



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ  
ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΡΒΑΡΗΓΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΑΣΚΟΥΝΗΣ

ΕΔΙΠ: **ΙΩΑΝΝΑ ΜΑΚΑΡΟΥΝΗ**

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή Δημήτριο Ασκούνη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης να ευχαριστήσω την Δρα. Ιωάννα Μακαρούνη, η καθοδήγηση και η βοήθεια της οποίας συνέβαλαν τα μέγιστα στην εκπόνηση της εργασίας αυτής. Ακόμα, θα ήθελα να αφιερώσω την εργασία αυτή, μαζί με όλη τη δουλειά που προηγήθηκε της συγγραφής της στην οικογένειά μου για τη στήριξή της στα χρόνια της φοίτησής μου.

## Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η εμβάθυνση στο πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού των παραγωγικών συστημάτων και συγκεκριμένα στις γραμμές παραγωγής/συναρμολόγησης. Μεγάλο μέρος της βιομηχανίας, σε παγκόσμιο επίπεδο, βασίζεται στην εύρυθμη και αποδοτική λειτουργία των γραμμών συναρμολόγησης. Η καινοτομία που εισήχθη για πρώτη φορά από τον Henry Ford και έφερε επανάσταση στη βιομηχανική παραγωγή βασίζεται στον σωστό προγραμματισμό των επιμέρους εργασιών και διαδικασιών ώστε να αποφέρει καρπούς σε μια μονάδα παραγωγής. Σημαντικό σε αυτό είναι να κατανοηθούν οι βασικές αρχές που διέπουν τα συστήματα παραγωγής, τις γραμμές συναρμολόγησης και τον χρονοπρογραμματισμό. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία έρχεται ώστε μέσα από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση να μελετήσει εμπειριστατώμενα και σφαιρικά το ζήτημα αυτό, δίνοντας στον αναγνώστη της σημαντικές πληροφορίες και κατευθύνσεις για το θέμα αυτό.

Συνοπτικά, η εργασία αυτή αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>:** Επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή στην διοίκηση παραγωγής. Παρατίθεται η εξέλιξη και οι τάσεις της ανά τα χρόνια καθώς και οι βασικές αρχές που τη διέπουν.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:** Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στον χρονικό προγραμματισμό. Επεξηγούνται βασικοί ορισμοί γύρω απ' αυτόν καθώς και λειτουργίες του και κριτήρια αξιολόγησης των μεθόδων που υπάρχουν για τον χρονοπρογραμματισμό σήμερα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>:** Η μελέτη εστιάζει στις γραμμές παραγωγής/συναρμολόγησης. Εξετάζονται οι βασικοί και κάποιοι λιγότερο συνηθισμένοι τύποι, καθώς και το πρόβλημα της εξισορρόπησης γραμμής συναρμολόγησης

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>:** Το τελευταίο κεφάλαιο εστιάζει σε μια κλασσική περίπτωση μελέτης χρονοπρογραμματισμού, αυτή της Toyota με τη μέθοδο JIT.

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας προκύπτουν κάποια βασικά συμπεράσματα ως αποτέλεσμα της μελέτης και συγγραφής που έχει προηγηθεί, ενώ διατυπώνονται και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ  
ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

**Λέξεις – κλειδιά:**

παραγωγή, γραμμή συναρμολόγησης, χρονικός προγραμματισμός, εξισορρόπηση γραμμής, διοίκηση παραγωγής

## Abstract

The purpose of this work is to dig deep into the topic of production systems scheduling, and in particular on production/assembly lines. The vast majority of industries, globally, depends on the proper and efficient operation of assembly lines. The innovation of assembly lines that was first introduced by Henry Ford and revolutionized industrial production is based on the proper planning of individual operations and processes to bear fruit in a production unit. It is of great significance to understand the basic principles that drive production systems, assembly lines and time scheduling. On this context, this current thesis studies thoroughly the topic of scheduling in assembly lines with bibliographic review, giving its reader some important information and directions on this subject.

In summary, this project consists of the following chapters:

**CHAPTER 1:** A historical flashback to production management is attempted. The evolution and the trends during the years, as well as the basic principles are presented.

**CHAPTER 2:** This chapter is dedicated to time scheduling. Some basic definition concerning the topic are explained as well as its processes and the evaluation criteria of the methods regarding scheduling.

**CHAPTER 3:** The study focuses on production/assembly lines. Some basic but also less known methods are examined, as well as the problem of line balancing.

**CHAPTER 4:** This chapter focuses on a classic case of scheduling study, that of Toyota with the JIT method.

**CONCLUSIONS:** In the last chapter of this thesis, we draw some key conclusions as a result of the study and the writing that preceded it, and a number of proposals for further research are made.

## Bibliography

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ  
ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

**Keywords:**

production, assembly line, timing, line balancing, production administration

## Πίνακας ακρωνυμίων

Ακρωνύμια	Σημασία
ACS	Ant Colony Simulation, Προσομοίωση Αποικίας Μυρμηγκιών
ALB	Assembly Line Balancing, Εξισορρόπηση Γραμμής Συναρμολόγησης
BPR	Business Process Reengineering, Επανασχεδιασμός Επιχειρηματικών Διαδικασιών
ERP	Enterprise Resource Planning, Διαχείριση Επιχειρησιακών Πόρων
GALB	General Assembly Line Balancing, Γενική Εξισορρόπηση Γραμμής Συναρμολόγησης
ISO	International Standards Organization, Διεθνής Οργανισμός Προτύπων
JAD	Joint Applications Development, Κοινή Ανάπτυξη Εφαρμογών
JIT	Just In Time
LAHC	Late Acceptance Hill-Climbing
MALB	Multimanned Assembly Line Balancing, Πολυάνθρωπη Εξισορρόπηση Γραμμής Παραγωγής
MMALBP	Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem
MRP	Material Requirements Planning, Σχεδιασμός απαιτήσεων σε πόρους
PALB	Parallel Assembly Line Balancing, Εξισορρόπηση Παράλληλης Γραμμής Συναρμολόγησης
SCM	Supply Chain Management, Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας
SALBP	Single Assembly Line Balancing Problem, Πρόβλημα Εξισορρόπησης Μονής Γραμμής Συναρμολόγησης
TALBP	Two-Sided Assembly Line Balancing Problem, Πρόβλημα Εξισορρόπησης Διπλής Γραμμής Συναρμολόγησης
TQM	Total Quality Management, Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας
TSALB	Time and Space Assembly Line Balancing, Χωρική και Χρονική Εξισορρόπηση Γραμμής Παραγωγής

## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη.....	iii
Abstract .....	v
Πίνακας ακρωνυμίων .....	vii
Πίνακας περιεχομένων .....	viii
Πίνακας εικόνων .....	x
Κεφάλαιο 1ο: Ιστορική αναδρομή στην Διοίκηση Παραγωγής.....	1
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2 Βασικοί ορισμοί και έννοιες.....	5
1.3 Οι δραστηριότητες της διοίκησης παραγωγής .....	10
1.4 Μαζική παραγωγή .....	13
1.5 Σύγχρονα μοντέλα παραγωγής .....	16
1.5.1 Συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop).....	16
1.5.2 Συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop) .....	17
1.5.3 Συστήματα κατασκευής έργων (projects).....	17
Κεφάλαιο 2ο: Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής .....	19
2.1 Γενικά για τον προγραμματισμό παραγωγής.....	19
2.1.1 Συγκεντρωτικός προγραμματισμός παραγωγής .....	21
2.2 Χρονικός προγραμματισμός (χρονοπρογραμματισμός) .....	21
2.3 Λειτουργίες χρονικού προγραμματισμού .....	24
2.4 Κριτήρια αξιολόγησης μεθόδων χρονοπρογραμματισμού .....	26
Κεφάλαιο 3ο: Γραμμές συναρμολόγησης .....	30
3.1 Το πρόβλημα της εξισορρόπησης γραμμής συναρμολόγησης (assembly line balancing) .....	36
3.1.1 Σχέση του ALB από τον αριθμό των μοντέλων .....	39
3.1.2 Σχέση του ALB με τον έλεγχο της γραμμής .....	43
3.1.3 Σχέση του ALB με το επίπεδο αυτοματισμού .....	46
3.2 Ειδικές περιπτώσεις γραμμών συναρμολόγησης.....	50
3.2.1 Πολυάνθρωπη γραμμή συναρμολόγησης.....	50
3.2.2 Παράλληλη γραμμή συναρμολόγησης .....	55
Κεφάλαιο 4ο: Μελέτες περίπτωσης χρονοπρογραμματισμού.....	61
4.1 Μελέτη Περίπτωσης.....	61
4.1.1 Γενικά.....	61



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ  
ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

4.1.2 Φιλοσοφία του Συστήματος Παραγωγής της Toyota .....	63
4.1.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	65
4.2 Προσεγγίσεις βελτιστοποίησης.....	68
Συμπεράσματα.....	73
Βιβλιογραφία .....	75

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1: Μαζική παραγωγή αμερικάνικων αεροσκαφών κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο (πηγή: Φωκάς, 2015).....	13
Εικόνα 2: Γραμμή συναρμολόγησης αμαξωμάτων της ιαπωνικής εταιρείας Ford (πηγή: Φωκάς, 2015).....	32
Εικόνα 3: Τυπική απεικόνιση μιας υποτυπώδους γραμμής συναρμολόγησης (πηγή: Φωκάς, 2015).....	32
Εικόνα 4: Ομαδοποίηση των εργασιών μιας γραμμής παραγωγής (πηγή: Φωκάς, 2015) .....	33
Εικόνα 5: Το περίγραμμα ενός αλγορίθμου αποικίας μυρμηγκιών (ACS) (πηγή: Zhang et al., 2020) .....	54
Εικόνα 6: Μια τυπική διαρρύθμιση παράλληλων γραμμών συναρμολόγησης (πηγή: Ozcan, 2019).....	56

## Κεφάλαιο 1ο: Ιστορική αναδρομή στην Διοίκηση Παραγωγής

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Το ζήτημα της διοίκησης παραγωγής ξεκινά επί της ουσίας όταν ξεκίνησε και η παραγωγή προϊόντων, με τη μαζική έννοια του όρου. Απαρχή υπήρξε η πρώτη Βιομηχανική επανάσταση (1760-850).

Στα μέσα του 18ου αιώνα, η εφεύρεση μηχανών αυξανόταν ολοένα και περισσότερο, με περισσότερη έμφαση να δίνεται στις κλωστοϋφαντουργικές μηχανές. Παραδείγματα τέτοιων μηχανών της εποχής ήταν:

1. Η ιπτάμενη σαΐτα που εφευρέθηκε το 1733 από τον John Kay
2. Η κλωστική μηχανή που εφευρέθηκε το 1765 από τον James Hargreaves
3. Η υδροκίνητη μηχανή νηματουργίας που εφευρέθηκε το 1769 από τον Richard Arkwright

Οι νέες αυτές μηχανές έφεραν την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, η οποία ξεκίνησε από την Αγγλία. Βασικό της γνώρισμα ήταν η μαζικότητα στην παραγωγή προϊόντων. Ο όρος «Βιομηχανική Επανάσταση» δόθηκε από τον Arnold Toynbee, θέλοντας να περιγράψει την οικονομική άνθηση που γνώρισε μέσα απ' αυτή την κατάσταση η Αγγλία κατά την περίοδο 1760-1840. Καταλύτης για την επιτάχυνση της βιομηχανικής αυτής επανάστασης ήταν και η εφεύρεση της ατμομηχανής από τον James Watt το 1765.

Αν και γενέτειρα της Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν η Αγγλία, το φαινόμενο αυτό επεκτάθηκε γρήγορα και σε άλλες χώρες όπως το Βέλγιο, η Γαλλία και σταδιακά προς τη Γερμανία και τις ΗΠΑ. Η πρώτη μοντέρνα βαμβακουργία που χρησιμοποίησε την περιστροφική κλωστική μηχανή ιδρύθηκε στο Rhode Island των ΗΠΑ το 1793. Τα κεφάλαια για την επιχείρηση έβαλαν οι Moses Brown και Williams Almy, ενώ η τεχνογνωσία του Samuel Slater ήταν σημαντική. Η αξία της μηχανής αυτής αναγνωρίστηκε αργότερα, το 1812, όταν έφτασαν μόνο στη Μασαχουσέτη να υπάρχουν 165 αντίστοιχες βαμβακουργίες. Ακόμα ένα βήμα προς τη μαζική παραγωγή έγινε το 1801, όταν ο Eli Whitney εφάρμοσε ένα σύστημα που ονόμασε «Σύστημα

ομοιομορφίας» και με αυτό κατασκεύασε 10.000 τουφέκια για τον στρατό των ΗΠΑ, με τιμή 13.40\$ ανά τεμάχιο. Όσον αφορά το σύστημα αυτό, τα επιμέρους εξαρτήματα των τουφεκίων κατασκευάζονταν μαζικά, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε τελικό προϊόν. Η εφαρμογή του συστήματος αυτού ήταν ένα βήμα της αποτελεσματικής χρήσης των τυποποιημένων ανταλλακτικών εξαρτημάτων για την κατασκευή των πολύπλοκων προϊόντων, διότι μέχρι πρότινος η κατασκευή των πολύπλοκων προϊόντων γινότανε ολοκληρωτικά από έναν τεχνίτη.

Την περίοδο 1850-1880 ακολούθησε η 2η Βιομηχανική Επανάσταση. Χαρακτηριστικό αυτής, που τη διαφοροποίησε από την 1η ήταν η μαζική **διανομή** των προϊόντων. Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν καινοτομίες στις μεταφορές και στις επικοινωνίες (ατμόπλοια, σιδηρόδρομος, τηλέγραφος). Τη συγκεκριμένη περίοδο, πρωταγωνιστικό ρόλο είχαν οι ΗΠΑ, μιας και το σύνολο των επιχειρήσεών της ήταν μεγαλύτερο σε αριθμό απ' αυτό του υπόλοιπου κόσμου. Πρωτοπόρος στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων διοίκησης για οργανισμούς μεγάλης κλίμακας ήταν ο Daniel McCallum της εταιρείας New York and Erie Railroad στις ΗΠΑ, ενώ τεράστια ήταν η συνεισφορά του Ezra Cornell, ο οποίος κατασκεύασε την πρώτη εναέρια τηλεγραφική γραμμή που συνέδεε τη Ουάσιγκτον με τη Βαλτιμόρη. Λίγο αργότερα, εμφανίστηκε και ο θεσμός του **μεσάζοντα** οι οποίοι αγόραζαν προϊόντα από παραγωγούς και τα πωλούσαν σε εμπόρους χονδρικής.

Από τα μέσα του 1870 και ύστερα, ως τις αρχές του 20ου αιώνα, η περίοδος χαρακτηρίζεται ως εποχή **μαζικής παραγωγής και μεγάλης κλίμακας**. Το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα γεννήθηκε και το επάγγελμα του Διευθυντή Παραγωγής. Να προστεθεί ότι μεγάλη άνθηση εμφανίστηκε στη χαλυβουργία. Σε τέτοιου τύπου βιομηχανίες, όπως και αλουμινίου, πετρελαίου και καπνού, υπήρξαν οι παραγωγές μεγάλης κλίμακας μέχρι και τον 20ο αιώνα (Dillon, 2019).

Στη συνέχεια, ακολούθησε μια άλλη καινοτομία στη βιομηχανία, αυτή της **μαζικής παραγωγής μεγάλης ταχύτητας**. Πρωτοπόρος σε αυτό ήταν ο Henry Ford, ο οποίος έθεσε σε λειτουργία την πρώτη γραμμή συναρμολόγησης αυτοκινήτων. Ο Ford είχε κατανοήσει πως η γρήγορη παραγωγή προϊόντων θα μείωνε το συνολικό κόστος τους, καθιστώντας τα πιο ελκυστικά για το αγοραστικό κοινό, αυξάνοντας την κερδοφορία της εταιρείας (Royston, 2016).

Μετά το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, έγινε το επόμενο βήμα στη βιομηχανική ανάπτυξη, με χρήση κοινών πόρων για την παραγωγή και διανομή μεγάλου εύρους προϊόντων. Μια από τις εταιρείες που εξελίχθηκε ραγδαία εκείνη την περίοδο ήταν η General Motors, αμερικάνικη αυτοκινητοβιομηχανία. Μετά το 1920, η εταιρεία αυτή αντιμετώπιζε σοβαρό πρόβλημα με τον συντονισμό των επιμέρους εργασιών της. Το πρόβλημά της αυτό έλυσε ο Pierre Du Pont, ο οποίος ανέθεσε στον Alfred Sloan την αναδιοργάνωση της εταιρείας, ώστε να επιτευχθεί καλύτερος συντονισμός των επιμέρους εταιρειών. Ο Sloan δημιούργησε ένα γενικό γραφείο για τον συντονισμό και τη διεύθυνση όλων των αυτόνομων τομέων, καθένας από τους οποίους στόχευε σε διαφορετικές αγορές. Για παράδειγμα, τα μοντέλα της Cadillac στόχευαν σε αγοραστικό κοινό υψηλού εισοδήματος, ενώ τα μοντέλα των Buick και Oldsmobile στο αγοραστικό κοινό μέσου εισοδήματος και τα Chevrolet στο αγοραστικό κοινό χαμηλού εισοδήματος (Hopp & Spearman, 2011).

Την εποχή εκείνη, η ευθύνη για τη λήψη αποφάσεων περνούσε ολοένα και περισσότερο στα χέρια των υψηλόβαθμων και μεσαίων διευθυντικών στελεχών. Σε αυτό συνέβαλε η δημιουργία πολύ μεγάλων συστημάτων που διοικούνταν από τους ιδιοκτήτες τους. Τα διευθυντικά στελέχη που είχαν υπό την καθοδήγησή τους τη λήψη αποφάσεων στις αρχές του 19ου αιώνα, προέρχονταν από εργάτες ενώ την εποχή του μεσοπολέμου οι περισσότεροι ήταν απόφοιτοι πανεπιστημίων (Gordon & Overbey, 2019).

Κατά τον μεσοπόλεμο (1920-1940 περίπου) τέθηκαν οι βάσεις για τη μελέτη των ανθρώπινων σχέσεων στην παραγωγή και τη διοίκηση ποιότητας. Πιο συγκεκριμένα, την περίοδο 1924-1932, μια ομάδα ερευνητών με επικεφαλής τον Elton Mayo από το Harvard έκανε κάποιες μελέτες στο εργοστάσιο Hawthorne της Western Electric στο Σικάγο σχετικά με την επίδραση του φωτισμού στην αποδοτικότητα των εργαζόμενων. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν ήταν πως η παραγωγικότητα δεν επηρεάζεται μόνο από τεχνολογικούς παράγοντες αλλά και από τα κίνητρα που τους παρέχονται. Η θεωρία των κινήτρων εξελίχθηκε και κατά τις επόμενες δεκαετίες, κυρίως από τους Maslow, Herzberg και McGregor (Sharma, 2020).

Μετά τον Β' Π.Π., ο κλάδος της βιομηχανίας γνώρισε τεράστια άνθηση. Με κυρίαρχη δύναμη τις ΗΠΑ, οι οποίες εξήλθαν από τον πόλεμο ως παγκόσμια κυρίαρχη

δύναμη, άρχισε η αμερικάνικη βιομηχανία να παράγει και να διανέμει προϊόντα με τεράστιους για την εποχή ρυθμούς και ποσότητες.

