένων, τότε και η στοχαστικότητα στον χρόνο ολοκλήρωσης της παραγωγής μπορεί επίσης να ποσοτικοποιηθεί μέσω του εκτίμησης της κατανομής πιθανοτήτων στις τιμές της μεταβλητής αυτής. Αυτό γίνεται με την βοήθεια κατάλληλων μαθηματικών εργαλείων όπως η *Monte Carlo simulation*.

Το *SchedulePro* παρέχει μία τέτοια δυνατότητα στοχαστικής επίλυσης του προγράμματος παραγωγής βάσει αβεβαιότητας στους χρόνους παραγωγής των επιμέρους σταδίων η οποία μπορεί να εκφραστεί μέσα από κατανομές πιθανοτήτων διάφορων μορφών όπως κανονική (*gaussian*) κατανομή, τριγωνική κλπ. Για την πραγμάτωση του σεναρίου μεταβλητότητας έγιναν παραδοχές στην αβεβαιότητα των χρόνων ολοκλήρωσης κάποιων σταδίων τα οποία έχουν σημαντική εξάρτηση από χειρωνακτική εργασία κι επομένως σημαντική μεταβλητότητα. Τα στάδια αυτά, το μοντέλο κατανομής πιθανοτήτων και οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων που θεωρήθηκαν παρουσιάζονται στον *Πίνακα 4*.

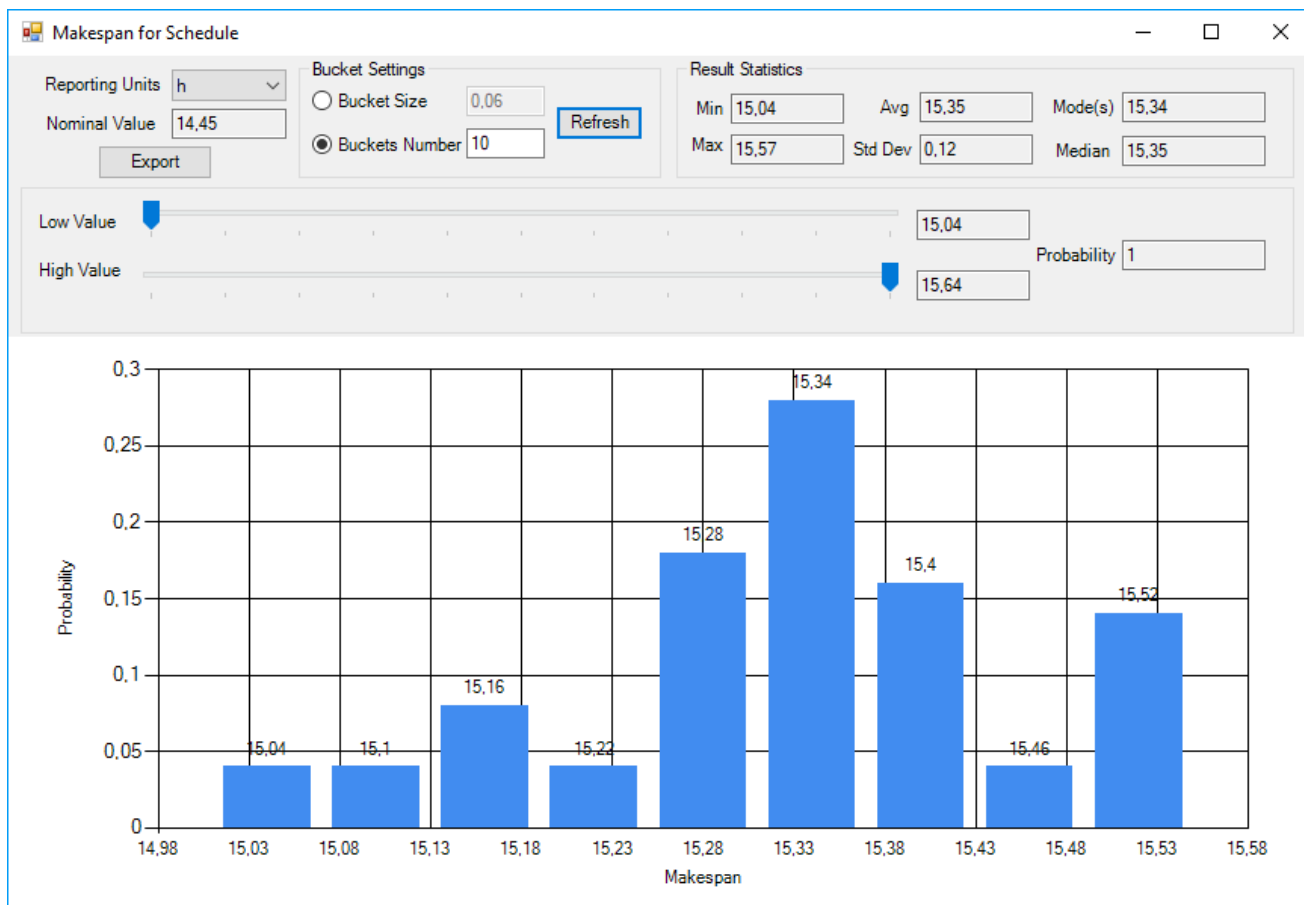
Μεταβλητή (Χρόνοι)	Ονομαστική Τιμή (min)	Κατανομή (Τύπος και Παράμετροι)
Προετοιμασία Καρότου	105	 <p>Normal</p> <p>mean: 105, sdev: 10</p>
Προετοιμασία Λάχανου	185	 <p>Triangular</p> <p>a: 150, b: 250, c: 185</p>