Την περίοδο 1950-1960, δόθηκε μεγάλη έμφαση στις πωλήσεις και στα οικονομικά ώστε η παραγωγή να περάσει σε δεύτερη μοίρα. Σε άλλες ανακάμπουσες οικονομίες, όπως η Γερμανία και η Ιαπωνία, η έμφαση είχε δοθεί στην ανάπτυξη με αργούς ρυθμούς και εστίαση στο προϊόν αλλά και στην παραγωγή. Σε αντίθεση με τις ΗΠΑ, όπου η έμφαση πλέον είχε στραφεί στα χρηματοοικονομικά, στις οικονομίες αυτές τα διευθυντικά στελέχη γνώριζαν τα πάντα γύρω από τη γραμμή παραγωγής και τις μεθόδους παραγωγής (Yokoi, 2004).

Από τη δεκαετία του 1970 και ύστερα παρατηρήθηκε χαλάρωση της αμερικάνικης κυριαρχίας, λόγω χαλάρωσης που υπήρξε στη χώρα. Σε αυτό συνέβαλε όμως και η τεράστια προσπάθεια Ευρωπαίων και Ιαπώνων για ανάκαμψη. Μετά από μια μακρά περίοδο ανασυγκρότησης, οι ΗΠΑ ωστόσο κατάφεραν να ανακτήσουν την ηγετική τους θέση, από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα (World Bank Staff, 2005).

Μεταπολεμικά επήλθε ακόμα μια επανάσταση, αυτή των υπολογιστών. Ο πρώτος πλήρως ηλεκτρονικός ψηφιακός υπολογιστής κατασκευάστηκε το 1945 (ENIAC) στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια στις ΗΠΑ. Με την ανάπτυξη συστήματος προγραμματισμού πόρων (material requirements planning, MRP) έγινε εφικτός ο έλεγχος του προγραμματισμού παραγωγής αλλά και των αποθεμάτων. Τα MRP εξαπλώθηκαν γρήγορα, με πάνω από 8000 τέτοια να υπάρχουν στις ΗΠΑ το 1981. Πιο μετά, αναπτύχθηκαν τα MRP II. Μαζί με τα MRP, οι ΗΠΑ στράφηκαν και σε ένα άλλο σύστημα το TQM (Total Quality Management), ή σύστημα Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας. Το TQM αναφέρεται στην αποτελεσματική ολοκλήρωση της ανάπτυξης, διατήρησης και βελτίωσης της ποιότητας διαφορετικών ομάδων σε μια επιχείρηση (marketing, ανάπτυξη προϊόντων, παραγωγή και εξυπηρέτηση πελατών) με στόχο την πλήρη ικανοποίηση των πελατών στο χαμηλότερο δυνατό κόστος για την επιχείρηση (Kiran, 2016). Σημαντικό στο να επιτευχθεί αυτό ήταν και η ίδρυση, το 1987, του Διεθνούς Οργανισμού Προτύπων (International Standards Organization, ISO).

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας ώθησε τους ανθρώπους να καταλάβουν ότι για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί θα πρέπει να ασχοληθούν με τη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή το κύκλωμα προμηθειών, παραγωγής, μεταφοράς και

διανομής προϊόντων. Τη δεκαετία του 1990, η βιομηχανία, με αφορμή τα παραπάνω, στράφηκε στη διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management, ή SCM). Εκείνη την εποχή αναπτύχθηκε και ο ανασχεδιασμός επιχειρησιακών διαδικασιών (business process reengineering ή BPR) από τους Hammer και Chamby (1993). Το BPR υποστήριζε ότι για να βελτιωθεί πραγματικά η απόδοση μέσα σε μια επιχείρηση, δηλαδή να βελτιωθεί το κόστος, η εξυπηρέτηση, η ταχύτητα και η ποιότητα, χρειάζεται ριζικός ανασχεδιασμός των διαδικασιών της επιχείρησης (Riemp, 2012).

Η ταχύτερη εξάπλωση του διαδικτύου επέτρεψε στους χρήστες του τη μαζική ανταλλαγή ηλεκτρονικών δεδομένων μεταξύ συνεργαζόμενων επιχειρήσεων. Με την εξέλιξη των SCM και BPR ήρθε η ανάπτυξη του διαδόχου του MRP II, που ονομάστηκε προγραμματισμός επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resource Planning, ERP). Τα συστήματα αυτά στόχευαν στην ολοκληρωμένη μηχανογράφηση και όχι μόνο των λειτουργιών παραγωγής αλλά και όλων των λειτουργιών μιας επιχείρησης (παραγωγή, διανομή, λογιστήριο, χρηματοοικονομικά, προσωπικό) και γι' αυτό έτυχαν μαζικής αναγνώρισης και υιοθέτησης από τη βιομηχανία (Langenwalter, 2020).

## 1.2 Βασικοί ορισμοί και έννοιες

**Διοίκηση παραγωγής** προϊόντων και υπηρεσιών (operations management) είναι η δραστηριότητα της διαχείρισης των πόρων που έχουν διατεθεί για την παραγωγή και διάθεση προϊόντων και υπηρεσιών (Slack, Chambers & Johnston, 2010). Η λειτουργία της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών (operations function) αφορά το τμήμα του οργανισμού που είναι υπεύθυνο γι' αυτή τη δραστηριότητα. Κάθε οργανισμός διαθέτει αυτή τη λειτουργία γιατί κάθε οργανισμός παράγει τέτοιου τύπου προϊόντα ή/και υπηρεσίες. Ωστόσο, δεν ονομάζουν απαραίτητα όλοι οι οργανισμοί αυτή τη δραστηριότητα διοίκηση παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών. Συχνά, χρησιμοποιούνται όροι όπως **διοίκηση παραγωγής** ή **παραγωγική διαδικασία** αντί για το **λειτουργία της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών**. Τα στελέχη της παραγωγής (operations managers) είναι οι άνθρωποι που είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση ορισμένων δραστηριοτήτων, ή και όλων, που συνιστούν τη λειτουργία της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών. Επιπλέον, σε κάποιους οργανισμούς, ο

διευθυντής παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών μπορεί να έχει διαφορετικό τίτλο. Για παράδειγμα, σε μια εταιρεία διανομής μπορεί να ονομάζεται «διαχειριστής στόλου», σε ένα νοσοκομείο «διοικητικός διευθυντής» και σε ένα σούπερ μάρκετ «διευθυντής καταστήματος».

Η λειτουργία της παραγωγής αποτελεί βασική λειτουργία για κάθε οργανισμό, γιατί παράγει τα αγαθά και τις υπηρεσίες τα οποία είναι και ο λόγος της ύπαρξής της, αλλά δεν είναι ούτε μοναδική, ούτε και απαραίτητα η πιο σημαντική λειτουργία. Είναι βέβαια μία από τις τρεις βασικές λειτουργίες κάθε οργανισμού. Οι λειτουργίες αυτές είναι (Udroiu & Bere, 2018):

1. Η λειτουργία του **marketing** (περιλαμβάνει και τις πωλήσεις), η οποία έχει την ευθύνη να κάνει γνωστά στις αγορές τα προϊόντα και τις υπηρεσίες του οργανισμού, έτσι ώστε να προκαλέσει το ενδιαφέρον των πελατών γι' αυτό.
2. Η λειτουργία της **ανάπτυξης προϊόντων/υπηρεσιών**, η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία νέων, τροποποιημένων προϊόντων και υπηρεσιών έτσι ώστε να διατηρεί το ενδιαφέρον των πελατών της.
3. Η λειτουργία της **παραγωγής**, η οποία είναι υπεύθυνη για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών της μέσω της παραγωγής και παροχής προϊόντων και υπηρεσιών.

Επίσης, υπάρχουν και οι **υποστηρικτικές λειτουργίες**, οι οποίες επιτρέπουν στις βασικές λειτουργίες να είναι αποτελεσματικές. Για παράδειγμα, μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται (Machado & Davim, 2017):

1. Η **λογιστική και χρηματοοικονομική λειτουργία**, η οποία παρέχει τις πληροφορίες που διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων σε οικονομικά θέματα και διαχειρίζονται τους χρηματοοικονομικούς πόρους του οργανισμού.
2. Η λειτουργία της **διοίκησης ανθρώπινων πόρων**, η οποία ασχολείται με την πρόσληψη και εξέλιξη του προσωπικού του οργανισμού, αλλά και με τη φροντίδα για την ευημερία τους.

Οι διάφοροι οργανισμοί χρησιμοποιούν και διαφορετικά ονόματα για τις διάφορες λειτουργίες τους, και έχουν διαφορετικά σύνολα υποστηρικτικών λειτουργιών. Όμως, σχεδόν όλοι οι οργανισμοί διαθέτουν τις τρεις βασικές λειτουργίες γιατί όλοι οι οργανισμοί έχουν τη θεμελιώδη ανάγκη να πουλούν τις υπηρεσίες τους,



να ικανοποιούν τους πελάτες τους, και να δημιουργούν τις προϋποθέσεις για να τους ικανοποιούν στο μέλλον.

Στην πράξη, δεν γίνεται πάντα σαφής διάκριση ανάμεσα στις τρεις βασικές λειτουργίες ή μεταξύ των βασικών και των υποστηρικτικών λειτουργιών. Μάλιστα, πολλά από τα ενδιαφέροντα προβλήματα στο management εντοπίζονται στα επικαλυπτόμενα όρια των λειτουργιών αυτών. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε μια σύγχυση γύρω από το ζήτημα της οριοθέτησης της λειτουργίας της παραγωγής (προϊόντων και υπηρεσιών). Σε ένα μεγάλο βαθμό, η ανάπτυξη προϊόντων/υπηρεσιών, οι δραστηριότητες που αφορούν μηχανολογικά/τεχνικά και πληροφοριακά συστήματα, καθώς και κάποιες από τις δραστηριότητες της διαχείρισης ανθρώπινων πόρων, του marketing, της λογιστικής και των χρηματοοικονομικών θεωρείται πως ανήκουν στη σφαίρα της διοίκησης παραγωγής. Κυρίως όμως, με βάση τους Slack, Chambers & Johnston (2010), η βασική λειτουργία της παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών αποτελείται από όλες τις δραστηριότητες που είναι αναγκαίες για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών. Σε αυτήν περιλαμβάνονται η προμήθεια προϊόντων/υπηρεσιών από τους προμηθευτές και η μεταφορά των παραγόμενων προϊόντων/υπηρεσιών στους πελάτες.

Θεωρητικά, η διοίκηση παραγωγής και υπηρεσιών, παραμένει ίδια για κάθε επιχείρηση, ανεξαρτήτως μεγέθους της. Πρακτικά όμως, η διοίκηση της παραγωγής προϊόντων/υπηρεσιών σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις παρουσιάζει τα δικά της προβλήματα. Οι μεγάλες εταιρείες διαθέτουν τους πόρους που απαιτούνται ώστε να αναθέτουν σε μεμονωμένα άτομα εξειδικευμένες εργασίες, ενώ οι μικρότερες συνήθως όχι. Γι' αυτό, τα στελέχη τους μπορεί να βρίσκονται σε μια θέση που θα πρέπει να ασχολούνται με διαφορετικές εργασίες, όταν υπάρξει ανάγκη. Μια τέτοια άτυπη δομή μπορεί να επιτρέπει στην εταιρεία να αντιδρά γρηγορότερα στις ευκαιρίες ή στα προβλήματα που παρουσιάζονται. Αυτό όμως ενδέχεται να επιφέρει σύγχυση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς υπάρχει επικάλυψη αρμοδιοτήτων μεταξύ των στελεχών. Οι μικρές επιχειρήσεις μπορεί να αντιμετωπίζουν ακριβώς τα ίδια προβλήματα στη διοίκηση παραγωγής όπως και οι μεγάλες, αλλά μπορεί να είναι πιο δύσκολο γι' αυτές να τα ξεχωρίσουν από το σύνολο των προβλημάτων τους. Ωστόσο, οι μικρότερες επιχειρήσεις μπορεί να έχουν και σημαντικά πλεονεκτήματα.

Όλες οι λειτουργίες παραγωγής παράγουν προϊόντα/υπηρεσίες μετατρέποντας **εισροές** σε **εκροές**. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία «εισροή-μετατροπή-εκροή». Γενικά, χρησιμοποιείται το μοντέλο της διαδικασίας μετατροπής, το οποίο εξηγεί και περιγράφει τη φύση της λειτουργίας παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών. Με απλά λόγια, οι λειτουργίες παραγωγής είναι διαδικασίες που δέχονται ένα σύνολο από εισροές (input resources), οι οποίες χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν κάτι ή μετατρέπονται οι ίδιες, σε εκροές με τη μορφή προϊόντων/υπηρεσιών (output product). Αν και όλες οι λειτουργίες της παραγωγής ακολουθούν αυτό το γενικό μοντέλο εισροή-μετατροπή-εκροή, υπάρχουν διαφορές στη φύση των συγκεκριμένων εισροών και εκροών στις εκάστοτε περιπτώσεις. Για παράδειγμα, από μακριά, ένα νοσοκομείο μπορεί να φαντάζει ίδιο με ένα εργοστάσιο αυτοκινήτων. Αν πλησιάσει κάποιος κοντύτερα όμως, αποκαλύπτονται σημαντικές διαφορές. Το ένα είναι μια δομή που παράγει προϊόντα και το άλλο μια δομή που παράγει υπηρεσίες που επηρεάζουν τη σωματική ακεραιότητα, την ψυχική υγεία και τα συναισθήματα των ανθρώπων/ασθενών. Επίσης, κάθε λειτουργία της παραγωγής περιλαμβάνει διαφορετικά πράγματα. Το εργοστάσιο αυτοκινήτων περιέχει μηχανολογικό εξοπλισμό διαμόρφωσης μετάλλων και διαδικασίες συναρμολόγησης, ενώ το νοσοκομείο περιέχει διαδικασίες διάγνωσης, φροντίδας και θεραπείας. Όμως, η σημαντικότερη πιθανότητα διαφορά μεταξύ των δύο αυτών λειτουργιών παραγωγής βρίσκεται στη φύση των εισροών τους. Το εργοστάσιο αυτοκινήτων μετατρέπει χάλυβα, πλαστικά, υφάσματα, ελαστικά και άλλα υλικά σε οχήματα. Το νοσοκομείο «μετατρέπει» τους ίδιους τους «πελάτες» του. Οι ασθενείς αποτελούν μέρος των εισροών αλλά και των εκροών της λειτουργίας παραγωγής. Αυτή η διαφορά έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να γίνεται η διοίκηση των λειτουργιών παραγωγής τους (Chletsos & Saiti, 2020).

Αν και όλες οι λειτουργίες παραγωγής είναι παρόμοιες ως προς το ότι όλες μετατρέπουν εισροές παραγωγικών πόρων σε εκροές προϊόντων και υπηρεσιών, ωστόσο, διαφοροποιούνται με αρκετούς τρόπους, τέσσερις από τους οποίους είναι ιδιαίτερα σημαντικοί (Slack, Chambers & Johnston, 2010):

1. Ο **όγκος** των εισροών
2. Η **ποικιλία** των εκροών
3. Η **μεταβολή** στη ζήτηση των εκροών τους

4. Ο βαθμός της **ορατότητας** τον οποίο έχουν οι πελάτες όσον αφορά την παραγωγή των προϊόντων και υπηρεσιών

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να υπάρξει μια ανάλυση των τεσσάρων παραπάνω τρόπων. Όσον αφορά τον όγκο των εισροών, αξίζει να σταθεί κάποιος στην **επαναληπτικότητα** των καθηκόντων των υπαλλήλων και στη **συστηματοποίηση** της εργασίας. Αυτά οδηγούν σε χαμηλό κόστος ανά παραγόμενη μονάδα. Στο κομμάτι της ποικιλίας, για να μπορέσει αυτή να είναι αρκετά μεγάλη, θα πρέπει να υπάρξει το χαρακτηριστικό της **ευελιξίας**, κάτι που βέβαια έχει το μειονέκτημα πως αυξάνει το συνολικό κόστος. Στον αντίποδα, υπάρχει η **τυποποίηση**, η κατάσταση δηλαδή που υπάρχει πολύ μικρή ευελιξία και ποικιλία αλλά και μικρότερο κόστος.

Η διάσταση της μεταβολής έχει να κάνει με το κατά πόσο μια επιχείρηση μεταβάλει τις παραγωγικές δραστηριότητες της προκειμένου να έλξει μεγαλύτερο αριθμό πελατών. Μια έντονη μεταβολή συνεπάγεται αυξημένο κόστος και αλλαγές εντός της επιχείρησης, ωστόσο κάτι τέτοιο μπορεί να επιδιωχθεί εάν τα οφέλη υπερβαίνουν τα κόστη. Η διάσταση της μεταβολής περιλαμβάνει και τον παράγοντα του ρίσκου, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος να μην γίνει σωστή έρευνα αγοράς και η μεταβολή να μην οδηγήσει στα προσδοκώμενα αποτελέσματα (Bonham, 2008).

Τέλος, σχετικά με τη διάσταση της ορατότητας, αυτή αφορά τον βαθμό στον οποίο οι πελάτες βιώνουν τις διαδικασίες της λειτουργίας της παραγωγής ή το βαθμό στον οποίο εκτίθενται σε αυτή. Γενικά, οι λειτουργίες παραγωγής που «επεξεργάζονται» πελάτες είναι περισσότερο εμφανείς στους πελάτες που τις απολαμβάνουν, απ' ό,τι οι λειτουργίες που επεξεργάζονται υλικά ή πληροφορίες (Sakhare, 2015). Για παράδειγμα, μια επιχείρηση λιανικής πώλησης ενδυμάτων μπορεί να αποφασίσει να λειτουργήσει σαν μια αλυσίδα παραδοσιακών καταστημάτων. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να αποφασίσει να μην έχει κανένα κατάστημα, αλλά να λειτουργεί με βάση το διαδίκτυο.

Όλες οι παραπάνω διαστάσεις έχουν επιπτώσεις στο κόστος της δημιουργίας των προϊόντων και υπηρεσιών. Με απλά λόγια, ο μεγάλος όγκος, η περιορισμένη ποικιλία, οι μικρές μεταβολές στη ζήτηση, και η περιορισμένη επαφή με τους πελάτες, όλα βοηθούν στο να διατηρούν το κόστος επεξεργασίας σε χαμηλό επίπεδο. Αντίθετα, ο μικρός όγκος, η μεγάλη ποικιλία, οι πολλές μεταβολές στη ζήτηση και οι συχνές

επαφές με τους πελάτες, γενικά, επιβαρύνουν το κόστος της λειτουργίας παραγωγής (Periasamy, 2009).

Ως ένα βαθμό, η θέση μιας λειτουργίας παραγωγής σε σχέση με τις τέσσερις διαστάσεις καθορίζεται από τη ζήτηση στην αγορά που εξυπηρετεί. Ωστόσο, στις περισσότερες λειτουργίες παραγωγής υπάρχει, ως ένα βαθμό, δυνατότητα επιλογής όσον αφορά τη θέση τους σε σχέση με τις τέσσερις διαστάσεις. Ας εξεταστεί για παράδειγμα η στάση που λαμβάνουν οι τράπεζες ανάλογα με τη διάσταση της ορατότητας. Κάποτε, ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορούσαν να έρθουν οι πελάτες σε επαφή με την τράπεζα ήταν οι ταμίες στα υποκαταστήματα αυτών (Slack, Chambers & Johnston, 2010). Οι άλλες υπηρεσίες αναπτύχθηκαν από τις τράπεζες για να δημιουργήσουν διαφορετικές αγορές. Σχεδόν σε κάθε τομέα μπορούμε να αναγνωρίσουμε λειτουργίες παραγωγής οι οποίες στεγάζουν διαφορετικά μέρη των τεσσάρων διαστάσεων και οι οποίες ανταγωνίζονται απόλυτα για προσέλκυση πελατών με διαφορετικούς τρόπους.