Προετοιμασία Πιπεριάς	20	Uniform	 $f(x)$ $\frac{1}{b-a}$ 0 a b x	a: 15, b: 30
Changeover Συσκευαστικής	5-12	Triangular	 $\frac{2}{b-a}$ a x c b	a: 5, b: 20, c: 10
Changeover Επεξεργασίας	5-10	Triangular	 $\frac{2}{b-a}$ a x c b	a: 2, b: 15, c: 5

Πίνακας 4: Κατανομή πιθανοτήτων στοχαστικών μεταβλητών χρόνου

Ο αλγόριθμος *Monte Carlo* επιλέγει τυχαίες τιμές για κάθε στοχαστική μεταβλητή μέσα στα όρια τα οποία έχουν οριστεί και με βάση την κατανομή πιθανοτήτων, το πρόγραμμα παραγωγής εκτελείται με τις τιμές αυτές και ο νέος χρόνος ολοκλήρωσης του ημερήσιου προγράμματος επαναυπολογίζεται. Με την επανάληψη της διαδικασίας αυτής είναι δυνατόν να εκτιμηθούν το κατώτατο και ανώτατο όριο μέσα στα οποία θα κινηθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης και η πιθανότητα ο χρόνος αυτός να είναι μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Στο Σχήμα 32 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης *Monte Carlo* για τον χρόνο ολοκλήρωσης του ημερήσιου προγράμματος παραγωγής. Στο διάγραμμα φαίνονται οι πιθανότητες επίτευξης συγκεκριμένου χρόνου.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι αθροιστικές πιθανότητες επίτευξης χρόνων παραγωγής μικρότερων από μία συγκεκριμένη τιμή. Μέσα από αυτή την ανάλυση, μπορεί επομένως να υπολογιστεί η πιθανότητα επίτευξης συγκεκριμένων στόχων παραγωγής λαμβάνοντας υπόψιν την αβεβαιότητα που προκύπτει από τον στοχαστικό χαρακτήρα κάποιων μεταβλητών.



Σχήμα 32: Κατανομή πιθανοτήτων χρόνου ολοκλήρωσης ημερήσιας παραγωγής από ανάλυση Monte Carlo

Χρόνος Ολοκλήρωσης (h)	Πιθανότητα (%)
< 15,64	100
< 15,5	86
< 15,4	66
< 15,2	16
< 15,04	0

Πίνακας 5: Αθροιστικές πιθανότητες επίτευξης συγκεκριμένων στόχων ως προς τον χρόνο ολοκλήρωσης ημερήσιας παραγωγής

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν σενάρια ημερήσιου προγραμματισμού παραγωγής σε βιομηχανία παραγωγής συσκευασμένων φρέσκων λαχανικών με την βοήθεια λεπτομερούς μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας. Το μοντέλο αναπτύχθηκε στο λογισμικό *SchedulePro* και χρησιμοποιήθηκε τόσο ως μέσο για να την εξαγωγή σε πραγματικό χρόνο του

ημερήσιου προγράμματος παραγωγής όσο και ως σχεδιαστικό εργαλείο για την μελέτη υποθετικών σεναρίων που αφορούν στην αγορά πρόσθετου εξοπλισμού. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο στόχος ήταν η διερεύνηση των συνθηκών που επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της μείωσης του συνολικού χρόνου παραγωγής σε ημερήσια βάση.

Η χρήση του μοντέλου αποδείχθηκε ότι αποτυπώνει ρεαλιστικά την παραγωγική διαδικασία καθώς το μοντέλο ενσωματώνει όλους τους παραγωγικούς περιορισμούς και βελτιώνει σημαντικά τον χρόνο εξαγωγής του ημερήσιου προγράμματος παραγωγής αυτοματοποιώντας σε μεγάλο βαθμό αυτή την διαδικασία επιτρέποντας όμως παράλληλα και την συνεργασία μεταξύ του αλγορίθμου προγραμματισμού και του χρήστη για την εξαγωγή του. Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι το μοντέλο επιτρέπει την γρήγορη απόκριση στην επικαιροποίησή του προγράμματος ημερήσιας παραγωγής στις δυναμικές και συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες παραγωγής. Με την βοήθεια του προγράμματος παραγωγής που εξάγεται από το μοντέλο είναι εφικτή η προγραμματισμένη και αποτελεσματική διάθεση των πόρων της μονάδας (εξοπλισμού και ανθρώπινου δυναμικού) στις παραγωγικές δραστηριότητες.

Ως σχεδιαστικό εργαλείο και μέσω αναλύσεων ευαισθησίας, το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί εκ των προτέρων ο βαθμός βεβαιότητας με τον οποίο μπορούν να επιτευχθούν συγκεκριμένοι παραγωγικοί στόχοι ως προς τον χρόνο ολοκλήρωσης της παραγωγής. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστωθεί ότι είναι δυνατή η αύξηση της ημερήσιας δυναμικότητας της μονάδας με την αγορά πρόσθετου εξοπλισμού.

Σε όλες τις περιπτώσεις, καταδείχτηκε ότι ένα ρεαλιστικό υπολογιστικό μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας είναι ένα πολύτιμο εργαλείο στην οργάνωση της παραγωγής καθώς επιτρέπει την συστηματικοποίηση και επιτάχυνση της διαδικασίας εξαγωγής και επικαιροποίησης του ημερήσιου προγράμματος παραγωγής και αποτελεί την βάση για την μελέτη υποθετικών σεναρίων με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας.

Παράρτημα Α

Μίγμα	Πρότυπη Δυναμικότητα (kg/h)	Επίτευξη πρότυπης δυναμικότητας	Δυναμικότητα (kg/h)	Άτομα	Παραγωγικότητα (kg/h)	Γραμμή
Ρόκα	214.2	60%	128.52	4.4	565.488	A
Σκερτσόζα	272.7	60%	163.62	3.4	556.308	A
Ιταλική	114	70%	79.8	8.5	678.3	A
Iceberg κομμένο	209.4	70%	146.58	4.4	644.952	B
Ice Radicchio	198.5	70%	138.95	4.4	611.38	B
Mista	186	70%	130.2	4.4	572.88	B
Αμβροσία	188	70%	131.6	4.5	592.2	B
Λάχανο Καρότο	444	80%	355.2	1.4	497.28	E
Σαλάτα Ice	197.7	55%	108.735	4.4	478.434	E
Πολίτικη	467	70%	326.9	1.4	457.66	E
Μαρούλι Ice	193.7	70%	135.59	4.5	610.155	G
Μαρούλι 2cm	157.2	70%	110.04	4.4	484.176	G
Μαρούλι Φύλλο	23.4	90%	21.06	4.4	92.664	G
Φύλλα L.Verde	87.6	60%	52.56	4.4	231.264	G
Summer Mix	202.3	60%	121.38	4.5	546.21	G
Τρυφερά Φύλλα Μαρουλιού	75.9	70%	53.13	4.4	233.772	G
Βαλεριάνα	270.6	80%	216.48	2.4	519.552	G
Βαλεριάνα Mix	190.5	70%	133.35	5.5	733.425	G
Πανδαισία	166.9	50%	83.45	5.5	458.975	G
Σπανάκι	471.6	45%	212.22	4.4	933.768	G
3 Μαρούλια	141.1	70%	98.77	6.5	642.005	G