### 1.3 Οι δραστηριότητες της διοίκησης παραγωγής

Τα στελέχη παραγωγής έχουν ως ένα βαθμό ευθύνη για όλες τις δραστηριότητες του οργανισμού οι οποίες συμβάλλουν στην αποτελεσματική παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών. Και ενώ η ακριβής έκταση των ευθυνών της λειτουργίας παραγωγής εξαρτάται, ως ένα βαθμό, από τον τρόπο που ο οργανισμός έχει επιλέξει να καθορίσει τα όρια της λειτουργίας, υπάρχουν μερικές γενικές κατηγορίες δραστηριοτήτων που ισχύουν σε όλους του τύπους λειτουργιών παραγωγής. Αυτές είναι (Slack, Chambers & Johnston, 2010):

1. **Κατανόηση των στρατηγικών στόχων της λειτουργίας παραγωγής:** Η πρωταρχική ευθύνη κάθε ομάδας διαχείρισης της λειτουργίας παραγωγής είναι να κατανοήσει τί είναι αυτό που προσπαθεί να πετύχει. Αυτό σημαίνει τη διαμόρφωση μιας ξεκάθαρης εικόνας του τρόπου με τον οποίο η λειτουργία παραγωγής θα πρέπει να βοηθήσει τον οργανισμό να επιτύχει τους μακροπρόθεσμους στόχους του. Ακόμα, σημαίνει την κατανόηση των επιπτώσεων των στόχων του οργανισμού στους στόχους της λειτουργίας της

παραγωγής, στην ποιότητα, την ταχύτητα, την αξιοπιστία παράδοσης, την ευελιξία και το κόστος.

2. **Ανάπτυξη μιας στρατηγικής παραγωγής για τον οργανισμό:** Η διοίκηση παραγωγής περιλαμβάνει τη λήψη εκατοντάδων αποφάσεων κάθε λεπτό. Είναι λοιπόν ζωτικής σημασίας τα στελέχη παραγωγής να έχουν ένα σύνολο γενικών αρχών, οι οποίες θα μπορούν να τους κατευθύνουν στη λήψη αποφάσεων που συμφωνούν με τους μακροπρόθεσμους στόχους του οργανισμού. Αυτό είναι η *στρατηγική παραγωγής*.
3. **Σχεδιασμός προϊόντων, υπηρεσιών και διαδικασιών της λειτουργίας παραγωγής:** Σχεδιασμός είναι η δραστηριότητα με την οποία καθορίζεται η φυσική μορφή, το σχήμα και η σύνθεση των προϊόντων, των υπηρεσιών και των διαδικασιών. Αν και σε κάποιους οργανισμούς ο σχεδιασμός των προϊόντων και των υπηρεσιών συνήθως δεν αποτελεί δραστηριότητα που υπάγεται άμεσα στα καθήκοντα της λειτουργίας παραγωγής, ωστόσο είναι ζωτικής σημασίας για τις άλλες δραστηριότητές της.
4. **Προγραμματισμός και έλεγχος της λειτουργίας παραγωγής:** Ο προγραμματισμός και έλεγχος της λειτουργίας παραγωγής είναι η δραστηριότητα λήψης αποφάσεων για τον τρόπο αξιοποίησης των πόρων της λειτουργίας και τη διασφάλιση ότι πράγματι αξιοποιούνται όπως αποφασίστηκε.
5. **Βελτίωση της απόδοσης της λειτουργίας παραγωγής:** Η βελτίωση της απόδοσης της λειτουργίας παραγωγής αποτελεί διαρκή ευθύνη όλων των στελεχών παραγωγής.
6. **Ευρύτερες ευθύνες της διοίκησης παραγωγής:** Ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις αντιλαμβάνονται ότι τα στελέχη παραγωγής, εκτός των άμεσων δραστηριοτήτων, έχουν και ένα σύνολο από γενικότερες ευθύνες και έγνοιες. Κάθε επιχείρηση ερμηνεύει αυτές τις γενικότερες ευθύνες με διαφορετικό τρόπο. Πέντε από αυτές τις ευθύνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τα στελέχη παραγωγής είναι οι *επιπτώσεις της παγκοσμιοποίησης, οι πιέσεις για την προστασία του περιβάλλοντος, η αυξανόμενη σπουδαιότητα της κοινωνικής ευθύνης, η ανάγκη για ενημέρωση σε θέματα τεχνολογίας και ο*

*τρόπος με τον οποίο η διαχείριση της γνώσης γίνεται πλέον ένα σημαντικό κομμάτι της διοίκησης παραγωγής.*

Όλες οι δραστηριότητες της διοίκησης παραγωγής μπορούν να συμβάλλουν κατά πολύ στην επιτυχία οποιουδήποτε οργανισμού χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά τους πόρους της για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών με τρόπο που να ικανοποιεί τους πελάτες της. Για να το επιτύχει αυτό η διοίκηση πρέπει να στοχεύει στη βελτίωση των διαδικασιών, των προϊόντων, και των υπηρεσιών της με δημιουργικό, καινοτόμο και δραστήριο τρόπο. Μάλιστα, μια αποτελεσματική λειτουργία παραγωγής μπορεί να δώσει στην επιχείρηση τεσσάρων ειδών πλεονεκτήματα (Slack, Chambers & Johnston, 2010):

1. Μπορεί να μειώσει **το κόστος** παραγωγής προϊόντων και υπηρεσιών και να είναι αποδοτική
2. Μπορεί να αυξήσει τα **έσοδα** αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών μέσω της καλής ποιότητας και εξυπηρέτησης
3. Μπορεί να μειώσει το ποσό των **επενδύσεων** (μερικές φορές ονομάζεται και απασχολούμενο κεφάλαιο) το οποίο είναι αναγκαίο για να παραχθεί η απαιτούμενη ποσότητα προϊόντων και υπηρεσιών κατάλληλου τύπου, αυξάνοντας την πραγματική παραγωγική δυναμικότητα της λειτουργίας παραγωγής και χρησιμοποιώντας τους φυσικούς της πόρους με καινοτόμο τρόπο.
4. Μπορεί να βάλει τα θεμέλια για μελλοντικές **καινοτομίες** με τη δημιουργία μιας σταθερής βάσης ικανοτήτων και γνώσεων μέσα στην επιχείρηση

Τα τέσσερα αυτά πλεονεκτήματα που απορρέουν από σωστά διοικούμενες λειτουργίες παραγωγής ήταν πάντα σημαντικά, καθώς παρέχουν σε οποιονδήποτε οργανισμό τα μέσα για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στρατηγικών στόχων του. Οι πρόσφατες εξελίξεις στο επιχειρηματικό περιβάλλον τα έχουν κάνει ακόμα πιο σημαντικά και έχουν προσθέσει νέες πιέσεις, για τις οποίες η λειτουργία παραγωγής πρέπει να αναπτύξει τρόπους αντίδρασής της. Αλλαγές στο επιχειρηματικό περιβάλλον όπως αυξημένος ανταγωνισμός με βάση το κόστος, αυξημένες απαιτήσεις με βάση την ποιότητα, απαιτήσεις για περισσότερες επιλογές και μεγαλύτερη ποικιλία, αυξημένη ευαισθησία σε ηθικά ζητήματα και πιο διαφανείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οδηγούν

σε επιχειρηματικές πιέσεις οι οποίες προκαλούν τις αντιδράσεις της παραγωγής (Stahel, 2010).

#### 1.4 Μαζική παραγωγή

Ως **μαζική παραγωγή** ορίζεται η παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων σε μεγάλη ποσότητα, κατά κύριο λόγο σε γραμμές παραγωγής και συναρμολόγησης (Φωκάς, 2015). Η λογική της μαζικής παραγωγής είναι πως κάθε εργαζόμενος αναλαμβάνει ένα μικρό κομμάτι της παραγωγής και στη συνέχεια προωθεί το κατεργασμένο και ημιτελές προϊόν στον επόμενο σταθμό εργασίας, ως μέρος της διαδικασίας ολοκλήρωσής του.

Η μαζική παραγωγή χαρακτηρίζεται από το υψηλό κεφάλαιο που είναι απαραίτητο για να δημιουργηθεί, από τις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και πρώτες ύλες που χρειάζονται για να λειτουργήσει καθώς και την υψηλή αναλογία μηχανημάτων και εργαζομένων. Η λογική της μαζικής παραγωγής είναι πως ο υψηλός βαθμός της μειώνει το κόστος ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος, δημιουργώντας δηλαδή οικονομίες κλίμακας. Για να λειτουργήσει αυτό, τα προϊόντα που παράγονται θα πρέπει να είναι ευρείας χρήσης/κατανάλωσης και να μην αντιμετωπίζονται με καχυποψία και αμφιβολία από το αγοραστικό κοινό.



*Εικόνα 1: Μαζική παραγωγή αμερικάνικων αεροσκαφών κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο  
(πηγή: Φωκάς, 2015)*

Η μαζική παραγωγή, όπως αναφέρθηκε, είναι προϊόν της βιομηχανικής επανάστασης της περιόδου 1770-1800. Εκείνη την εποχή, η μαζική παραγωγή χαρακτηριζόταν από τρεις παράγοντες, τη βιομηχανοποίηση, τον διαχωρισμό της εργασίας σε κομμάτια και τα εναλλασσόμενα προϊόντα κατά τη διαδικασία της παραγωγής (Duguay, Landry & Passin, 1997).

Μετέπειτα, και ενώ η ανάγκη για εύρεση αποτελεσματικότερων τρόπων εναλλαγής των προϊόντων μέσα στις μονάδες παραγωγής παρέμενε, άρχισε να καθιερώνεται ως πρότυπο βιομηχανοποίησης το Αμερικάνικο σύστημα παραγωγής. Στον αντίποδα, η Ευρώπη στηριζόταν περισσότερο στα ατομικά ταλέντα και προσόντα, με τη μηχανοποίηση των γραμμών παραγωγής και συναρμολόγησης να μην τυχαίνει ευρείας αποδοχής.

Καθώς οι βιομηχανίες που υιοθετούσαν τη μαζική παραγωγή αυξάνονταν συνεχώς, άρχισαν και τα προβλήματα που προέκυπταν να γίνονται πιο πολύπλοκα. Αυτό συνέβη διότι λόγω του αυξανόμενου ανταγωνισμού μέσα στις ίδιες αγορές, οι ήδη υπάρχουσες βιομηχανίες αναγκάστηκαν να αναπτυχθούν, τόσο σε χώρα όσο και σε προσωπικό και μηχανήματα καθώς επίσης και σε τεχνολογίες που θα αύξαναν την ποσότητα ενώ ταυτόχρονα θα μείωναν τον χρόνο παραγωγής. Εν συνεχεία, μειώθηκε η ζητούμενη ποσότητα προϊόντων λόγω της οικονομικής ύφεσης, με την παραγόμενη ποσότητα να μένει ίδια, κάτι που οδήγησε σε προβλήματα από τη διατήρηση μεγάλων αποθεμάτων έτοιμων προϊόντων σε αποθήκες (Duguay, Landry & Passin, 1997).

Όλα τα παραπάνω δημιούργησαν την ανάγκη για την εξέλιξη και ανάπτυξη μιας επιστήμης που θα απαντούσε σε θέματα οργάνωσης, ελέγχου και γενικότερης ανάλυσης στα θέματα παραγωγής. Η επιστήμη αυτή είναι το **επιστημονικό management**.

Με πρωτοπόρο τον Frederick Taylor, η επιστήμη αυτή προσπάθησε να βρει τον βέλτιστο τρόπο ώστε να επιτύχει ψηλές αποδόσεις σε κάθε διαδικασία εντός της παραγωγής. Επιπλέον, ξεχώρισε τις λειτουργίες όλου του ανθρώπινου δυναμικού, δημιουργώντας έτσι τις απαραίτητες ιεραρχίες και προχώρησε στον επιπρόσθετο διαχωρισμό των ήδη υπάρχοντων διαδικασιών, απλουστεύοντάς τες όσο περισσότερο ήταν εφικτό. Έτσι, η ανώτερη διοίκηση πήρε όλη την εξουσία στα χέρια της.



Παράλληλα με τις θεωρίες του Taylor, σημαντικό ρόλο έπαιξε και η δράση του Henry Ford, ο οποίος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ήταν αυτό που εισήγαγε για πρώτη φορά τη γραμμή συναρμολόγησης. Με τη μέθοδο αυτή, δεν άλλαζαν οι εργαζόμενοι θέσεις, αλλά το προς κατασκευή προϊόν. Αυτό οδήγησε σε αξιοσημείωτη ελαχιστοποίηση του χρόνου παραγωγής μιας μονάδας, πέφτοντας από τις 12,5 ώρες στα 93 λεπτά (Womack, Jones & Ross, 1990).

Έτσι, ο Ford μαζί με τον Taylor ήταν οι θεμελιωτές της μαζικής παραγωγής. Η εξέλιξή της είχε ως στόχο η εκάστοτε γραμμή να μπορεί να προλαμβάνει τις πιθανές πηγές αλλαγών, κάτι που με τη σειρά του θα αύξανε τα κόστη παραγωγής. Επακολούθως, θα πρέπει το επιστημονικό management να βρίσκει τρόπους να τις μειώνει και, εάν είναι δυνατό, να τις εξαλείφει.

Τα τέσσερα βασικά στοιχεία της μαζικής παραγωγής είναι:

1. Η μείωση του κόστους παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της παραγωγής (οικονομία κλίμακας)
2. Οι καινοτομίες αποτελούν το μέσο για τη βελτίωση του παραγωγικού συστήματος, και είναι απόρροια έρευνας από εξειδικευμένα και υψηλόβαθμα στελέχη
3. Το εργατικό δυναμικό θα πρέπει να περιορίζεται και να ελέγχεται από τους ανωτέρους του, ώστε να εκτελεί τις βασικές παραγωγικές εργασίες
4. Οι σχέσεις με τους προμηθευτές δεν παραμένουν σταθερές, επιλέγεται αυτός με το μικρότερο κόστος κάθε φορά

Το σημαντικότερο όφελος της μαζικής παραγωγής είναι η σημαντική μείωση του χρόνου για την παραγωγή ενός προϊόντος. Η εργασία καθενός εργαζομένου είναι τυποποιημένη και συγκεκριμένη, χωρίς να χάνεται χρόνος. Η συνολική διαδικασία παραγωγής καθίσταται πιο αυτοματοποιημένη, μειώνοντας την πιθανότητα ανθρώπινου σφάλματος και απόκλισης από το αρχικό σχέδιο. Παράδειγμα αποτελεί εκ νέου η Ford με το Model T. Για την κατασκευή του απασχολήθηκαν άνθρωποι που μιλούσαν 50 διαφορετικές γλώσσες και οι περισσότεροι απ' αυτούς δεν ήξεραν καν αγγλικά. Ωστόσο, μπόρεσαν να φέρουν εις πέρας την παραγωγική αυτή διαδικασία (Φωκάς, 2015).

Στον αντίποδα, η μαζική παραγωγή είναι αρκετά ανελαστική. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτεί μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης στον τομέα των μηχανημάτων και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται. Άρα, οι προσαρμογές της σε αλλαγές του περιβάλλοντος δεν είναι εύκολη. Επίσης, για να λειτουργήσει σωστά η μαζική παραγωγή, θα πρέπει τα παραγόμενα προϊόντα να έχουν μεγάλο βαθμό ομοιότητας μεταξύ τους, γεγονός που μειώνει τη δυνατότητα διαφοροποίησης. Η παραγωγή άρα δεν μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του καταναλωτή, κάτι που προκαλεί σε αδυναμίες, μπροστά σε μια παγκόσμια αγορά. Ακόμα, υπάρχει πρόβλημα με την απομάκρυνση προϊόντων τα οποία είναι ελαττωματικά. Με τον τρόπο που λειτουργεί η γραμμή παραγωγής, ο εντοπισμός και η απομόνωση ημιτελών ή λανθασμένων προϊόντων είναι δύσκολος κατά την παραγωγή. Μόνο στο τέλος της παραγωγής μπορούν να ελέγχονται τα προϊόντα, κάτι που αυξάνει το κόστος επιδιόρθωσης/ανακατασκευής. Αιτία γι' αυτό είναι η συνεχής κίνηση της γραμμής συναρμολόγησης και της μικρής εκπαίδευσης των εργαζομένων πάνω σε απλές τεχνικές ποιοτικού ελέγχου (Φωκάς, 2015).

## 1.5 Σύγχρονα μοντέλα παραγωγής

Τα παραγωγικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν κατά πολλούς τρόπους, όπως για παράδειγμα με βάση το παραγόμενο τελικό προϊόν (αγαθά/υπηρεσίες) ή να ταξινομηθούν κατά τον βασικό σκοπό που μπορεί να είναι η επίτευξη κερδών ή η ικανοποίηση κοινωνικών αναγκών. Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ταξινόμησή τους κατά τον τύπο της παραγωγικής διαδικασίας. Με βάση αυτή την ταξινόμηση, τα παραγωγικά συστήματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες (Baker & Trietsch, 2018):

### 1.5.1 Συστήματα συνεχούς ροής (flow-shop)

Τα συστήματα αυτά παράγουν μεγάλους όγκους παραγωγής περιορισμένης ποικιλίας τυποποιημένων προϊόντων, τα οποία προορίζονται για ευρεία κατανάλωση. Τα προϊόντα διατροφής και τα ηλεκτρικά είδη αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του τύπου συστήματος. Συνήθως, τα προϊόντα στα συστήματα

αυτά παράγονται σε γραμμές παραγωγής και ακολουθούν την ίδια διαδρομή μέσα στο σύστημα, περνώντας μέσα από μια σειρά διαδοχικών σταθμών και μηχανών. Αυτό συνήθως συμβαίνει με τη μεσολάβηση κάποιου αυτοματοποιημένου συστήματος εσωτερικών μεταφορών. Όλος ο παραγωγικός εξοπλισμός που απαιτείται οργανώνεται χωροταξικά σε γραμμική διάταξη. Ο μηχανικός εξοπλισμός είναι ειδικής χρήσης, ενώ υπάρχει μεγάλος βαθμός αυτοματοποίησης, κάτι που οφείλεται στην ύπαρξη ρομποτικών μηχανισμών. Σε αυτό τον τύπο συστήματος είναι αδύνατη η παραγωγή εξειδικευμένων προϊόντων που να καλύπτουν τις ιδιαίτερες ανάγκες συγκεκριμένου πελάτη. Τέλος, ως παραγωγικά συστήματα συνεχούς ροής θεωρούνται και τα συστήματα όπου οι εισροές τους μετασχηματίζονται σε ένα ή περισσότερα προϊόντα (π.χ. ένα δωλίστηριο).

#### 1.5.2 Συστήματα παραγωγής κατά παραγγελία (job-shop)

Στα συστήματα αυτά παράγεται συνήθως μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων με μικρού όμως όγκους παραγωγής. Ο πελάτης είναι αυτός που αναθέτει στο σύστημα την παραγωγή ενός αριθμού ίδιων προϊόντων (παραγγελία), δίνοντας και τις προδιαγραφές του. Μέσα στο σύστημα, η ροή των προϊόντων διαφοροποιείται ανάλογα με την παραγγελία ή την παρτίδα παραγωγής. Ο μηχανικός παραγωγικός εξοπλισμός είναι γενικής χρήσης με περιορισμένο βαθμό αυτοματοποίησης, πράγμα αναμενόμενο αφού υπάρχει μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Κάθε φορά δηλαδή, ο εξοπλισμός πρέπει να προσαρμόζεται και να χρησιμοποιείται ανάλογα με τις ανάγκες του προϊόντος.