Πίνακας 6: Δυναμικότητες ανα μίγμα για κάθε γραμμή παραγωγής

Procedure	Παραγωγικότητα (kg/h)	Άτομα
Τοματίνια	218	1.5
Καρότο	233	1.5
Λάχανο	400	2.5
Πιπεριά	76	1
Σέλινο	177	1
Procedure	Παραγωγικότητα (τμχ/h)	Άτομα

Superfood UV	1920	2
Chef	244	6,4
Caesars	244	6,4
Ιταλική	176	6,4
Τοματίνια	360	2,4

Πίνακας 7: Δυναμικότητες ανα συνταγή

Κωδικός	Βάρος τιμχ (kg)	Συσκευαστική 1				
		Δυναμικότητα (kg/h)	BPM	BPM 70%	Στελέχωση	Στελέχωση (70%)
Σπανάκι	0.5	450	15	11	1.9	1.3
Ρόκα	0.08	192	40	28	1.9	1.3
Βαλεριάνα 6X100γρ	0.1	240	40	28	1.9	1.3
Ιταλική	0.16	384	40	28	2.4	1.7
Σαλάτα Iceberg	0.25	675	45	32	2.4	1.7
3 Μαρούλια	0.2	480	40	28	2.4	1.7
Πολίτικη	0.2		0	0		0.0
Δροσάτη 250 ΑΒΓ	0.25	660	44	31	2.4	1.7
Λάχανο-Καρότο, 300γρ	0.3		0	0		0.0
Ρόκα-Σπανάκι Νεαρά Φύλλα	0.125	300	40	28	2.4	1.7
Τρυφερά Φύλλα Μαρουλιού, 150γρ	0.15	342	38	27	1.9	1.3
4 Εποχές, 200γρ	0.2	480	40	28	1.9	1.3
Ευεξία, 180 g	0.18	194	18	13	3.4	2.4
"ΓΕΡ" Σπανάκι 5X350g	0.35	420	20	14	2.7	1.9
"ΓΕΡ" Σαλάτα Italiana 6X160g	0.16	384	40	28	3.2	2.2
"ΓΕΡ" Λάχανο- Καρότο 6X250g	0.25		0	0		0.0
"ΓΕΡ" Μαρούλια Mix 5X200g	0.2	480	40	28	3.2	2.2
"ΓΕΡ" Σαλάτα Τρικολόρε 5X250g	0.25	660	44	31	3.2	2.2
"ΓΕΡ" Ρόκα 5X85g	0.085	204	40	28	2.9	2.0

"ΓΕΡ" Βαλεριάνα Μίχ 5X200g	0.2	480	40	28	2.9	2.0
Κηπουρού	0.2	480	40	28	2.4	1.7
Φρέσκο Σπανάκι	0.35	420	20	14	1.9	1.3
Λάχανο Καρότο, 250γρ	0.25		0	0		0.0
Ρόκα 100g ΩΖ	0.1	222	37	26	1.9	1.3
Βαλεριάνα ΩΖ, 100 g	0.1	240	40	28	2.1	1.5
Καπριτσιόζα	0.16	384	40	28	2.4	1.7
Τρίχρωμη ΩΖ, 230 g	0.23	607	44	31	2.4	1.7
Πανδαισία ΩΖ, 200 g	0.2	420	35	25	1.9	1.3
Δροσάτη ΩΖ	0.25	675	45	32	2.4	1.7
Μαρούλι κομμ. 2 cm	0.8	720	15	11	1.9	1.3
Φύλλα Lollo Verde	0.4	288	12	8	1.9	1.3
Άγρια Ρόκα 10x100g	0.1	222	37	26	2.1	1.5
Σπανάκι κομμένο	0.5	450	15	11	1.9	1.3
Iceberg κομμένο 10x500g	0.5	1050	35	25	1.9	1.3
Καρότο Julienne	0.4	960	40	28	1.9	1.3
Ice Radicchio	0.5	1050	35	25	1.9	1.3
Μαρούλι Ice	1	1080	18	13	1.9	1.3
Mista 10x500g	0.5	900	30	21	1.9	1.3
Ιταλική 6x300g	0.3	396	22	15	2.1	1.5
Λάχανο-Καρότο 10x500g	0.5		0	0	1.9	1.3
Πολίτικη 10x500g	0.5		0	0	1.9	1.3
Μαρούλι Ρόκα 500γρ	0.5	450	15	11	1.9	1.3
Αμβροσία 500γρ	0.5	900	30	21	1.9	1.3
Φύλλα Romaine VIV	0.4	288	12	8	1.9	1.3
Καρότο Julienne VIV	0.4	960	40	28	1.9	1.3
Ice Radicchio VIV	0.5	1050	35	25	1.9	1.3
Μαρούλι Ice VIV	1	1080	18	13	1.9	1.3
Φύλλα Lollo Verde VIV	0.4	288	12	8	1.9	1.3
Σπανάκι Κομμένο 6x500 VIV	0.5	450	15	11	1.9	1.3
Μαρούλι Κομμ. 2cm VIV	0.8	720	15	11	1.9	1.3
Mista 10x500 VIV	0.5	900	30	21	1.9	1.3
Άγρια Ρόκα 10x100 VIV	0.1	222	37	26	1.9	1.3
Ιταλική 300g VIV	0.3	396	22	15	2.1	1.5