#### 1.5.3 Συστήματα κατασκευής έργων (projects)

Η περίπτωση των συστημάτων παραγωγής με τη μέθοδο των έργων αφορά στην κατασκευή μιας μονάδας προϊόντος, συνήθως μεγάλου μεγέθους και αξίας που προορίζεται για έναν πελάτη (όπως για παράδειγμα ένας κρατικός φορέας ή ένας μεγάλο ιδιωτικός φορέας). Παράδειγμα τέτοιων προϊόντων είναι ένα πολεμικό πλοίο, μια γέφυρα ή ένας δρόμος ταχείας κυκλοφορίας. Στην περίπτωση των projects, το προϊόν είναι εκείνο που μένει ακίνητο και γύρω απ' αυτό κινούνται οι άνθρωποι και

όλα τα μέσα παραγωγής. Ο παραγωγικός εξοπλισμός είναι βέβαια γενικής χρήσης και με μικρό βαθμό αυτοματοποίησης.

Τέλος, υπάρχουν και τα συστήματα κυτταρικής μορφής (production cells), και τα συστήματα παραγωγής σε παρτίδες (batch-shop). Τα συστήματα αυτά είναι επί της ουσίας συνδυασμός των δύο πρώτων βασικών κατηγοριών.

## Κεφάλαιο 2ο: Χρονοπρογραμματισμός παραγωγής

### 2.1 Γενικά για τον προγραμματισμό παραγωγής

Η ζήτηση προϊόντων και υπηρεσιών χαρακτηρίζεται πολλές φορές από αβεβαιότητα. Αυτό σημαίνει πως οι όποιες απαιτήσεις υπάρχουν σε μηχανές, υλικά, κεφάλαια, ανθρώπινο δυναμικό και γενικά πόρους που θα χρησιμοποιηθούν καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη μεθόδων εκτίμησης και πρόβλεψης. Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος παραγωγής είναι εκτιμήσεις αναφορικά με την ποσότητα και τον χρόνο που αναμένεται να ζητηθεί ένα προϊόν από ένα παραγωγικό σύστημα. Οι εκτιμήσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν για την κατάρτιση προγραμμάτων παραγωγής, προμήθειας πρώτων υλών, απασχόλησης εργαζόμενων κ.λπ. Όσο πιο αξιόπιστες είναι οι προβλέψεις που γίνονται, τόσο πιο αποτελεσματικά θα είναι και τα προγράμματα του παραγωγικού συστήματος που καταστρώνονται.

Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για τη διενέργεια προβλέψεων και χρησιμοποιούνται σε διάφορες συνθήκες για τη λήψη αποφάσεων. Η επιλογή της κατάλληλης, κάθε φορά, μεθόδου, η εγκατάσταση και χρήση της και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της είναι μερικά μόνο από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην πρακτική αξιοποίηση των μεθόδων αυτών.

Γενικά, ο βασικός παράγοντας που καθορίζει την επιλογή της μεθόδου πρόβλεψης είναι το είδος των αποφάσεων που θα ληφθούν βάσει των προβλέψεων που θα γίνουν. Εκτός από τον παράγοντα αυτό, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου καθορίζεται από ένα σύνολο ειδικότερων παραγόντων, όπως η ζητούμενη μορφή πρόβλεψης, η περίοδος και ο ορίζοντας πρόβλεψης, το κόστος της μεθόδου, η επιζητούμενη ακρίβεια, η απλότητα και η ευκολία εφαρμογής και τα διαθέσιμα στοιχεία (Φραγκιαδάκη, 2013).

Η σημασία των προβλέψεων στην πράξη είναι μεγάλη, αφού κάθε σπουδαία απόφαση στις επιχειρήσεις, είτε είναι στρατηγικού είτε λειτουργικού χαρακτήρα, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε αυτές. Σημαντικό είναι λοιπόν να επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος πρόβλεψης ή συνδυασμός αυτών.

Μία από τις βασικότερες παραμέτρους που σχετίζονται με τον προγραμματισμό ενός συστήματος παραγωγής, ιδιαίτερα στα flow-shop, είναι τα αποθέματα. Η δημιουργία αποθεμάτων μπορεί να είναι είτε προσχεδιασμένη είτε να προκύπτει ως αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων (κακός προγραμματισμός, ύπαρξη σημείου στένωσης στη αλυσίδα παραγωγής). Αποθέματα μπορούν να δημιουργούνται και στην περίπτωση συστημάτων που παράγουν υπηρεσίες, όταν διατίθεται κατάλληλη τεχνολογία, όπως στην περίπτωση ενός προγράμματος λογισμικού που αποθηκεύεται σε CD.

Η διαχείριση των αποθεμάτων πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων, αποτελεί σημαντική λειτουργία σε ένα παραγωγικό σύστημα. Από τη μία, μεγάλο μέρος του κεφαλαίου κίνησης της επιχείρησης δεσμεύεται από αποθέματα. Αυτό που δεσμεύεται ακόμα είναι μεγάλος διατιθέμενος χώρος εντός της επιχείρησης, με το κόστος να αυξάνεται μόνο και μόνο από την προμήθεια, τη φύλαξη, τη συντήρηση, την ασφάλιση και, γενικά, τη διαχείριση των αποθεμάτων. Στον αντίποδα, διατηρώντας ένα απόθεμα πρώτων υλών, μια επιχείρηση μπορεί να αποσυνδεθεί σε μεγάλο βαθμό από τις όποιες διακυμάνσεις στη ζήτηση. Εάν υπάρξει αυξημένη ζήτηση τότε η επιχείρηση μπορεί να ανταποκριθεί με τα αποθέματα που έχει. Η ύπαρξη αποθεμάτων εξασφαλίζει την ομαλή ροή της γραμμής παραγωγής, την ανεξάρτητη λειτουργία μεταξύ των παραγωγικών σταδίων, την αύξηση του ρυθμού παραγωγής και την ελάττωση του βιομηχανικού κόστους. Γενικά, το πρόβλημα της διαχείρισης αποθεμάτων είναι ένα πρόβλημα **εξισορρόπησης** ανάμεσα στο κόστος έλλειψης και το κόστος πλεονάσματος αποθεμάτων πρώτων υλών, ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων ενός παραγωγικού συστήματος (Φραγκιαδάκη, 2013).

Εξαιτίας της σημασίας της λειτουργίας της διαχείρισης αποθεμάτων, έχει αναπτυχθεί η **Θεωρία Αποθεμάτων** ως μέρος της Επιχειρησιακής Έρευνας. Η επιστήμη αυτή εξετάζει συστηματικά τα σχετικά προβλήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση αποθεμάτων, ενώ έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται λογισμικά πακέτα που βοηθούν στη συστηματική παρακολούθηση και έλεγχο των αποθεμάτων (Saxena, 2009).

### 2.1.1 Συγκεντρωτικός προγραμματισμός παραγωγής

Ο **Συγκεντρωτικός Προγραμματισμός Παραγωγής** είναι η δραστηριότητα με την οποία καθορίζεται το πρόγραμμα της παραγωγής συνολικά, δηλαδή για το σύνολο των προϊόντων ενός παραγωγικού συστήματος, για ένα σύνολο περιόδων (Φραγκιαδάκη, 2013).

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, όπως είναι οι 12 μήνες για παράδειγμα.

Για να συνταχθεί ένα συγκεντρωτικό πρόγραμμα χρειάζονται δεδομένα όπως η δυναμικότητα του συστήματος, η προβλεπόμενη ζήτηση στον ορίζοντα προγραμματισμού για κάθε περίοδο (μηνιαία συνήθως), τα υπάρχοντα αποθέματα και οι γενικοί στόχοι και κριτήρια προγραμματισμού που θέτει η διοίκηση. Απαραίτητη είναι και η γνώση των στοιχείων που αφορούν κυρίως το κόστος της παραγωγής (π.χ. κόστος εργασίας, κόστος αποθεματοποίησης, κόστος μη επαρκούς αποθέματος, μεταβλητό κόστος παραγωγής, κόστος μεταβολών στο επίπεδο απασχόλησης). Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορούν καταρχάς να διαμορφωθούν πολλά εναλλακτικά συγκεντρωτικά προγράμματα παραγωγής.

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 μέσα στον προγραμματιζόμενο ορίζοντα. Οι στόχοι αυτοί αποτελούν παράλληλα και τους περιορισμούς του συστήματος, όσον αφορά την παραγωγική λειτουργία.

## 2.2 Χρονικός προγραμματισμός (χρονοπρογραμματισμός)

Πέρα από το στρατηγικό πρόβλημα του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού της δυναμικότητας κάθε συστήματος παραγωγής, τίθεται το πρόβλημα του προγραμματισμού σε μεσοπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη βάση των διατιθέμενων

πόρων (πρώτες ύλες, ανθρώπινο δυναμικό, μηχανήματα, οικονομικοί πόροι), ώστε τα συστήματα να εκπληρώσουν τους στόχους τους, ανταποκρινόμενα στη ζήτηση των προϊόντων τους.

Σε κάθε πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού, ζητείται η καλύτερη δυνατή τιμή των μεταβλητών απόφασης με γνώμονα τη διαθέσιμη δυναμικότητα, τις απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων και διάφορους τεχνολογικούς και άλλους περιορισμούς. Η τιμή δηλαδή που ζητείται είναι η καλύτερη δυνατή τιμή μιας συνάρτησης κόστους (ελαχιστοποίηση της τιμής της συνάρτησης). Έτσι, από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων (τιμών μεταβλητών στο μαθηματικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης συνάρτησης πολυμεταβλητής) ζητείται το καλύτερο.

Οι απαιτήσεις για παραγωγή προϊόντων μεταφράζονται μέσω των πινάκων υλικών, των προβλέψεων και των παραγγελιών των πελατών σε απαιτήσεις για παραγωγικούς πόρους (ανθρώπινο δυναμικό, μηχανήματα, σειρά επεξεργασιών, χρόνοι παραγωγής). 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 (κομμάτια ανά παρτίδα), τη φόρτωση των μηχανών, τη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών κ.λπ. Τέλος, η συνάρτηση κόστους αφορά στην πλήρωση κάποιων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στην εξυπηρέτηση των πελατών, στο συνολικό κόστος λειτουργίας, στην αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας κ.λπ. Έτσι, ένα πρόγραμμα είναι καλύτερο από ένα άλλο εάν ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

Έχει γίνει εκτενής έρευνα γύρω από την κατανόηση και την εφαρμογή της διαδικασίας του χρονοπρογραμματισμού (scheduling). Η έρευνα έχει καταλήξει σε θεωρητικά μαθηματικά μοντέλα και σε μεθόδους αναζήτησης πιθανών λύσεων.

Ο χρονοπρογραμματισμός έχει ορισθεί ως η *κατανομή δεδομένων πόρων στη διάρκεια του χρόνου με σκοπό την ολοκλήρωση ενός συνόλου εργασιών* (Baker, 1974). Τα προβλήματα χρονοπρογραμματισμού παραγωγής συνδυάζουν επιστημονικές περιοχές τόσο διαφορετικές, όπως αυτές του σχεδιασμού παραγωγής (production planning), του computer design και της παραγωγής πλάνων (timetabling). Η θεωρία και οι εφαρμογές του χρονοπρογραμματισμού παραγωγής έχουν αναπτυχθεί σε ένα



σημαντικό πεδίο της έρευνας, τόσο από την πλευρά της επιχειρησιακής έρευνας, όσο και από την πλευρά της τεχνητής νοημοσύνης.

Οι εντολές αναλύονται και μεταφράζονται σε εργασίες συνδεδεμένες με ημερομηνίες παράδοσης. Αυτές οι εργασίες υποβάλλονται προς επεξεργασία στις μηχανές των σταθμών παραγωγής. Η επεξεργασία αυτή γίνεται με συγκεκριμένη, προκαθορισμένη σειρά. Ενδέχεται κάποιες εργασίες να καθυστερήσουν και να περιμένουν να επεξεργαστούν από μηχανές που την παρούσα χρονική στιγμή είναι απασχολημένες/κατειλημμένες. Ακόμα, μπορεί να περιμένουν άλλες εργασίες που ίσως φθάσουν αργότερα από αυτές στην ίδια μηχανή αλλά που πραγματοποιούνται νωρίτερα λόγω της υψηλότερης προτεραιότητάς τους.

Ο προγραμματισμός των εργασιών οφείλει να διατηρεί την αποδοτικότητά του και τον έλεγχο των λειτουργιών. Το βραχυχρόνιο πρόγραμμα επηρεάζεται από τη διαδικασία σχεδιασμού παραγωγής που χειρίζεται τον μακροχρόνιο σχεδιασμό ολόκληρου του συστήματος. Θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα επίπεδα των αποθεμάτων, οι προβλέψεις για τη ζήτηση και οι απαιτήσεις σε πρώτες ύλες και πόρους ώστε η κατανομή τους στην παραγωγική διαδικασία να βελτιστοποιείται. Τέλος, επίσης υπόψη πρέπει να λαμβάνονται και απρόσμενα γεγονότα, όπως οι βλάβες και οι διακοπές λειτουργίας μηχανών (breakdowns και downtimes) ή και χρόνοι επεξεργασίας μεγαλύτεροι από το αναμενόμενο.

Για τη δημιουργία και την εφαρμογή τεχνικών βελτιστοποίησης, κάθε πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού ορίζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως η διαθέσιμη δυναμικότητα του συστήματος και οι απαιτήσεις για παραγωγή, που καθορίζονται από τη ζήτηση των προϊόντων και διάφορων τεχνολογικών και λοιπών περιορισμών. Με βάση αυτές τις παραμέτρους ζητείται η καλύτερη δυνατή τιμή μιας συνάρτησης κόστους (ή οφέλους), δηλαδή η τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στην καλύτερη δυνατή επιλογή των μεταβλητών απόφασης. Οι μεταβλητές απόφασης μπορεί να αφορούν το μέγεθος μιας παρτίδας παραγωγής, τη σειρά εκτέλεσης των παραγγελιών, την ανάθεση συγκεκριμένων παραγγελιών σε συγκεκριμένες μηχανές κ.λπ. Έτσι, από ένα σύνολο εφικτών προγραμμάτων, ζητείται το καλύτερο, αν και συχνά ο καθορισμός του είναι ανέφικτος, οπότε το ζητούμενο είναι να βρεθεί ένα πρόγραμμα το οποίο ικανοποιεί τους **περιορισμούς** του προβλήματος (feasibility) και τα **κριτήρια** που τίθενται (satisfaction).

Σημαντικοί σε ένα πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού παραγωγής είναι οι περιορισμοί και οι κανόνες του συστήματος. Αυτοί αφορούν στη δυναμικότητα του διαθέσιμου παραγωγικού εξοπλισμού, στις απαιτήσεις για τη συντήρηση και το στήσιμο των μηχανών, στην εκπλήρωση των απαιτήσεων που ορίζει η εκάστοτε τεχνολογία των μηχανημάτων και τα δεδομένα του προγράμματος παραγωγής για το συνολικό επίπεδο παραγωγής, του ανθρώπινου δυναμικού και των αποθεμάτων.

Τέλος, η συνάρτηση κόστους/οφέλους αφορά στην εκπλήρωση δεδομένων κριτηρίων που μπορεί να αναφέρονται στη γρηγορότερη εξυπηρέτηση των πελατών, στο συνολικό κόστος παραγωγής, στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της διαθέσιμης δυναμικότητας κ.λπ. Έτσι, ένα πρόγραμμα παραγωγής είναι καλύτερο από ένα άλλο αν ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια που έχουν τεθεί σύμφωνα με την τιμή που παίρνει η συνάρτηση κόστους/οφέλους.

Η επίλυση μεγάλων προβλημάτων προγραμματισμού εργασιών απαιτεί την ανάπτυξη σύνθετων και ευφώνων μοντέλων. Τυπικά παραδείγματα αποτελούν τα μοντέλα χρονοδρομολόγησης (scheduling) και προγραμματισμού διαδρομής (routing). Προβλήματα βραχυπρόθεσμου ορίζοντα, είναι δυνατό να αντιστοιχούν σε μοντέλα με τεράστιο αριθμό περιορισμών, εξαιρετικά υψηλή πολυπλοκότητα και μη γραμμικότητα. Πολλές από τις μεταβλητές είναι δυνατό να είναι διακριτές, άρα η επίλυση γίνεται πιο δύσκολη. Μοντέλα τέτοιου είδους, διακριτών μεταβλητών δηλαδή, εντάσσονται στην κατηγορία προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Οι μεταβλητές των προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης αντιπροσωπεύουν αποφάσεις τύπου «ναι/όχι» ή άλλη πιθανή εκλογή διακριτών εναλλακτικών.

### 2.3 Λειτουργίες χρονικού προγραμματισμού

Ας υποθεθεί πως υπάρχει ένα σύστημα παραγωγής στο οποίο εφαρμόζεται χρονικός προγραμματισμός. Οι λειτουργίες που πρέπει να εκτελεστούν για την εφαρμογή του προγραμματισμού μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

1. Ανάθεση παραγγελιών, εξοπλισμού και ανθρώπινων πόρων στο κέντρο εργασίας, το οποίο επωμίζεται με την ευθύνη για την εκτέλεση των εργασιών
2. Δρομολόγηση των εργασιών, καθορισμός δηλαδή της σειράς εκτέλεσής τους, καταρτίζοντας προτεραιότητες για τις εργασίες εντός του συστήματος

3. Κατανομή της εκτέλεσης των εργασιών που προγραμματίστηκαν (dispatching)
4. Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας (shop-floor control), η οποία περιλαμβάνει:
  - a. Ανάλυση της κατάστασης και έλεγχος της εξέλιξης των εργασιών όσο αυτές εκτελούνται
  - b. Επίσπευση καθυστερημένων και κρίσιμων εργασιών

Σε μια μονάδα παραγωγής, ο υπεύθυνος για τον χρονοπρογραμματισμό του συστήματος επιλέγει αρχικά τις διαθέσιμες εργασίες και τις ταξινομεί στις διάφορες θέσεις και σταθμούς εργασίας της μονάδας. Οι αποφάσεις που θα λάβει ο υπεύθυνος θα πρέπει να είναι βασισμένες στις λειτουργίες και στις απαιτήσεις δρομολόγησης της κάθε εργασίας, στην κατάσταση των υπάρχοντων εργασιών σε κάθε θέση εργασίας, στο χρόνο αναμονής που υπάρχει σε κάθε θέση, στις προτεραιότητες που χαρακτηρίζουν τις εργασίες, στη διαθεσιμότητα των υλικών, σε πιθανές εισόδους νέων εργασιών στο σύστημα και, φυσικά, στους διαθέσιμους πόρους του κέντρου εργασίας σε εξοπλισμό και σε ανθρώπινο δυναμικό (Πολυχρονίδης, 2000).

Στόχοι του χρονοπρογραμματισμού σε μια παραγωγική μονάδα είναι οι εξής:

1. Τήρηση των προθεσμιών και των χρονοδιαγραμμάτων για της ημερομηνίες παράδοσης παραδοτέων (due dates)
2. Ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου παραγωγής μιας παρτίδας ή μιας παραγγελίας (lead times)
3. Ελαχιστοποίηση του χρόνου ή κόστους προετοιμασίας και ρύθμισης του εξοπλισμού των μηχανημάτων της μονάδας (setup times)
4. Ελαχιστοποίηση των εργασιών που εκκρεμούν στο σύστημα (work in progress)
5. Μεγιστοποίηση της χρήσης του εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού (machine/labor utilization)

## 2.4 Κριτήρια αξιολόγησης μεθόδων χρονοπρογραμματισμού

Η διαδικασία καθορισμού της αλληλουχίας με την οποία οι εργασίες εκτελούνται στα κέντρα εργασίας είναι γνωστή ως **δρομολόγηση εργασιών**. Οι κανόνες προτεραιότητας που υπάρχουν είναι κανόνες που οδηγούν στο να υπάρξει μια σειρά εκτέλεσης των εργασιών. Αυτοί οι κανόνες μπορεί να είναι απλοί και να απαιτούν τη σύγκριση ενός μόνο χαρακτηριστικού των εργασιών, όπως για παράδειγμα την απαιτούμενη ημερομηνία παράδοσής τους ή να είναι εξίσου απλοί αλλά να απαιτούν τις πράξεις μεταξύ κάποιων χαρακτηριστικών των εργασιών τους όπως την αφαίρεση του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας τους από την απαιτούμενη ημερομηνία παράδοσής τους (Πολυχρονίδης, 2000).

Τα κριτήρια απόδοσης που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη δρομολόγηση εργασιών σε ένα σύστημα είναι τα παρακάτω:

1. **Μέσος χρόνος ροής:** Μετριέται ο μέσος χρόνος που κρατά μέσα στο σύστημα μια εργασία. Το κριτήριο χρησιμοποιείται όταν επιδιώκεται γρήγορη εκτέλεση εργασιών και τήρηση χαμηλών αποθεμάτων.
2. **Μέση βραδύτερη περάτωση:** Εδώ, μετριέται ο χρόνος που υπάρχει στην καθυστέρηση των εργασιών σε σχέση με τους απαιτούμενους από τον πελάτη χρόνους παράδοσης. Χρησιμοποιείται ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική επιβάρυνση του συστήματος λόγω υπέρβασης των χρόνων αυτών. Συνήθως υπάρχει κάποια ποινή, π.χ. με τη μορφή ποινικών ρητρών, για κάθε χρονική μονάδα καθυστέρησης.
3. **Μέσος χρόνος αναμονής:** Με το κριτήριο αυτό μετριέται ο μέσος χρόνος αναμονής μιας εργασίας σε ένα σύστημα έως ότου ξεκινήσει. Το κριτήριο αυτό χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ενδιαφέρον για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αναμονής των εργασιών και των αποθεμάτων των πρώτων υλών.
4. **Μέγιστη βραδύτερη περάτωση:** Εδώ, λαμβάνεται υπόψη η μεγαλύτερη από τις καθυστερήσεις στην εκτέλεση των εργασιών και είναι χρήσιμο όταν η ποινή για κάθε χρονική μονάδα καθυστέρησης αυξάνει με τον χρόνο καθυστέρησης.
5. **Αριθμός αργοπορημένων εργασιών:** Μετρώνται οι εργασίες που ολοκληρώνονται μετά την καταληκτική τους ημερομηνία. Στόχος εδώ είναι να

ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των πελατών που λόγω καθυστερήσεων εκφέρουν παράπονα και δυσαρεστούνται.

Πέρα από τα παραπάνω κριτήρια υπάρχουν και άλλα, όπως αυτά που εστιάζουν στην αποδοτικότερη αξιοποίηση των πόρων εντός του συστήματος (ανθρώπινο δυναμικό, πρώτες ύλες, μηχανήματα), καθώς και εκείνα που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του κόστους των ενδιάμεσων αποθεμάτων (WIP). Τα κριτήρια αυτά λαμβάνονται υπόψη όταν ένας πόρος έχει τεράστια αξία ή είναι καίριας σημασίας για την παραγωγική διαδικασία (μισθοδοσία εργαζόμενων σε ένα σύστημα παροχής υπηρεσιών) (Πολυχρονίδης, 2000).

Ο χρονικός προγραμματισμός στις γραμμές παραγωγής επιδιώκει να αξιοποιήσει το προσωπικό και τα μηχανήματα, ώστε στόχοι όπως η ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής πελατών, του χρόνου αποθήκευσης, του χρόνου παραγωγής ενός προϊόντος να επιτευχθούν.

Η πλειοψηφία των προβλημάτων που εντοπίζονται στον χρονικό προγραμματισμό έχει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα ως προς το να επιλυθεί και να βρεθεί μια ολική βέλτιστη λύση. Όσο αυξάνεται το μέγεθος του προβλήματος, τόσο περισσότερο χρόνο απαιτεί η επίλυση, η οποία ενίοτε είναι και αδύνατη.

Ας δούμε, στο σημείο αυτό, τί σημαίνει βελτιστοποίηση. Με τον όρο **βελτιστοποίηση** νοείται η ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης. Είναι δηλαδή η εύρεση τιμών σε κάποιες παραμέτρους για τις οποίες μια συνάρτηση παρουσιάζει ελάχιστο ή μέγιστο. Οι προαναφερθείσες παράμετροι είναι μεταβλητές εισόδου, γραμμικώς ανεξάρτητες, που ορίζουν την τιμή της συνάρτησης.

Πολλά προβλήματα σε εφαρμογές μπορούν να αναχθούν σε προβλήματα βελτιστοποίησης. Το πρόβλημα ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης μπορεί να οριστεί και ως:

$$\text{Δοθείσας μιας } f: S \rightarrow \mathbb{R},$$

Να βρεθεί ένα  $x^* \in S$ , τέτοιο ώστε  $f(x^*) \leq f(x)$ ,  $\forall x \in S$ , με  $S \subseteq \mathbb{R}^n$  είναι ο χώρος αναζήτησης.

Αν  $S = \mathbb{R}^n$  τότε έχουμε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης χωρίς περιορισμούς. Ωστόσο, σε πολλά προβλήματα, οι μεταβλητές πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες

συνθήκες. Αυτά τα προβλήματα καλούνται προβλήματα ελαχιστοποίησης με περιορισμούς και συνήθως είναι πιο δύσκολο να επιλυθούν από τα αντίστοιχα προβλήματα χωρίς περιορισμούς. Η συνάρτηση  $f$  καλείται **αντικειμενική συνάρτηση**. Το σημείο  $x^*$  καλείται **ολικός ελαχιστοποιητής** της  $f$  στο  $S$  και η τιμή του,  $f^* = f(x^*)$  καλείται ολικό ελάχιστο της  $f$ .

Οι αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τους τοπικούς και τους ολικούς αλγόριθμους. Οι πρώτοι είναι αυτοί που εγγυώνται την εύρεση ενός τοπικού ελαχιστοποιητή. Αντίθετα, στον δεύτερο τύπο αλγορίθμου εγγυάται ο υπολογισμός ενός ολικού ελαχιστοποιητή της  $f$  στο  $S$ , ανεξαρτήτως αρχικού σημείου.

Το ολικό ελάχιστο ή μέγιστο ονομάζεται **ολικό ακρότατο**. Μια συνάρτηση μπορεί να έχει περισσότερα ολικά ακρότατα. Σκοπός της ολικής βελτιστοποίησης δεν είναι να βρει όλα τα ακρότατα, αλλά το πιο σημαντικό απ' αυτά.

Για την υλοποίηση βελτιστοποίησης, έχουν προταθεί διάφοροι μεθευρετικοί αλγόριθμοι με καλή απόδοση. Τέτοιοι είναι οι **γενετικοί αλγόριθμοι**, οι **αλγόριθμοι εξέλιξης** και οι **αλγόριθμοι βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων**.

Εκτός από τον διαχωρισμό των μεθόδων βελτιστοποίησης σε ολικές και τοπικές, αυτές κατηγοριοποιούνται και με άλλο τρόπο, με βάση το εάν χρησιμοποιούν παραγώγους, αν χρησιμοποιούν πληθυσμούς, αν είναι αλγοριθμικές και έχουν εγγυημένη σύγκλιση και ακρίβεια.

Κατά τους Beasley, Bull & Martin (1993), η κατηγοριοποίηση για τις μεθόδους βελτιστοποίησης είναι:

1. Μέθοδοι βασισμένες στον λογισμό
2. Μέθοδοι τυχαίας αναζήτησης
3. Μέθοδοι επαναλαμβανόμενης αναζήτησης
4. Μέθοδοι προσομοιωμένης απόπτωσης
5. Δυναμικός προγραμματισμός
6. Ευρετικές μέθοδοι

Βασικές αρχές που χαρακτηρίζουν τις τεχνικές βελτιστοποίησης είναι:

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι πληθυσμιακοί αλγόριθμοι, βασίζονται δηλαδή στη συμπεριφορά μιας ομάδας στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά έχουν διαφορετική ονομασία, ανάλογα με την τεχνική βελτιστοποίησης. Στους γενετικούς αλγόριθμους και στους αλγόριθμους διαφορικής εξέλιξης ονομάζονται άτομα, ενώ στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων ονομάζονται σωματίδια. Τα στοιχεία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και όλα μαζί συγκλίνουν προς μια θεωρητικά βέλτιστη τιμή.

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι επαναληπτικοί. Για να ολοκληρωθεί άρα μια αναζήτηση, ο αλγόριθμος θα πρέπει να αξιολογήσει πολλές φορές το πρόβλημα, αλλάζοντας κάθε φορά τις τιμές για τις μεταβλητές εισόδου. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης έχουν βασικό σκοπό να «καθοδηγήσουν» τις τιμές των μεταβλητών βήμα-βήμα προς τις βέλτιστες τιμές με βάση τις προηγούμενες αξιολογήσεις. Συνήθως, ο τερματισμός του αλγορίθμου έχει οριστεί εξ' αρχής ως συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων. Η επανάληψη ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία όλα τα στοιχεία του πληθυσμού αξιολογούνται και ανανεώνεται η θέση τους ή η κατάσταση τους με βάση τυχαίους κανόνες. Στην πρώτη επανάληψη τα στοιχεία τίθενται σε τυχαίες θέσεις.

Είναι σημαντικό να είναι γνωστή η καταλληλότητα του κάθε στοιχείου του πληθυσμού σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ο καλύτερος τρόπος έκφρασης της καταλληλότητας ενός στοιχείου είναι η αντιστοίχιση του στοιχείου με την τιμή της συνάρτησης  $f$ , η συνάρτηση η οποία πρόκειται να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί. Επειδή η συνάρτηση αυτή εκφράζει την καταλληλότητα των στοιχείων, η  $f$  παίρνει την ονομασία «συνάρτηση καταλληλότητας ή συνάρτηση κόστους ή αντικειμενική συνάρτηση».

Κάποιοι αλγόριθμοι λειτουργούν με πραγματικούς αριθμούς και άλλοι με δυαδική κωδικοποίηση αριθμών. Η κωδικοποίηση είναι μια διαδικασία στην οποία ένας αριθμός εκφράζεται υπό μορφή συρμού δυαδικών ψηφίων. Για κάθε τεχνική βελτιστοποίησης υπάρχει συνήθως η έκδοση με πραγματικούς αριθμούς και η έκδοση με δυαδική κωδικοποίηση. Εκτός από τη δυαδική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και άλλου είδους κωδικοποίηση (οκταδική ή δεκαεξαδική).

## Κεφάλαιο 3ο: Γραμμές συναρμολόγησης

Οι γραμμές συναρμολόγησης είναι η κατά κόρον συνηθέστερη προσέγγιση στις γραμμές μαζικής παραγωγής. Πρόκειται για ένα καθ' ομολογία σημαντικό κομμάτι της παραγωγής. Ειδικότερα, η γραμμή συναρμολόγησης είναι μια μέθοδος παραγωγής η οποία βασίζεται στη ροή των υπό κατασκευή προϊόντων μέσα στο χώρο της παραγωγής, συνήθως υπό τη μορφή μιας συνεχιζόμενης ροής. Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής μένουν σταθερές στους επονομαζόμενους σταθμούς εργασίας (workstations) και είναι σε σειριακή τοποθέτηση. Τα ημιτέτοιμα προϊόντα περνάνε διαδοχικά από τον κάθε σταθμό μέχρις ότου να ολοκληρωθούν. Η κίνηση αυτή γίνεται με κάποιου είδους σύστημα μεταφοράς, όπως για παράδειγμα με έναν μεταφορικό ιμάντα (conveyor belt).

Οι γραμμές συναρμολόγησης αναπτύχθηκαν για μια οικονομικά αποδοτική μαζική παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων, με σκοπό την ανάπτυξη και αξιοποίηση του εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού. Στην αρχή της χρήσης τους, οι γραμμές αυτές αποσκοπούσαν στη μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής με την εξοικονόμηση χρόνου. Ωστόσο, η δυναμικότητά τους ήταν ικανή να καλύψει μόνο ίδια ή παρόμοια προϊόντα, μη δίνοντας τη δυνατότητα μετατροπών μέσα στη γραμμή παραγωγής.

Η αδυναμία αυτή άρχισε να γίνεται σημαντική μετά την επανάσταση που έφερε ο Henry Ford στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Από εκεί και έπειτα, οι απαιτήσεις πάνω στα παραγόμενα προϊόντα άρχισαν να διαφοροποιούνται με αποτέλεσμα να εμφανίζεται η ανάγκη αλλαγής στον τρόπο παραγωγής τους (Boysen, Fliedner & Scroll, 2007). Προκειμένου να ανταποκριθούν στις διαφοροποιημένες ανάγκες των πελατών, οι εταιρείες πρέπει να καταστήσουν δυνατή την εξατομίκευση των προϊόντων τους. Για παράδειγμα, η γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία BMW προσφέρει ένα κατάλογο προαιρετικών χαρακτηριστικών που, θεωρητικά, έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να παραχθούν μέχρι και 1032 διαφορετικά μοντέλα στα επιβατηγά της οχήματα. Αυτή η ευελιξία παραγωγής πολλών διαφορετικών μοντέλων, επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση μηχανημάτων πολλαπλής χρήσης και αυτόματης αλλαγής εργαλείων. Αυτό καθιστά πιο αποτελεσματικές τις γραμμές συναρμολόγησης, όταν πρόκειται για



γραμμές παραγωγής με συναρμολόγηση κατά παραγγελία (assembly to order), που χαρακτηρίζονται από τον χαμηλό όγκο συναρμολόγησης και δίνουν τη δυνατότητα για ανάπτυξη σύγχρονων στρατηγικών παραγωγής, προσανατολισμένων στη μαζική εξατομίκευση.

Ακόμη, αυτό εξασφαλίζει με τη σειρά του ότι ο ενδεδειγμένος σχεδιασμός και η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων συναρμολόγησης θα εξακολουθούν να έχουν μεγάλη πρακτική σημασία και στο άμεσο μέλλον.

Λόγω της γραμμής συναρμολόγησης, επιτυγχάνονται οι επιθυμητοί χρόνοι στην παραγωγή, ελαχιστοποιείται το κόστος για τον εξοπλισμό, ενώ το ίδιο ισχύει και για το κόστος εργασίας και διαχείρισης του ανθρώπινου δυναμικού. Σήμερα, με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων γραμμής συναρμολόγησης, η παραγωγή έχει γίνει μια ιδιαίτερα εκλεπτυσμένη διαδικασία στην οποία προστίθεται αξία στους επιμέρους σταθμούς εργασίας κατά μήκος της γραμμής. Όλο και περισσότερο, η συναρμολόγηση χαρακτηρίζεται από πολλαπλές παράλληλες δραστηριότητες που τροφοδοτούν ένα τελικό στάδιο συναρμολόγησης. Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν εξελιγμένα συστήματα επικοινωνιών, σχέδια ροής υλικών και προγράμματα παραγωγής (Gupta, 2019). Το γεγονός ότι το σύστημα γραμμής συναρμολόγησης είναι ένα ενιαίο σύνολο εργασιών, σημαίνει ότι οι ελλείψεις σε ένα σημείο μπορεί να προκαλέσουν καθυστερήσεις (bottleneck) από εκείνο το σημείο προς τα εμπρός. Για να διατηρηθεί η ομαλή λειτουργία ενός συστήματος, θα πρέπει τα επιμέρους υπο-μέρη του να λειτουργούν ομαλά.

Στις μέρες μας, η λειτουργία μιας γραμμής παραγωγής συνδυάζεται με υψηλό επίπεδο αυτοματισμού, γεγονός που κάνει την κάθε επένδυση προς αυτή να συνεπάγεται μεγάλο κόστος. Για τον λόγο αυτό και για να έχει αντίκρισμα η επένδυση, ο σχεδιασμός της γραμμής θεωρείται ή πρέπει να θεωρείται, υψηλής σημαντικότητας. Οι διάφορες μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό είναι πολλές και οι αποφάσεις που θα παρθούν θα επηρεάσουν όλη τη γραμμή παραγωγής από την αρχή μέχρι το τέλος. Ένα δείγμα των μεταβλητών αυτών είναι:

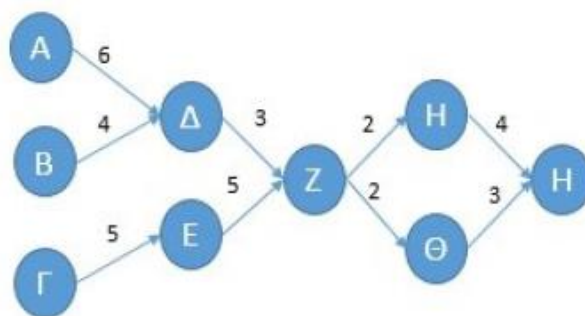
1. η δυναμικότητα της γραμμής
2. ο καταμερισμός των επιμέρους εργασιών
3. ο διαχωρισμός των παραγωγικών μονάδων

Λόγω της πολυπλοκότητας που αυτό συνεπάγεται έχουν γίνει εμπειριστατωμένες μελέτες για τη βελτίωση της απόδοσης των γραμμών συναρμολόγησης και σε γενικές περιπτώσεις αλλά και σε ειδικότερες.



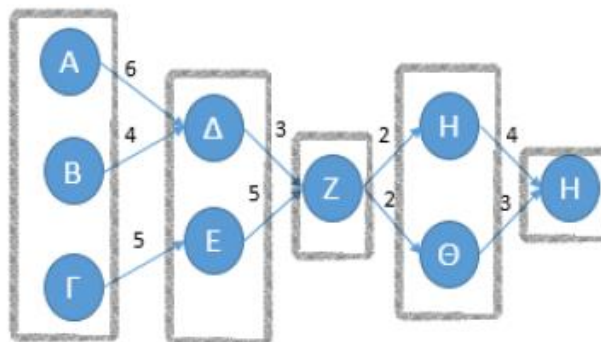
Εικόνα 2: Γραμμή συναρμολόγησης αμαξωμάτων της ιαπωνικής εταιρείας Ford (πηγή: Φωκάς, 2015)

Πώς λειτουργεί ωστόσο μια γραμμή συναρμολόγησης; Μια υποτυπώδης γραμμή συναρμολόγησης ακολουθεί την παρακάτω εικόνα. Πρέπει να τονιστεί πως όταν μια γραμμή παραγωγής σχεδιάζεται, λαμβάνονται υπόψη και διάφορες μεταβλητές ώστε η γραμμή συναρμολόγησης να έχει μια βελτιστοποιημένη μορφή.



Εικόνα 3: Τυπική απεικόνιση μιας υποτυπώδους γραμμής συναρμολόγησης (πηγή: Φωκάς, 2015)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ένα αρκετά απλουστευμένο πρότυπο του πώς λειτουργεί μια γραμμή παραγωγής. Το συγκεκριμένο πρότυπο επιδέχεται ομαδοποίηση των διεργασιών ώστε να γίνεται συνολικά ένας καταμερισμός της εργασίας. Η σειρά με την οποία γίνονται οι διεργασίες είναι συγκεκριμένη και δημιουργείται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες του εκάστοτε προϊόντος. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, υπάρχει μια διαδοχικότητα στις εργασίες, δηλαδή για να ξεκινήσει η επόμενη πρέπει να έχει τελειώσει η προαπαιτούμενή της. Η διαδοχικότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή και από τα βέλη. Τα νούμερα συμβολίζουν το χρόνο που απαιτείται για να τελειώσει κάθε διεργασία και να ξεκινήσει η επόμενη. Εδώ, μπορεί να σημειωθεί ότι όταν οι διαδικασίες έχουν διαφορετικό χρόνο παράδοσης και παραλαβής, κάποιες απ' αυτές θα μείνουν αδρανείς για ένα χρονικό διάστημα, κάτι που ονομάζεται **νεκρός χρόνος** (idle time).