Σπανάκι & Ρόκα Baby 250g VIV	0.25	300	20	14	2.4	1.7
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ	0.1	222	37	26	1.9	1.3
Iceberg Mix 250γρ Εξωτ	0.25	600	40	28	1.9	1.3
Μίστα 250γρ Εξωτ	0.25	630	42	29	1.9	1.3
Ιταλική 160γρ Εξωτ	0.16	384	40	28	1.9	1.3
Σπανάκι Ρόκα 125γρ Εξωτ	0.125	300	40	28	2.4	1.7
Τρυφερά Φυλ. Μαρουλιού 150γρ Εξωτ	0.15	342	38	27	1.9	1.3
Iceberg κομμένο 500γρ Εξωτ. METRO	0.5	1050	35	25	1.9	1.3
Ιταλική 300γρ Εξωτ. METRO	0.3	396	22	15	1.9	1.3
Άγρια Ρόκα 100γρ Εξωτ. METRO	0.1	222	37	26	1.9	1.3
Iceberg Mix 250γρ Εξωτ. METRO	0.25	600	40	28	1.9	1.3

Συσκευαστική 2					Συσκευαστική 3				
Δυναμικό τητα (kg/h)	BPM	BPM 70%	Στελέχωση	Στελέχωση (70%)	Δυναμικό τητα (kg/h)	BPM	BPM 70%	Στελέχωση	Στελέχωση (70%)
450	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
192	40	28	1.9	1.3	192	40	28	1.9	1.3
240	40	28	1.9	1.3		0	0		0.0
384	40	28	2.4	1.7	384	40	28	2.4	1.7
675	45	32	2.4	1.7	675	45	32	2.4	1.7
480	40	28	2.4	1.7	480	40	28	2.4	1.7
	0	0		0.0	600	50	35	2.2	1.5
660	44	31	2.4	1.7	660	44	31	2.4	1.7
	0	0		0.0	810	45	32	2.7	1.9
300	40	28	2.4	1.7		0	0		0.0
342	38	27	1.9	1.3		0	0		0.0
480	40	28	1.9	1.3		0	0		0.0