Εικόνα 4: Ομαδοποίηση των εργασιών μιας γραμμής παραγωγής (πηγή: Φωκάς, 2015)

Ο πρωταρχικός στόχος οποιουδήποτε θέλει να βελτιώσει μια γραμμή συναρμολόγησης είναι να τη σχεδιάσει έτσι ώστε να μειώσει στο ελάχιστο τους νεκρούς χρόνους, να ομαδοποιήσει τις κατάλληλες εργασίες, να αξιοποιεί στο μέγιστο δυνατό τους παραγωγικούς πόρους, να δημιουργήσει την κατάλληλη χωροταξική διάταξη των σταθμών έτσι ώστε να εξυπηρετούν την παραγωγή, να μην παραβιάζεται η διαδοχικότητα της γραμμής και τέλος να μειώσει το συνολικό χρόνο παραγωγής (Collier & Evans, 2020).

Τώρα, δεδομένου ότι τα σχήματα που φαίνονται παραπάνω είναι αρκετά απλουστευμένα, περιλαμβάνοντας μόνο 9 διεργασίες, είναι εύκολο να κατανοήσει κάποιος το μέγεθος της πολυπλοκότητας όταν αυξάνονται οι διεργασίες και

προστίθενται και πραγματικές μεταβλητές, για παράδειγμα, έλλειψη ή ακαταλληλότητα χώρου, περιορισμένη δυναμικότητα παραγωγής κάθε μηχανήματος κ.α.

Στην πορεία των χρόνων, οι γραμμές συναρμολόγησης εξελίχθηκαν, αναπτύχθηκαν και αναδιαμορφώθηκαν. Αυτό, συνέβη αρχικά, επειδή η πολυπλοκότητα που αναφέρθηκε είναι διαφορετική για κάθε βιομηχανία, οπότε και υπήρξε η ανάγκη για διαφορετικές προσεγγίσεις. Επιπλέον, είναι η ποικιλομορφία που υπάρχει στο σύνολο των βιομηχανιών, διαφορετικά κεφάλαια, διαφορετική κουλτούρα, διαφορετική απαίτηση παραγωγής. Στη συνέχεια, η συνεχόμενη τεχνολογική εξέλιξη, που οδηγεί συνεχώς σε νέα δεδομένα και νέες ευκαιρίες, σε συνδυασμό με τον παγκόσμιο ανταγωνισμό, έχουν ως αποτέλεσμα την εξέλιξη σε αυτό τον χώρο.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν κάποιες γενικές μορφές που είναι αποδεκτές και δημοφιλείς στον βιομηχανικό χώρο (Daschenko, 2007):

1. **Τμηματική συναρμολόγηση (modular assembly):** Πρόκειται για προηγμένο τρόπο συναρμολόγησης, η οποία βασίζεται σε μικρότερες γραμμές συναρμολόγησης οι οποίες λειτουργούν σε παράλληλο χρόνο και τροφοδοτούν την συνολική γραμμή. Στοχεύει στην αύξηση της ποσότητας των ημικατεργασμένων προϊόντων που διακινούνται μέσα στην παραγωγή, βελτιώνοντας την απόδοση των μικρότερων γραμμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι αυτοκινητοβιομηχανίες, στις οποίες αλλού κατασκευάζεται το σασί, αλλού η μηχανή κ.ο.κ. και στο τέλος, όλα τα επιμέρους υπό-μέρη συναρμολογούνται σε ένα τελικό προϊόν. Έχει παρατηρηθεί πως με τη μέθοδο αυτή αυξάνονται οι δυνατότητες για διαφοροποίηση του τελικού προϊόντος, αρκεί τα επιμέρους συκροτήματα να είναι τυποποιημένα. Ακόμη, έχει διαπιστωθεί ότι τείνει να μειώνεται το ποσοστό των παρελκόμενων που εν τέλει απαξιώνονται, μειώνεται ο χρόνος του επανασχεδιασμού των προϊόντων, σχεδιάζονται πολύ πιο εύκολα νέα μοντέλα με τη χρήση ήδη χρησιμοποιούμενων εξαρτημάτων, μειώνεται το κόστος παραγωγής και η συντήρηση είναι πιο εύκολη.
2. **Συναρμολόγηση σε κελιά (cell manufacturing):** Τα κυψελωτά συστήματα παραγωγής έχουν αναγνωριστεί ως συστήματα τα οποία μπορούν να ανταποκριθούν σε ένα μέσο αριθμό παραγωγής προϊόντων χωρίς ιδιαίτερα

μεγάλη ποικιλομορφία. Για τον λόγο αυτό, τα συστήματα παραγωγής θεωρούνται τα πιο οικονομικά στην κατηγορία τους. Ο ακρογωνιαίος λίθος αυτού του συστήματος παραγωγής είναι η ομαδοποίηση των μηχανών και των παρελκόμενων εξαρτημάτων. Ο τρόπος αυτός συναρμολόγησης προέκυψε από την εξέλιξη της τεχνολογίας. Εφ' όσον τα νέα μηχανήματα έχουν την ικανότητα να κάνουν ταυτόχρονα διάφορες λειτουργίες, υπάρχει η δυνατότητα με τον κατάλληλο σχεδιασμό να μπορούν να φέρουν εις πέρας περισσότερες της μιας διεργασίες. Έτσι, δημιουργούνται «κελιά», τα οποία χειρίζονται από έναν υπεύθυνο εργαζόμενο ή ομάδα εργαζόμενων. Επιπλέον, στα κελιά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και παλαιότερες μηχανές σε συνδυασμό με μια νέα. Ο διαχωρισμός και η ομαδοποίηση του εξοπλισμού σε cells επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της ομαδοποιημένης τεχνολογίας (Group Technology). Η εφαρμογή της ομαδοποιημένης τεχνολογίας δεν εξαρτάται από το βαθμό αυτοματισμού που χρησιμοποιείτε σε ένα εργοστάσιο και μπορεί να εφαρμοστεί σε μια εντελώς αυτοματοποιημένη παραγωγή ή ακόμα και σε ένα χειροκίνητο σύστημα παραγωγής.

3. **Ομαδική παραγωγή (team production):** Η μορφή αυτή διαφοροποιείται από τη μέθοδο όπου οι εργαζόμενοι είναι στατικοί σε ένα σταθμό εργασίας και υλοποιούν την ίδια διεργασία συνεχώς. Αντ' αυτού, οι εργαζόμενοι ακολουθούν τη γραμμή παραγωγής, κάνοντας επιμέρους εργασίες, μέχρι τον τελικό έλεγχο ποιότητας. Η μέθοδος αυτή θεωρείται πως οδηγεί στην υψηλότερη εμπλοκή των εργαζόμενων στην παραγωγή, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα τη βαθύτερη γνώση του συστήματος.
4. **Γραμμή συναρμολόγησης τύπου U (U shaped assembly):** Στη μέθοδο αυτή, η κλασσική προσέγγιση της γραμμής παραγωγής, με τη γεωμετρική της έννοια, αλλάζει και αντί για γραμμή υπάρχει μια καμπύλη «γραμμή» παραγωγής. Η ιδέα για τη συγκεκριμένη μορφή της καμπύλης είναι ότι οι εργαζόμενοι βρίσκονται το εσωτερικό της. Το γεγονός αυτό βοηθάει στην ευκολότερη και καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των εργαζόμενων, εφ' όσον είναι πιο κοντά απ' ό τι σε μια κλασσική γραμμή συναρμολόγησης. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα στο να μπορούν όλοι να βλέπουν σε ποιο στάδιο είναι η παραγωγή, το τί έρχεται, να υπάρχει πληροφόρηση και εκπαίδευση παράλληλα με την εργασία

καθώς επίσης να κάνουν ταυτόχρονα διαφορετικές εργασίες. Όλα αυτά, καθιστούν το συγκεκριμένο είδος συναρμολόγησης πιο ευέλικτο, που επιτρέπει αλλαγές και διαφοροποιήσεις.

Δεδομένου ότι οι νέες μέθοδοι γραμμής συναρμολόγησης εισάγονται σε διαδικασίες παραγωγής, οι διευθυντές επιχειρήσεων εξετάζουν τις τεχνικές για την πιθανή εφαρμογή σε άλλους τομείς της επιχείρησης. Μια τέτοια εφαρμογή ονομάζεται Κοινή Ανάπτυξη Εφαρμογών ή JAD (Joint Applications Development). Είναι μια διαδικασία που αρχικά αναπτύχθηκε για το σχεδιασμό ενός αυτοματοποιημένου συστήματος. Συγκεντρώνει όσους εργάζονται σε τομείς των επιχειρήσεων και εκείνων που εργάζονται στον τομέα της τεχνολογίας. Τα πλεονεκτήματα της JAD περιλαμβάνουν μια δραματική μείωση του χρόνου που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα έργο. Η διαδικασία JAD κάνει για την ανάπτυξη συστημάτων πληροφορικής, ότι έκανε ο Henry Ford για την κατασκευή των αυτοκινήτων (μια μέθοδος οργάνωσης μηχανημάτων, υλικών και εργασίας έτσι ώστε το αυτοκίνητο θα μπορούσε να παράγεται πολύ πιο γρήγορα και φθηνότερα απ' ό,τι πριν τη γραμμή συναρμολόγησης).

### 3.1 Το πρόβλημα της εξισορρόπησης γραμμής συναρμολόγησης (assembly line balancing)

Υπό τον όρο εξισορρόπηση γραμμής συναρμολόγησης (assembly line balancing -ALB) έχουν αναπτυχθεί και συζητηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης, τα οποία έχουν ως στόχο τη υποστήριξη της λήψης απόφασης κατά τη διαμόρφωση αποτελεσματικών συστημάτων συναρμολόγησης. Από την πρώτη μαθηματική τυποποίηση του ALB (Salveson, 1955), η ακαδημαϊκή κοινότητα επικεντρώθηκε κυρίως στο βασικό πρόβλημα της διαμόρφωσης, η οποία είναι η ανάθεση των καθηκόντων στους σταθμούς εργασίας. Σε μεταγενέστερες μελέτες, ωστόσο, επιδιώκεται να λυθεί το πρόβλημα της εξισορρόπησης, με την εισαγωγή και ολοκλήρωση περιορισμών σε διάφορες δομές, όπως U-shape, parallel ή τύπου branch.

Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη ποικιλία των επεκτάσεων, οι οποίες αναφέρονται ως γενική εξισορρόπηση γραμμών συναρμολόγησης (GALB), είναι εκπληκτικό το γεγονός ότι εξακολουθεί να υπάρχει μια πολύ σημαντική διαφορά

ανάμεσα στην ακαδημαϊκή συζήτηση και τις πρακτικές εφαρμογές, έως σήμερα. Εμπειρικές έρευνες ήδη από τις δεκαετίες του '70 και του '80 έχουν δείξει ότι μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό των εταιρειών χρησιμοποιούσαν μαθηματικούς αλγορίθμους για τη διαμόρφωση του προγραμματισμού εκείνα τα χρόνια. Η προφανής έλλειψη των πιο πρόσφατων επιστημονικών μελετών σχετικά με την εφαρμογή του αλγορίθμου εξισορρόπησης γραμμών συναρμολόγησης που παρουσιάστηκε ανωτέρω, υποδεικνύει ότι το χάσμα αυτό εξακολουθεί να υφίσταται.

Ένας λόγος για την έλλειψη αυτή μπορεί να προέρχεται από το γεγονός πως οι ερευνητικές μελέτες συχνά λαμβάνουν υπόψη μία ή μόνο μερικές πλευρές του ALB (Assembly Line Balancing) κάθε φορά. Οι γραμμές παραγωγής σε κανονικές συνθήκες απαιτούν πολλές επεκτάσεις και πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς. Τυπικά, υπάρχει μια εξισορρόπηση ανάμεσα στην ευελιξία και την αποδοτικότητα μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης (Gen et al, 2008). Ακολούθως, αναγνωρίζοντας τυπικούς συνδυασμούς επεκτάσεων που συχνά ανακύπτουν από κοινού στον πραγματικό κόσμο των γραμμών παραγωγής, μπορούν να αναπτυχθούν διαδικασίες που ταιριάζουν ακριβώς σε αυτές τις απαιτήσεις, μειώνοντας παράλληλα την απαιτούμενη ευελιξία στο ελάχιστο. Επιπλέον, μπορεί να δίνονται οδηγίες στους χειριστές της γραμμής σχετικά με το πώς να χρησιμοποιήσουν ήδη υπάρχοντα μοντέλα και διαδικασίες για το ειδικό σύστημα συναρμολόγησής τους.

Ας δούμε, σε αυτό το σημείο, το βασικό πρόβλημα ALB. Μια γραμμή παραγωγής αποτελείται από σταθμούς εργασίας  $k = 1, \dots, m$ , που συνήθως τοποθετούνται κατά μήκος μιας μεταφορικής ταινίας ή ενός παρόμοιου μηχανολογικού εξοπλισμού για τον χειρισμό υλικών. Τα προς εργασία κομμάτια (jobs) συνεχώς ρίχνονται στη γραμμή παραγωγής και κινούνται από σταθμό σε σταθμό εργασίας. Σε κάθε έναν απ' αυτούς, ορισμένες λειτουργίες γίνονται επαναλαμβανόμενα αναφορικά με τον κύκλο χρόνου (μέγιστος ή μέσος χρόνος που είναι διαθέσιμος για κάθε κύκλο εργασίας).

Η κατασκευή ενός προϊόντος σε γραμμή παραγωγής απαιτεί τον διαμερισμό του συνολικού ποσού δουλειάς που απαιτείται σε σετ εργασιών  $V$  (από 1 έως και  $n$  σετ εργασιών) βασικές λειτουργίες που ονομάζονται δουλειές (tasks). Το να γίνει μια δουλειά  $j$  απαιτεί χρόνο  $t_j$  και συγκεκριμένο εξοπλισμό από μηχανές ή/και ικανότητες από τους εργαζόμενους. Ο συνολικός φόρτος εργασίας που απαιτείται για την

συναρμολόγηση ενός προϊόντος μετράται από το σύνολο των χρόνων για τις δουλειές που είναι  $t_{sum}$ . Λόγω των τεχνολογικών και οργανωσιακών συνθηκών, έχουν παρατηρηθεί περιορισμοί ανάμεσα στις διάφορες δουλειές.

Κάθε είδος προβλήματος που αφορά την εξισορρόπηση μιας γραμμής παραγωγής συνίσταται από την εύρεση μιας βιώσιμης γραμμής ισορροπίας, δηλαδή μια ανάθεση για κάθε δουλειά σε έναν σταθμό τέτοια ώστε οι περιορισμοί από προηγούμενες διαδικασίες και επιπλέον περιορισμοί να υπερβαίνονται. Το σετ των εργασιών  $S_k$  που ανατίθεται σε κάθε σταθμό  $k$  αποτελεί τον φόρτο εργασίας του σταθμού, με τον σωρευτικό χρόνο εργασίας  $t(S_k)$  να είναι ίσος με άθροισμα όλων των  $t_j$  και να αποκαλείται χρόνος σταθμού.

Όταν ένας σταθερός χρόνος κύκλου  $c$  δίνεται, η ισορροπία μιας γραμμής είναι εφικτή μόνο εάν ο χρόνος του σταθμού ή κανενός απ' τους σταθμούς, δεν υπερβαίνει τον χρόνο  $c$ . Εάν ο χρόνος είναι μικρότερος από  $c$ , τότε ο σταθμός  $k$  έχει έναν νεκρό χρόνο ίσο με  $c - t_k$  σε κάθε κύκλο εργασίας.

Λόγω της μακροπρόθεσμης επίπτωσης της εξισορρόπησης των αποφάσεων γύρω από τις γραμμές παραγωγής, οι στόχοι που υπάρχουν θα πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, σκεπτόμενοι τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης. Από οικονομική σκοπιά, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι στόχοι γύρω από το κόστος και την κερδοφορία. Ωστόσο, η μέτρηση και η πρόβλεψη του κόστους μιας γραμμής που λειτουργεί για μήνες ή χρόνια και τα έσοδα που υπάρχουν από την πώληση των προϊόντων που παράγονται είναι κάτι το περίπλοκο και ενέχει αρκετά σφάλματα. Ένας συνήθης εναλλακτικός στόχος αποτελείται από τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας της γραμμής, κάτι που μετριέται μέσω της αποτελεσματικότητας  $E$ , ως το πηλίκο του συνολικού λειτουργικού χρόνου της γραμμής  $t_{sum}$  και του γινομένου του χρόνου ενός κύκλου  $c$  και του αριθμού των σταθμών εργασίας  $m$ . Δηλαδή, η αποτελεσματικότητα είναι η εξής σχέση:

$$E = t_{sum}/(c*m)$$

Γύρω από το πρόβλημα της εξισορρόπησης μιας γραμμής παραγωγής, υπάρχουν τέσσερις εκδοχές, η καθεμία με τους δικούς της στόχους.

- η SALBP-E, που μεγιστοποιεί την αποτελεσματικότητα  $E$ ,



- η SALBP-I, που ελαχιστοποιεί τον αριθμό των σταθμών εργασίας δεδομένου ενός σταθερού χρόνου για έναν κύκλο παραγωγής  $c$ ,
- η SALBP-2 που ελαχιστοποιεί το  $c$  δεδομένου του αριθμού των σταθμών εργασίας  $m$ , ενώ
- η προσέγγιση SALBP-F ψάχνει να βρει μια εφικτή λύση, με τα  $m$  και  $c$  δεδομένα.

Το πρόβλημα της εξισορρόπησης μιας γραμμής συναρμολόγησης εξαρτάται, όπως έγινε ήδη αντιληπτό, από πλείστες παραμέτρους. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζεται αναλυτικά η εξάρτηση του ALB προβλήματος από τις διάφορες παραμέτρους του.

### 3.1.1 Σχέση του ALB από τον αριθμό των μοντέλων

#### **Γραμμές συναρμολόγησης μονού μοντέλου**

Στην παραδοσιακή τους μορφή, οι γραμμές παραγωγής χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή μεγάλων όγκων ενός πράγματος. Σήμερα, τα προϊόντα χωρίς καθόλου διαφοροποίηση σπάνια έλκουν αρκετούς καταναλωτές ώστε να μπορεί να γίνει μια επικερδής χρήση του συστήματος συναρμολόγησης. Προηγμένες τεχνολογίες παραγωγής επιτρέπουν τις αυτοματοποιημένες εργασίες στησίματος σε αμελητέους χρόνους και κόστη. Εάν πάνω από ένα προϊόντα συναρμολογούνται πάνω στην ίδια γραμμή, αλλά δεν υπάρχουν στησίματα και σημαντικές αποκλίσεις στους χρόνους λειτουργίας, το σύστημα συναρμολόγησης μπορεί να ληφθεί υπόψη ως γραμμή ενός μοντέλου, όπως είναι για παράδειγμα η περίπτωση της παραγωγής των δίσκων βινυλίου (Lebefromm, 1999). Η παραγωγή ενός προϊόντος είναι η τυπική υπόθεση για ένα ζήτημα ALB και λαμβάνεται από πολλές δημοσιεύσεις για σχετικά θέματα.

#### **Γραμμές συναρμολόγησης μικτού μοντέλου**

Στην μικρή παραγωγή, οι χρόνοι στησίματος της παραγωγής ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα μπορούν να μειωθούν σημαντικά ώστε να μπορούν να αγνοηθούν, έτσι ώστε οι αναμιγμένες αλληλουχίες να μπορούν να γίνουν στην ίδια γραμμή. Παρά τις τεράστιες προσπάθειες ώστε να γίνουν πιο ευέλικτα τα συστήματα

παραγωγής, κάτι τέτοιο απαιτεί συχνά πολύ ομοιογενείς διεργασίες παραγωγής. Ως συνέπεια, υποτίθεται τυπικά πως όλα τα μοντέλα είναι διαφοροποιήσεις του ίδιου βασικού προϊόντος και διαφέρουν μονάχα σε συγκεκριμένα, εξατομικευμένα χαρακτηριστικά του προϊόντος, τα οποία καλούνται ως επιλογές.

Η εγκατάσταση των ποικίλων επιλογών συνήθως οδηγεί σε αποκλίσεις στους χρόνους διεργασιών. Στην παραγωγή αυτοκινήτων, για παράδειγμα, η εγκατάσταση μιας ηλεκτρικής ηλιοροφής απαιτεί διαφορετικό χρόνο απ' ότι η τοποθέτηση μιας χειροκίνητης. Έτσι, οι χρόνοι του κάθε σταθμού εργασίας θα εξαρτώνται πολύ από το συγκεκριμένο μοντέλο που πρέπει να συναρμολογηθεί. Εάν αρκετά μοντέλα που απαιτούν πολλή εργασία έρχονται το ένα μετά το άλλο σε έναν σταθμό εργασίας, ο χρόνος του κύκλου ίσως υπερβληθεί και προκύψει υπερφόρτωση, το οποίο θα πρέπει να αντισταθμιστεί από κάποιου είδους αντίδραση (σταμάτημα της γραμμής παραγωγής, βοηθητικοί εργάτες, επιδιορθώσεις εκτός γραμμής ή υψηλότερη ταχύτητα παραγωγής τοπικά). Αυτές οι υπερφορτώσεις μπορούν να αποφευχθούν εάν βρεθεί μια αλληλουχία μοντέλων τέτοια ώστε οι μεγάλοι χρόνοι εργασίας να ακολουθούνται από μικρούς χρόνους εργασίας σε κάθε σταθμό. Αυτό οδηγεί σε ένα βραχυπρόθεσμο ζήτημα αλληλουχίας.

Τα προβλήματα εξισορρόπησης και αλληλουχίας σε μια γραμμή παραγωγής είναι αλληλεξαρτώμενα. Ενώ η ισορροπία μιας γραμμής παραγωγής βασίζεται στην ανάθεση εργασιών σε σταθμούς και έτσι καθορίζει το περιεχόμενο εργασίας ανά σταθμό και μοντέλο, η αλληλουχία παραγωγής ενός δεδομένου μίγματος μοντέλων διαμορφώνεται σε αυτή τη βάση, με γνώμονα τις ελάχιστες υπερφορτώσεις. Το ποσό υπερφόρτωσης από μόνο του αποτελεί μέτρο της αποτελεσματικότητας για την ισορροπία γραμμής που επιτυγχάνεται (Rekiek & Delchambre, 2006). Γι' αυτό και έχει προταθεί από αρκετούς ερευνητές επί του θέματος αυτά τα δύο να λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα.

Μια τέτοια, ταυτόχρονη προσέγγιση είναι, ωστόσο βιώσιμη μόνο υπό πολύ ιδιαίτερες συνθήκες καθώς και τα δύο προβλήματα σχεδιασμού συχνά έχουν εντελώς διαφορετικά χρονικά πλαίσια. Η απόφαση σχετικά με την εξισορρόπηση είναι ένα πρόβλημα μακροπρόθεσμης και μεσοπρόθεσμης φύσης, με έναν συνήθη χρονικό ορίζοντα σχεδιασμού τους επτά μήνες. Έτσι, το μίγμα των μοντέλων που θα παράγονται βραχυπρόθεσμα (σε καθημερινή βάση για παράδειγμα) δεν είναι γνωστό

τότε. Οι αναλυτικές προγνώσεις για πωλήσεις μελλοντικών μοντέλων συχνά είναι επιρρεπείς σε αρκετές ανακρίβειες, ειδικά εάν τα συναρμολογούμενα προϊόντα βρίσκονται σε πρώιμες φάσεις του κύκλου ζωής τους. Δείχνει, έτσι, να έχει περισσότερο νόημα το να αναμένεται η λήψη απόφασης για την αλληλουχία στο υψηλότερο επίπεδο εξισορρόπησης εντός του πλαισίου μιας ιεραρχικής προσέγγισης σχεδιασμού (Scholl, 1999).

Για να μειωθούν οι δυσκολίες στον σχεδιασμό αλληλουχίας, η εξισορρόπηση γραμμής μπορεί, για παράδειγμα, να ελαχιστοποιήσει τις διακυμάνσεις στους χρόνους κάθε σταθμούς εργασίας σε όλα τα προϊόντα που παράγονται, κάτι που είναι γνωστό ως οριζόντια εξισορρόπηση. Εναλλακτικά, η εξισορρόπηση γραμμής μπορεί να επιβάλλει σε όλα τα παραγόμενα μοντέλα να έχουν τον ίδιο χρονικό κύκλο σε κάθε σταθμό. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει πως δεν μπορούν να προκύψουν ποτέ υπερφορτώσεις στη γραμμή και έτσι ο σχεδιασμός αλληλουχίας γίνεται πιο εύκολος. Ωστόσο, κάτι τέτοιο οδηγεί σε υψηλότερους κύκλους χρόνου, κάτι που μειώνει την έξοδο προϊόντων από τη γραμμή παραγωγής. Ίσως αποτελεί καλύτερη λύση το να επιβάλλεται κάτι τέτοιο μόνο σε μερικά μοντέλα, με βάση το ποσοστό στο οποίο εμφανίζονται στο συνολικό μίγμα μοντέλο που παράγονται.

Στην ALB, η περίπτωση του μικτού μοντέλου συχνά μετασχηματίζεται σε μια περίπτωση μονού μοντέλου με τη χρήση ενός γραφήματος κοινής προτεραιότητας. Εδώ, ο χρόνος επεξεργασίας των εργασιών που ποικίλλει για συγκεκριμένα μοντέλα μπορεί να εξισορροπηθεί και να πάρει μια μέση τιμή, αναφορικά με το πόσο συχνά ανακύπτουν τα εκάστοτε μοντέλα στο εκτιμώμενο μίγμα μοντέλων. Ύστερα, θα συντεθούν ώστε να σχηματίσουν ένα γράφημα μοναδικής προτεραιότητας. Εάν οι σχέσεις προτεραιότητας διαφέρουν ανάμεσα στα μοντέλα, αυτή η διαδικασία ίσως οδηγήσει σε συγκρούσεις που μπορούν και πάλι να επιλυθούν με τον διπλασιασμό των κόμβων στο μοντέλο.

### **Γραμμές συναρμολόγησης πολλαπλών μοντέλων**

Στην παραγωγή πολλών μοντέλων, η ομοιογένεια των συναρμολογούμενων προϊόντων και των παραγωγικών διεργασιών τους δεν είναι επαρκής ώστε να επιτρέψει προαιρετικές αλληλουχίες παραγωγής. Με σκοπό να αποφευχθούν χρόνοι στησίματος και κόστη, η συναρμολόγηση οργανώνεται σε φουρνιές (batches). Αυτό, οδηγεί σε ένα

βραχυπρόθεσμο πρόβλημα επιλογής του σωστού μεγέθους για τις φουρνιές αυτές, κάτι που ομαδοποιεί τα μοντέλα σε φουρνιές και αποφασίζει σχετικά με την αλληλουχία στη συναρμολόγησή τους.

Ειδικά εάν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες σε κάθε φουρνιά, η ισορροπία της γραμμής μπορεί να καθοριστεί κατ' αρχήν ξεχωριστά για κάθε μοντέλο, καθώς η σημαντικότητα των χρόνων στησίματος ανάμεσα στις φουρνιές είναι συγκριτικά μικρή. Ωστόσο, στην παραγωγή πολλαπλών μοντέλων υπάρχει ένας βαθμός ομοιότητας στις διαδικασίες παραγωγής. Τυπικά, τα διάφορα μοντέλα κατασκευάζονται από τις ίδιες πρώτες ύλες και μηχανήματα και τους ίδιους χειριστές. Εάν η ισορροπία της γραμμής καθορίζεται ξεχωριστά, αυτοί οι πόροι που διαμοιράζονται στα μοντέλα ίσως χρειαστεί να μετακινηθούν σε άλλους σταθμούς όταν το σύστημα παραγωγής στήνεται για μια νέα φουρνιά ή πρέπει να εγκατασταθεί πολλαπλές φορές. Αυτό αυξάνει τους χρόνους στησίματος και τα κόστη. Εάν αυτή η αλληλεξάρτηση ληφθεί υπόψη στην ισορροπία της γραμμής, οι χρόνοι στησίματος ίσως μειωθούν σημαντικά, κάτι που με τη σειρά του επιτρέπει τον σχηματισμό μικρότερων μερίδων στις φουρνιές, με όλα τα παρελκόμενα οφέλη.

Το ίδιο μπορεί να γίνει και όταν λαμβάνεται υπόψη η χειρωνακτική εργασία. Εάν οι ισορροπίες της γραμμής παραγωγής ληφθούν υπόψη ξεχωριστά, το περιεχόμενο της εργασίας ενός χειριστή μπορεί να αλλάξει σημαντικά με κάθε νέα παρτίδα που έρχεται. Αυτό οδηγεί σε μικρότερη εξειδίκευση της εργασίας και μπορεί να επιφέρει αυξημένα κόστη εκπαίδευσης και πρόσθετα απορρίμματα όποτε οι χειριστές καλούνται να προσαρμοστούν στις νέες τους εργασίες. Με τον καιρό, οι χειριστές θα μάθουν πώς να εκτελούν σε υψηλό επίπεδο την εργασία τους, έτσι οι χρόνοι επεξεργασίας είναι πιθανό να μειώνονται με τον καιρό. Έτσι, οι χρόνοι των δυναμικών εργασιών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν πρέπει να εξισορροπηθούν γραμμές παραγωγής πολλών μοντέλων, ώστε να λαμβάνονται υπόψη αυτές οι επιπτώσεις από τη μάθηση, όταν μια νέα παρτίδα ξεκινά.

Εάν όλα τα μοντέλα σε μια τέτοια γραμμή πολλαπλών προϊόντων πρέπει να εξισορροπηθούν ταυτόχρονα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικοί στόχοι παραγωγής για κάθε μοντέλο. Ακολούθως, οι χρόνοι των κύκλων εργασίας μπορούν να ποικίλουν με κάθε μοντέλο.

### 3.1.2 Σχέση του ALB με τον έλεγχο της γραμμής

#### **Γραμμή με ρυθμό**

Σε ένα σύστημα παραγωγής με ρυθμό, ένας τυπικός κύκλος εργασίας δίνεται, γεγονός που περιορίζει τους χρόνους επεξεργασίας σε όλους τους σταθμούς. Ο ρυθμός είτε διατηρείται με μια συσκευή χειρισμού που συνεχώς προχωρά τα υλικά, όπως ένας μάντας μεταφοράς, (κάτι που αναγκάζει τους χειριστές να τελειώσουν τις δουλειές τους πριν το προς επεξεργασία προϊόν φτάσει στο τέλος του αντίστοιχου σταθμού), είτε από μια διαλειμματική μεταφορά, όπου το προς κατασκευή προϊόν σταματά τελείως σε κάθε σταθμό εργασίας. Μόλις υπερβληθεί ένας καθορισμένος χρόνος, τότε το αντικείμενο αυτόματα μεταφέρεται στον επόμενο σταθμό. Οι εφαρμογές αυτής της προσέγγισης, σε πραγματικά δεδομένα, δεν επηρεάζουν συνήθως τις αποφάσεις περί εξισορρόπησης της γραμμής παραγωγής (Bożejko & Bocewicz, 2019).

Εάν η μεταφορά των αντικειμένων είναι συνεχής, τα μήκη των σταθμών εργασίας θα πρέπει να καθορίζονται σε συμφωνία με την ισορροπία της γραμμής. Το μήκος του σταθμού εργασίας ίσως υπόκειται σε τεχνικούς περιορισμούς, όπως από απαιτήσεις χώρου για τα μηχανήματα, αλλά θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη και από μια σχεδιαστική σκοπιά. Εάν το μήκος ενός σταθμού (πολλαπλασιασμένο με τον ρυθμό κίνησης της γραμμής) υπερβαίνει τον χρόνο ενός κύκλου εργασίας, ο επιπλέον χρόνος που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αναπληρωθούν αποκλίσεις στους χρόνους εργασίας είτε λόγω μιας παραγωγής μικτών μοντέλων ή από στοχαστικές διακυμάνσεις. Ακολουθώς, ο χρόνος του κύκλου δεν θα πρέπει πάντα να ελέγχεται αυστηρά σε έναν σταθμό. Στην περίπτωση των στοχαστικών χρόνων εργασίας, είναι επαρκές το να ολοκληρωθούν οι περιορισμοί του χρόνου του κύκλου με συγκεκριμένη πιθανότητα. Η επιλογή μιας κατάλληλης πιθανότητας εξαρτάται εν πολλοίς από το ποσό του επιπλέον χρόνου που είναι διαθέσιμος και τα κόστη τα οποία αυξάνονται όποτε οι επιχειρήσεις δεν μπορούν να ολοκληρωθούν (π.χ. έξοδα για παύση της γραμμής).

#### **Μη συγχρονισμένη γραμμή χωρίς ρυθμό**

Στις γραμμές χωρίς ρυθμό, τα προς κατασκευή αντικείμενα μεταφέρονται όποτε οι απαιτούμενες λειτουργίες ολοκληρώνονται, δηλαδή δεν δίνεται ένα συγκεκριμένο

χρονικό πλαίσιο για τη μεταφορά τους. Οι Buzacott και Shanthikumar (1993), διέκριναν επιπλέον τις περιπτώσεις όπου οι σταθμοί εργασίας μεταφέρουν τα αντικείμενα που επεξεργάζονται ταυτόχρονα (σύγχρονη μεταφορά) και εκείνες που ο κάθε σταθμός αποφασίζει ατομικά τη μεταφορά του αντικειμένου (ασύγχρονη μεταφορά).

Υπό ασύγχρονη κίνηση, ένα αντικείμενο που επεξεργάζεται πάντα κινείται μόλις όλες οι απαιτούμενες ενέργειες πάνω σε αυτό ολοκληρωθούν και ο διάδοχος σταθμός δεν εμποδίζεται από κάποιο άλλο αντικείμενο που επεξεργάζεται. Μετά τη μεταφορά, ο σταθμός εξακολουθεί να δουλεύει σε ένα νέο αντικείμενο, εκτός και εάν ο σταθμός που προηγείται αυτού δεν έχει ολοκληρώσει ακόμα την εργασία του. Με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν οι χρόνοι αναμονής, εντάσσονται κάποιοι αποθηκευτικοί χώροι ανάμεσα στους εκάστοτε σταθμούς εργασίας (buffers), όπου εναποτίθενται προσωρινά αντικείμενα προς επεξεργασία. Όταν πρέπει να ληφθεί απόφαση σχετικά με την εγκατάσταση αυτών των buffers, θα πρέπει να υπάρξει σκέψη για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ανάμεσα σε κόστη εγκατάσταση και επιτεύξιμη διακίνηση, επειδή το τελευταίο τείνει να αυξάνει με την εγκατάσταση περισσότερων και μεγαλύτερων buffers.

Τα buffers μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την διόρθωση τυχόν αποκλίσεων στους χρόνους εργασίας. Εάν ένας σταθμός είναι γενικά ταχύτερος από έναν άλλον, η χωρητικότητα του buffer θα πληρωθεί και θα χάσει την αξία της. Ακολουθώντας, η χρήση των άρρυθμων ασύγχρονων γραμμών με buffers έχει μόνο νόημα εάν ο σταθμός έχει χρόνους που υπόκεινται σε διακυμάνσεις οι οποίες ίσως προκύπτουν από στοχαστικούς χρόνους εργασίας ή/και βλάβες μηχανημάτων τα οποία είναι σχετικά ακόμα και στην περίπτωση των ντετερμινιστικών χρόνων εργασίας. Και πάλι, στην ALB προτείνεται να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι στοχαστικοί χρόνοι εργασίας που προκαλούνται είτε από αποκλίσεις στην ταχύτητα της χειρωνακτικής εργασίας είτε από το μίγμα των μοντέλων (Tempelmeier, 2003).

Αντί να ενσωματωθούν τέτοια μοναδικά γεγονότα όπως οι βλάβες των μηχανημάτων, τα οποία έχουν μικρή πιθανότητα αλλά τεράστιες συνέπειες στη λειτουργία της γραμμής, στην δουλειά του μακροπρόθεσμου και μεσοπρόθεσμου προγραμματισμού με την ALB, η δουλειά στον σχεδιασμό θα πρέπει να γίνεται στην

εξάλειψη των αιτιών των βλαβών και την τοποθέτηση και διαστασιολόγηση επαρκών αποθηκευτικών χώρων.

Στις άρρυθμες γραμμές, ο ρυθμός παραγωγής δεν δίνεται πλέον από έναν σταθερό χρόνο κύκλου, αλλά εξαρτάται από τους πραγματικούς χρόνους εργασιών. Αυτοί μπορούν να εκτιμηθούν όσο οι συναρτήσεις κατανομής είναι γνωστές, κάτι που ωστόσο επηρεάζεται σημαντικά από την κατανομή των buffers. Έτσι, ο σχεδιασμός της διαρρύθμισης ενός συστήματος συναρμολόγησης ασύγχρονου και άρρυθμου χρειάζεται να:

1. Καθορίζει την ισορροπία της γραμμής
2. Να κατανέμει τους αποθηκευτικούς χώρους
3. Να εκτιμά τη διανομή (ή/και επιπλέον μέτρα αποτελεσματικότητας)

Λόγω των ισχυρών αλληλεξαρτήσεων ανάμεσα σε όλα αυτά τα τρία σχεδιαστικά προβλήματα, μια ταυτόχρονη λύση σίγουρα θα ήταν επιθυμητή. Μέχρι τώρα, οι προσεγγίσεις του θέματος στη βιβλιογραφία αποφεύγουν την προκύπτουσα πολυπλοκότητα και προτιμούν περισσότερο μεμονωμένα σημεία. Στις προσεγγίσεις αυτές, η ισορροπία της γραμμής είναι τυπικά δεδομένη, έτσι ώστε οι χρόνοι των σταθμών και η αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής να είναι γνωστά. Ο διαδοχικός σχεδιασμός της ισορροπίας της γραμμής και της κατανομής των buffer πιθανότατα δεν θα οδηγήσει σε ένα συνολικό βέλτιστο του όλου συστήματος. Ήδη, μικρές αλλαγές στο περιεχόμενο της εργασίας σε έναν σταθμό μπορούν να οδηγήσουν σε μια πιο αποτελεσματική κατανομή αποθηκευτικών χώρων και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Οι βέλτιστες τοποθετήσεις των buffers θα μπορούσαν να καθοριστούν κατ' εξακολούθηση για ποικίλες ισορροπίες γραμμής ή και τα δύο προβλήματα ίσως να λύνονται ταυτόχρονα, π.χ. σε μια προσέγγιση προσομοίωσης – βελτιστοποίησης. Η κατάλληλη ενσωμάτωση όλων των τριών προβλημάτων είναι σίγουρα ένα πεδίο μελλοντικής έρευνας γεμάτο προκλήσεις και δυσκολίες.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση, στα ασύγχρονα άρρυθμα συστήματα, η εξισορρόπηση γραμμής είναι σημαντική στο να διασφαλίσει ομαλά φορτία στους σταθμούς, τουλάχιστον μακροπρόθεσμα. Έτσι, φαίνεται πως είναι επαρκές το να περιοριστεί ο χρόνος εργασίας των σταθμών από έναν χρόνο κύκλου, όπως ακριβώς

στις γραμμές ρυθμού, ακόμα και αν η κίνηση της εργασίας δεν θα ελέγχεται από τον χρόνο του κύκλου αργότερα.