194	18	13	3.4	2.4		0	0		0.0
420	20	14	2.7	1.9		0	0		0.0
384	40	28	3.2	2.2	384	40	28	3.2	2.2
	0	0		0.0	675	45	32	2.7	1.9
480	40	28	3.2	2.2	480	40	28	3.2	2.2
660	44	31	3.2	2.2	660	44	31	3.2	2.2
204	40	28	2.9	2.0	204	40	28	2.9	2.0
480	40	28	2.9	2.0		0	0		0.0
480	40	28	2.4	1.7	480	40	28	2.4	1.7
420	20	14	1.9	1.3		0	0		0.0
	0	0		0.0	675	45	32	2.7	1.9
222	37	26	1.9	1.3	222	37	26	1.9	1.3
240	40	28	2.1	1.5		0	0		0.0
384	40	28	2.4	1.7	384	40	28	2.4	1.7
607	44	31	2.4	1.7	607	44	31	2.4	1.7
420	35	25	1.9	1.3		0	0		0.0
675	45	32	2.4	1.7	675	45	32	2.4	1.7
720	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
288	12	8	1.9	1.3		0	0		0.0
222	37	26	2.1	1.5	222	37	26	2.1	1.5
450	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
1050	35	25	1.9	1.3	1050	35	25	1.9	1.3
960	40	28	1.9	1.3	960	40	28	1.9	1.3
1050	35	25	1.9	1.3	1050	35	25	1.9	1.3
1080	18	13	1.9	1.3		0	0		0.0
900	30	21	1.9	1.3	900	30	21	1.9	1.3
396	22	15	2.1	1.5	396	22	15	2.1	1.5
	0	0	1.9	1.3	1200	40	28	2.7	1.9
	0	0	1.9	1.3	1050	35	25	2.2	1.5
450	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
900	30	21	1.9	1.3	900	30	21	1.9	1.3
288	12	8	1.9	1.3		0	0		0.0
960	40	28	1.9	1.3	960	40	28	1.9	1.3
1050	35	25	1.9	1.3	1050	35	25	1.9	1.3
1080	18	13	1.9	1.3		0	0		0.0
288	12	8	1.9	1.3		0	0		0.0
450	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
720	15	11	1.9	1.3		0	0		0.0
900	30	21	1.9	1.3	900	30	21	1.9	1.3
222	37	26	1.9	1.3	222	37	26	1.9	1.3
396	22	15	2.1	1.5	396	22	15	2.1	1.5

300	20	14	2.4	1.7		0	0		0.0
222	37	26	1.9	1.3	222	37	26	1.9	1.3
600	40	28	1.9	1.3	600	40	28	1.9	1.3
630	42	29	1.9	1.3	630	42	29	1.9	1.3
384	40	28	1.9	1.3	384	40	28	2.4	1.7
300	40	28	2.4	1.7		0	0		0.0
342	38	27	1.9	1.3		0	0		0.0
1050	35	25	1.9	1.3	1050	35	25	1.9	1.3
396	22	15	2.9	2.0	396	22	15	1.9	1.3
222	37	26	1.9	1.3	222	37	26	1.9	1.3
600	40	28	1.9	1.3	600	40	28	1.9	1.3

Συσκευαστική 4					Συσκευαστική 5				
Δυναμικό τητα (kg/h)	BPM	BPM 70%	Στελέ χωση	Στελέ χωση (70%)	Δυναμικό τητα (kg/h)	BPM	BPM 50%	Στελέ χωση	Στελέ χωση (50%)
450	15	11	1.9	1.3	450	15	8	1.9	1.3
168	35	25	1.9	1.3	144	30	15	1.9	1.3
240	40	28	1.9	1.3	180	30	15	1.9	1.3
384	40	28	2.4	1.7	288	30	15	2.4	1.7
675	45	32	2.4	1.7	600	40	20	2.4	1.7
480	40	28	2.4	1.7	360	30	15	2.4	1.7
	0	0		0.0		0	0		0.0
660	44	31	2.4	1.7	525	35	18	2.4	1.7
	0	0		0.0	810	45	23	2.7	1.9
300	40	28	2.4	1.7	203	27	14	1.9	1.3
342	38	27	1.9	1.3	243	27	14	1.9	1.3
480	40	28	1.9	1.3	360	30	15	1.9	1.3
194	18	13	3.4	2.4	194	18	9	3.4	2.4
420	20	14	2.2	1.5	420	20	10	2.2	1.5
384	40	28	3.2	2.2	288	30	15	2.7	1.9
	0	0		0.0	675	45	23	3.5	2.5
480	40	28	3.2	2.2	360	30	15	2.7	1.9
660	44	31	3.2	2.2	525	35	18	2.7	1.9
179	35	25	2.9	2.0	153	30	15	2.7	1.9
480	40	28	2.9	2.0	420	35	18	2.7	1.9

480	40	28	2.4	1.7	360	30	15	1.9	1.3
420	20	14	1.9	1.3	420	20	10	1.9	1.3
	0	0		0.0	675	45	23	2.7	1.9
210	35	25	1.9	1.3	180	30	15	1.9	1.3
240	40	28	2.1	1.5	180	30	15	1.9	1.3
384	40	28	2.4	1.7	288	30	15	1.9	1.3
607	44	31	2.4	1.7	483	35	18	1.9	1.3
420	35	25	1.9	1.3	336	28	14	1.9	1.3
675	45	32	2.4	1.7	600	40	20	1.9	1.3
720	15	11	1.9	1.3	720	15	8	1.9	1.3
288	12	8	1.9	1.3	288	12	6	1.9	1.3
210	35	25	2.1	1.5	180	30	15	1.9	1.3
450	15	11	1.9	1.3	450	15	8	1.9	1.3
1050	35	25	1.9	1.3	900	30	15	1.9	1.3
960	40	28	1.9	1.3	960	40	20	1.9	1.3
1050	35	25	1.9	1.3	900	30	15	1.9	1.3
1080	18	13	1.9	1.3	1080	18	9	1.9	1.3
900	30	21	1.9	1.3	750	25	13	1.9	1.3
396	22	15	2.1	1.5	324	18	9	1.9	1.3
	0	0	1.9	1.3	1200	40	20	2.7	1.9
	0	0	1.9	1.3		0	0	1.9	1.3
450	15	11	1.9	1.3	450	15	8	1.9	1.3
900	30	21	1.9	1.3	750	25	13	1.9	1.3
288	12	8	1.9	1.3	288	12	6	1.9	1.3
960	40	28	1.9	1.3	960	40	20	1.9	1.3
1050	35	25	1.9	1.3	900	30	15	1.9	1.3
1080	18	13	1.9	1.3	1080	18	9	1.9	1.3
288	12	8	1.9	1.3	288	12	6	1.9	1.3
450	15	11	1.9	1.3	450	15	8	1.9	1.3
720	15	11	1.9	1.3	720	15	8	1.9	1.3
900	30	21	1.9	1.3	750	25	13	1.9	1.3
210	35	25	1.9	1.3	180	30	15	1.9	1.3
396	22	15	2.1	1.5	324	18	9	1.9	1.3
300	20	14	2.4	1.7	203	14	7	1.9	1.3
210	35	25	2.9	2.0	180	30	15	1.9	1.3
600	40	28	2.9	2.0	525	35	18	1.9	1.3
630	42	29	2.9	2.0	525	35	18	1.9	1.3
384	40	28	3.4	2.4	288	30	15	1.9	1.3
300	40	28	2.4	1.7	203	27	14	1.9	1.3
342	38	27	2.9	2.0	243	27	14	1.9	1.3
1050	35	25	2.9	2.0	900	30	15	1.9	1.3

396	22	15	2.9	2.0	324	18	9	1.9	1.3
210	35	25	2.9	2.0	180	30	15	1.9	1.3
600	40	28	2.9	2.0	525	35	18	1.9	1.3

Πίνακας 8: Δυναμικότητες ανα μίγμα για κάθε συσκευαστική γραμμή

8. Βιβλιογραφία

- Amponsah, S.K., Oforu, J.B., and Opoku-Sarkodie R., (2011). Optimum production scheduling for a beverage firm based in Accra. Department of Mathematics Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi Ghana. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 3(2), pp.74-80.
- Bartsch H., Bickenbach P., (2002). Supply Chain Management mit SAP APO, 2nd edn. Galileo, Bonn.
- Bertrand J.W.M., Wortmann J.C., Wijngaard J., (1990). Production Control: A Structural and Design Oriented Approach. Volume 11 of Manufacturing Research and Technology. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Breithaupt J.W., (2000). Controlling Production Dynamics-managing uncertainties with automatics production control. International Journal of Production Research.
- Davies R., Diepeveen N., Diks E., Vloemans V., (2002). How to get the most out of your supply chain? - "An overview of APS systems in the consumer products manufacturing and process industry". Report of Deloitte Consulting.
- Herrmann, J.W., (2006). A History of Production Scheduling. Chapter 1, Handbook of Production Scheduling, Springer, New York.
- Herrmann J.W., (2007). The Legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to Improve Production Scheduling, The Institute for systems researching technical report 2007-26.
- IFPA, International Fresh-cut Produce Association, (2005). The convenience, nutritional value and safety of fresh-cut produce. <http://www.gov.on.ca/GOPSP/en/graphics/053125.pdf>.
- Kempf K.G., Russell B., Sidhu S., Barrett S., (1991). AI-based schedulers in manufacturing practice: Report of a panel discussion. AI Magazine 11(5): 46–55.
- LaForge R.L., Craighead C.W., (2000). Computer-based scheduling in manufacturing firms: Some indicators of successful practice. Production and Inventory Management Journal 41(1): 29–34.
- Li Z. & Ierapetritou M., (2008). Process scheduling under uncertainty: Review and challenges. Computers & Chemical Engineering, 32(4-5), pp.715–727.
- Lin S.F., Chen J.Y., (2002). Two Parallel Machines Scheduling: Systems Analysis Modelling Simulation, Volume 42, Number 10, pp. 1429-1437(9).
- MacCarthy B. L., (2006). Organizational systems and human issues in production planning, scheduling and control. International Series in Operations Research and Management Science, Springer publications, New York, pp 59-90.
- Mayen C., Marshall M.I., (2005). Opportunities in the fresh-cut fruit sector for Indiana melon growers. Purdue New Ventures. <http://www.agecon.purdue.edu/newventures>
- McKay K.N., Wiers V.C.S., (2003). Planning, scheduling and dispatching tasks in production control. Cognition, Technology & Work 5(2): 82–93.
- Metaxiotis K.S., Askoundis D., Psarras J., (2002). Expert systems in production planning and scheduling: A state-of-the-art survey. Journal of Intelligent Manufacturing 13(4): 253–260.
- Morton T.E., Pentico D.W., (1993). Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management. Wiley Series in Engineering & Technology Management. John Wiley & Sons, New York.
- Pattee H. E., (1985). Evaluation of Quality of Fruits and Vegetables, AVI Publishing Company, Inc.: Westport, CT.

- Hu S.J., Ko J., Weyand L., ElMaraghy H.A., Lien T.K., Koren Y., Bley H., Chryssolouris G., Nasr N., Shpitalni M., (2011). Assembly system design and operations for product variety, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 60, Issue 2, Pages 715–733.
- Steven M., Krüger R., (2002). Advanced Planning Systems - Grundlagen, Funktionalitäten, Anwendungen. In: Busch A, Dangelmaier W (eds) Integriertes Supply Chain Management - Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Gabler, Wiesbaden, pp 169-186.
- Olson J.R., Biolsi K.J., (1991). Techniques for representing expert knowledge. In Ericsson KA, Smith J (eds). Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 240–285.
- Ovacik I.M., Uzsoy R., (1997). Decomposition Methods for Complex Factory Scheduling Problems. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Sonntag V., (2003). The role of manufacturing strategy in adapting to technological change
- Ragaert P., Verbeke W., Devlieghere F., and Debevere J., (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. Food Quality and Preference 15: 259–270.
- Richard J.T., Hummingbird E.A., (1995). Lead-time reduction: the search for competitive advantage. International Journal of Operations & Production Management; 2:8-18.
- Vinoda V., Sridharan R., (2011). Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system, Int. J. Production Economics 129, 127–14.
- Walle D.L., (1999). Operations Management - A Supply Chain Approach. Thomson, London et al.
- Watada, A.E., Ko N.P., and Minott D.A., (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. Postharvest Biology and Technology 9:115–125.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Φίλης Γ., (2006). Συστήματα Παραγωγής, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Δίπλας Α., Τσακίρης Χ., (2004). Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ.
- Καλοειδής Ε., (2012). Μελέτη χρονοπρογραμματισμού έργων υπό περιορισμένους πόρους και διακριτή σχέση χρόνου-κόστους, Διπλωματική Εργασία για τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ.
- Καρόπουλος Π., (2005) Μελέτη Εργαλείων Υλοποίησης Έμπειρων Συστημάτων Για Εφαρμογή Στον Χρονοπρογραμματισμό Παραγωγής, Διπλωματική Εργασία για τη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ.
- Κουλούρης Α., (2014). SchedulePro - Βασικές έννοιες στο πλαίσιο του μαθήματος Σχεδιασμός και Οργάνωση Συστημάτων Παραγωγής, ΑΤΕΙΘ.
- Πάππης Κ., (2004). Προγραμματισμός Παραγωγής, Αθήνα.