### **Άρρυθμες σύγχρονες γραμμές**

Υπό τη σύγχρονη κίνηση των αντικειμένων εργασίας, όλοι οι σταθμοί περιμένουν για τον πιο αργό σταθμό να τελειώσει όλες τις λειτουργίες του πριν τα κομμάτι να μεταφερθούν στο ίδιο χρονικό σημείο. Αντίθετα με τις περιπτώσεις των ασύγχρονων γραμμών, τα buffers εδώ δεν απαιτούνται.

Εάν οι χρόνοι των εργασιών είναι ντετερμινιστικοί, η σύγχρονη, άρρυθμη γραμμή μπορεί να αντιμετωπιστεί όπως ακριβώς με γραμμή με ρυθμό με διαλειμματικές μεταφορές, καθώς ο κύκλος χρόνου καθορίζεται από τον πιο βραδύ σταθμό. Στην στοχαστική περίπτωση, υπάρχουν σημαντικές ομοιότητες με την γραμμή εν ρυθμό, κάτι που σταματά να συμβαίνει όταν ο χρόνος ενός κύκλου εκπνέει. Μια άρρυθμη γραμμή μπορεί, ωστόσο, να προχωρήσει εάν οι λειτουργίες εκτελούνταν απροσδόκητα γρήγορα και δεν υπήρχε ανάγκη για αναμονή για να παρέλθει ένα σταθερό χρονικό κομμάτι. Γι' αυτό μια άρρυθμη σύγχρονη γραμμή υπόσχεται μεγαλύτερες εξόδους από την ένρυθμη ομόλογό της.

Η μεταβλητή έξοδος, και πάλι, περιπλέκει σημαντικά την εξισορρόπηση της γραμμής ισορροπίας. Μερικές προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία ασχολούνται με την εκτίμηση της διακίνησης σε ένα τέτοιο στήσιμο γραμμής παραγωγής. Οι προσεγγίσεις αυτές επιτρέπουν για μια επιλογή μέσα από διάφορες ισορροπίες γραμμής. Ωστόσο, τα εξελιγμένα μοντέλα εξισορρόπησης πρέπει να διερευνήσουν τον καθορισμό της διακίνησης και την εξισορρόπηση της γραμμής. Μέχρι στιγμής, μόνο τα μοντέλα των Karabatı και Sayin (2003) καθώς και αυτά των Urban και Chiang (2006) έχουν προτείνει συνδυασμένα μοντέλα και διαδικασίες επίλυσης. Υπάρχει, άρα, μεγάλο περιθώριο για μελλοντική έρευνα σχετικά με αυτά τα συστήματα συναρμολόγησης.

#### **3.1.3 Σχέση του ALB με το επίπεδο αυτοματισμού**

### **Χειροκίνητες γραμμές**



Παρά τη μεγάλη πρόοδο που έχει γίνει στον αυτοματισμό στις διαδικασίες συναρμολόγησης, υπάρχουν ακόμα πολλά συστήματα συναρμολόγησης τα οποία βασίζονται κατά κύριο λόγο ή εντελώς στη χειρωνακτική εργασία. Οι γραμμές αυτές είναι ιδιαίτερα κοινές σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα που κατασκευάζονται είναι ιδιαίτερα εύθραυστα ή χρειάζεται να «πιάνονται» συχνά, με τα βιομηχανικά ρομπότ να μην έχουν τα απαραίτητα επίπεδα ακρίβειας (Bi & Zhang, 2001). Σε χώρες όπου οι μισθοί είναι εν γένει χαμηλοί, η χειρωνακτική εργασία μπορεί να αποτελέσει μια φτηνή εναλλακτική για τα ακριβά, αυτοματοποιημένα μηχανήματα.

Οι χρόνοι εργασίας στη χειρωνακτική εργασία συχνά υπόκεινται σε στοχαστικές αποκλίσεις καθώς η απόδοση των ανθρώπων εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, όπως το κίνητρο, το εργασιακό περιβάλλον ή η ψυχολογική και σωματική καταπόνηση. Η έλλειψη κινήτρων και το χαμηλό επίπεδο ικανοποίησης, το οποίο συνήθως προκαλείται από την υψηλή επαναληψιμότητα βασικών εργασιών θεωρούνται ως τα βασικά μειονεκτήματα της παραγωγής σε γραμμές. Είναι επιθυμητό, λοιπόν, το να ανατίθενται πακέτα συνεκτικών εργασιών στους εργάτες, όπως η συνολική συναρμολόγηση ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Μέχρι στιγμής, το επίπεδο συνοχής ενός σετ εργασιών μετριέται περίπου από τον αριθμό των άμεσων σχέσεων προτεραιότητας ανάμεσα στις δουλειές που περιλαμβάνονται στο σετ αυτό. Αυτή η προσέγγιση φαίνεται πως είναι ανακριβής ή τουλάχιστον απαιτεί μια εμπειρική επιβεβαίωση. Μια σαφής μελέτη της συνεκτικότητας των εργασιών αναφορικά με τα τμήματα και τις υπο-συναρμολογήσεις δίνεται από τους Shtub & Dar-El (1990).

Η φυσική (δύναμη κρατήματος) και η ψυχολογική (κούραση) καταπόνηση που αντιμετωπίζει ο εργάτης μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη μορφή επιπλέον βαρύτητας στους κόμβους σε ένα γράφημα διαδοχής. Σε κάθε εργασία ανατίθεται ένας συγκεκριμένος δείκτης καταπόνησης, ο οποίος μπορεί να μην υπερβαίνει ή να πέφτει πιο χαμηλά από ένα συνολικό επίπεδο για όλες τις εργασίες που ανατίθενται στον εργαζόμενο. Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη χειρωνακτική εργασία είναι η ατομική εμπειρία που έχει ο εργαζόμενος. Γι' αυτό τα κέρδη από τη μάθηση αποκτούν ειδική σημασία στη χειρωνακτική εργασία, καθώς ενδέχεται να οδηγήσουν σε δυναμικούς χρόνους εργασίας.

Λόγω της πολυπλοκότητας και των προβλημάτων στην ποσοτικοποίηση, αποτελεί ερωτηματικό το εάν μια αναλυτική μελέτη όλων των αναφερόμενων πλευρών

οδηγεί σε ένα μοντέλο ALB που να έχει νόημα και πρακτική σημασία. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό της χειρωνακτικής εργασίας που μπορεί να αξιοποιηθεί πιο εύκολα είναι το επίπεδο της ευελιξίας. Οι χειριστές παρακείμενων σταθμών μπορούν για παράδειγμα να υποστηριχθούν μεταξύ τους στην περίπτωση υπερφόρτωσης. Αυτό μπορεί να εκμεταλλευθεί άμεσα σε συγκεκριμένες διαρρυθμίσεις γραμμής, όπως είναι οι U, που προκύπτουν από το σύστημα παραγωγής της Toyota. Σε μια τέτοια γραμμή, οι δύο πτέρυγες της τοποθετούνται κοντά μεταξύ τους ώστε να σχηματιστεί ένα στενό σχήμα U, ώστε οι εργάτες να μπορούν να διεξάγουν εργασίας και στις δύο πτέρυγες στον ίδιο παραγωγικό κύκλο. Αυτό αυξάνει τον βαθμό ελευθερίας για τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν για την εξισορρόπηση της γραμμής. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας εργάτης να μετακινηθεί από τη μία πλευρά στην άλλη μπορεί να πρέπει να ληφθεί υπόψη όπως και να 'χει, όταν φτάνει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο.

Τυπικά, τα κόστη των μισθών αποτελούν τον υψηλότερο παράγοντα κόστους εάν χρησιμοποιείται εκτενώς η χειρωνακτική εργασία. Θα πρέπει να διερευνάται, ωστόσο, εάν η ισορροπία της γραμμής έχει άμεση επιρροή στα κόστη των μισθών. Εάν όλοι οι χειριστές αξιοποιούνται, όπως συνήθως συμβαίνει, και εναλλακτικές εργασίες για εργάτες εκτός γραμμής δεν είναι εφικτές, η ισορροπία της γραμμής μπορεί να μην έχει κάποια επίπτωση στα κόστη μισθών. Μερικές φορές, το κόστος μισθών μπορεί να επηρεαστεί από τα διαφορετικά επίπεδα γνώσης και ικανότητας που απαιτούνται από τις πιο απαιτητικές εργασίες που θα πρέπει να κάνει ένας εργαζόμενος. Στην περίπτωση αυτή, η ανάθεση της εργασίας σε εργάτες μπορεί να διαφοροποιήσει σημαντικά τα κόστη των μισθών, αθροίζοντας τις πιο απαιτητικές εργασίες όσο πιο πολύ γίνεται.

Η ποιότητα των αντικειμένων που κατασκευάζονται είναι επίσης μεγάλης σημασίας εάν οι εργασίες γίνονται χειρωνακτικά. Καθώς είναι αρκετά δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η ποιότητα, μπορεί να ληφθεί υπόψη μόνο εμμέσως. Στη χειρωνακτική εργασία, η ποιότητα συχνά αντιμετωπίζει προβλήματα εάν οι χειριστές υπερφορτώνονται με εργασία και πρέπει έτσι να δουλεύουν ταχύτερα (Štofoná and Szaryszoná, 2017). Συνεπώς, είναι επιθυμητό το να διασφαλίζεται πως ο συνολικός φόρτος εργασίας κατανέμεται όσο πιο ισάξια γίνεται ανάμεσα στους σταθμούς.

### **Αυτοματοποιημένες γραμμές**

Οι πλήρως αυτοματοποιημένες γραμμές εφαρμόζονται όταν το εργασιακό περιβάλλον είναι ανθυγιεινό και εχθρικό προς τους ανθρώπους, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές βαφής στην αυτοκινητοβιομηχανία ή όπου τα βιομηχανικά ρομπότ είναι ικανά να κάνουν δουλειές πιο οικονομικά και με μεγαλύτερη ακρίβεια (εργασίες επεξεργασίας μετάλλων). Η μεγαλύτερη ακρίβεια των μηχανημάτων συνήθως δικαιολογεί την υπόθεση των ντετερμινιστικών χρόνων εργασιών. Εάν χρησιμοποιούνται μονάχα εξειδικευμένα μηχανήματα (δηλαδή όπου κάθε εργασία απαιτεί ένα δικό της εργαλείο ή μηχανήμα), πολύ λίγες ιδιαιτερότητες προκύπτουν από το γεγονός πως οι μηχανές είναι αυτές που κάνουν τη δουλειά.

Ωστόσο, η αυξανόμενη διαφοροποίηση των προϊόντων και η εξατομίκευσή τους, δηλαδή το γεγονός πως υπάρχει ένα μίγμα μοντέλων στην ίδια γραμμή παραγωγής οδηγεί στην ευελιξία ακόμα και στις αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής. Αυτό δίνει πάτημα στις ευέλικτες γραμμές μεταφοράς όπου μηχανήματα πολλαπλών σκοπών με αυτοματοποιημένες αλλαγές εργαλείων μπορούν να εκτελέσουν μια σειρά διαφορετικών εργασιών με εναλλασσόμενες ταχύτητες. Λόγω των μεγάλων εξόδων επένδυσης για μηχανήματα καθολικής χρήσης (universal), ο στόχος της ελαχιστοποίησης κόστους λαμβάνει μεγαλύτερη σημασία.

Εάν περισσότερα από ένα μηχανήματα πολλαπλών σκοπών μπορούν να διεκπεραιώσουν μια εργασία με διαφορετική απόδοση, η επεξεργασία εναλλακτικών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη της. Ως συνέπεια, η ανάθεση εργασιών στους σταθμούς αυξάνεται από το πρόβλημα επιλογής του εξοπλισμού σε κάθε σταθμό. Αυτή η επιλογή, άρα, καθορίζει τους χρόνους εργασίας στον αντίστοιχο σταθμό, όπως επίσης και τα κόστη επενδύσεων (Bolz, 2012).

Επιπλέον, οι περιορισμοί στην ανάθεση εργασιών συχνά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, καθώς μερικές εργασίες μπορεί να γίνεται να διεξαχθούν μόνο από ένα υποσύνολο διαθέσιμων μηχανισμών ή δεν μπορούν να διεκπεραιωθούν στο ίδιο μηχάνημα καθόλου. Η αυτοματοποιημένη αλλαγή εργαλείων μπορεί επίσης να απαιτήσει ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, το οποίο μπορεί να εξαρτάται επιπλέον από την αλληλουχία των προς επεξεργασία κομματιών και τα απαιτούμενα εργαλεία τους. Παρομοίως, τα κομμάτια που παράγονται συχνά θα πρέπει να φορτώνονται στον σταθμό εργασίας, πριν οποιαδήποτε δουλειά πάνω σε αυτά λάβει χώρα. Εν τέλει, οι

διαθέσιμες θέσεις εργαλείων μπορεί να περιορίζονται ως προς το μέγεθος των εργαλείων που μπορούν να υποδεχτούν, έτσι ώστε η διαθέσιμη δυναμικότητα γίνεται ένας περιοριστικός παράγοντας όταν ανατίθενται εργασίες σε έναν σταθμό.

Επιπρόσθετα, οι σύγχρονες μηχανές πολλαπλών σκοπών δίνουν τη δυνατότητα για νέες μορφές παραλληλισμών. Μια μηχανή ίσως για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιεί αρκετές κεφαλές εργαλείων ταυτόχρονα, άρα μπορεί να εκτελέσει ταυτόχρονα πολλαπλές εργασίες πάνω στο ίδιο κομμάτι.

Σε μια αυτοματοποιημένη γραμμή, οι βλάβες των μηχανισμών είναι ένα σχετικό ζήτημα του σχεδιασμού, όχι μόνο στον βραχυπρόθεσμο έλεγχο και σχεδιασμό αλλά και στον σχεδιασμό διαμόρφωσης των γραμμών συναρμολόγησης. Και πάλι, δεν είναι βέβαιο το εάν το ALB είναι το σωστό σημείο ώστε να λαμβάνονται υπόψη τέτοιες βλάβες. Η παρούσα έλλειψη έρευνας πάνω στο ALB θεωρώντας δεδομένες τις μηχανές είναι ένας επιπλέον δείκτης πως το ALB δεν έχει τα κατάλληλα εργαλεία ώστε να αμβλύνει τις επιπτώσεις των βλαβών. Αντίθετα, μια αντίστοιχη τοποθέτηση και διαστασιολόγηση των buffers δείχνει ακόμα πιο κατάλληλη ώστε να διατηρηθεί η διακίνηση παρά τις βλάβες.

## 3.2 Ειδικές περιπτώσεις γραμμών συναρμολόγησης

### 3.2.1 Πολυάνθρωπη γραμμή συναρμολόγησης

Μια ειδική περίπτωση γραμμής παραγωγής, την οποία θα δούμε στο παρόν υποκεφάλαιο είναι και οι γραμμές συναρμολόγησης με πολλούς εργαζόμενους, καθώς και τους περιορισμούς (χρονικούς χωρικούς) που υπάρχουν γύρω από την εξισορρόπησή της.

Τα ALB (Assembly Line Balancing) είναι παραδοσιακά προβλήματα του κόσμου της βιομηχανίας. Κατά τη διαχείρισή τους, υποθέτουν πως μια γραμμή παραγωγής παράγει μαζικά ένα ομοιογενές προϊόν και είναι μια σειριακή γραμμή, με μια πλευρά, με σταθμούς εργασίας του ενός εργάτη. Αυτά τα στοιχεία όμως, ενδέχεται να είναι μη ρεαλιστικά σε κάποιες βιομηχανίες. Όντως, τα τελευταία χρόνια, επιστήμονες και ερευνητές δίνουν μεγαλύτερη προσοχή σε πιο ρεαλιστικά προβλήματα προσπαθώντας να λάβουν υπόψη επιπλέον χαρακτηριστικά μέσα στο πρόβλημα ALB. Ένα από τα σύγχρονα προβλήματα ALB είναι αυτό της πολυάνθρωπης εξισορρόπησης

γραμμής συναρμολόγησης (MALB). Στο πρόβλημα αυτό, περισσότεροι του ενός χειριστή κάνουν πολλαπλές εργασίες στους ίδιους σταθμούς. Ο αποδεκτός μέγιστος αριθμός χειριστών σε κάθε πολυάνθρωπο σταθμό καθορίζεται εκ των προτέρων από τον σχεδιαστή του συστήματος ανάλογα με την πραγματική παραγωγή της μονάδας. Το πρόβλημα MALB συνήθως μοντελοποιεί τις βιομηχανίες αυτές με μεγάλα μεγέθη και υψηλούς όγκους παραγωγής, όπως είναι για παράδειγμα οι αυτοκινητοβιομηχανίες. (Δημητριάδης, 2006). Το MALB είναι περισσότερο προτιμητέο και ρεαλιστικό από το παραδοσιακό ALB επειδή μειώνει το μήκος της γραμμής παραγωγής, τον χρόνο για τη διακίνηση των παραγόμενων από σταθμό σε σταθμό, το κόστος των εργαλείων, τον χειρισμό και επεξεργασία των υλικών, την κίνηση των εργαζόμενων και τον χρόνο στησίματος των μηχανών.

Το πρόβλημα MALB μελετήθηκε και ήρθε στο προσκήνιο της ακαδημαϊκής κοινότητας από τον Δημητριάδη (2006). Στη συνέχεια, οι Fatahi et al (2010) ανέπτυξαν ένα μικτό μαθηματικό μοντέλο και έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών ώστε να ελαχιστοποιήσουν τον συνολικό αριθμό εργατών ως πρώτο στόχο, όπως επίσης και τον αριθμό των σταθμών εργασίας ως επόμενο στόχο. Το 2013, οι Roshani et al σχεδίασαν έναν αλγόριθμο για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας της γραμμής, το μήκος και τον δείκτη ομαλότητας του MALB.

Πέρα από το παραδοσιακό MALB, το πρόβλημα έχει επεκταθεί και σε πολλές πλευρές. Για παράδειγμα, οι Yilmaz & Yilmaz (2015) έλαβαν υπόψη τους περιορισμούς εξισορρόπησης φορτίου στο δικό τους πρόβλημα MALB. Οι Roshani & Ghazi Nezami (2017) εισήγαγαν και μοντελοποίησαν μικτή παραγωγή σε ένα πρόβλημα MALB και ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο για να ελαχιστοποιήσουν τον συνολικό αριθμό εργατών και σταθμών. Οι Chen, Cheng & Li (2018) πρότειναν ένα προγραμματιστικό μοντέλο για το MALB με περιορισμό στους πόρους. Υπέθεσαν πως η παραγωγή στο εργοστάσιο απαιτεί τη χρήση ειδικευμένων μηχανημάτων και εξοπλισμού, εργαλείων και χειριστών με εξειδικευμένες γνώσεις. Πράγματι, όταν ανατίθενται οι εργασίες στους σταθμούς, οι πόροι αυτοί επίσης κατανέμονταν σε αυτούς. Οι Lopes et al. (2019) μελέτησαν προβλήματα MALB για ευέλικτες γραμμές και σχεδίασαν μια ευρετική, βασισμένη σε μοντέλο διαδικασία για να μειώσουν το μήκος της γραμμής. Οι Sahin & Kellegoz (2019) διερεύνησαν την επένδυση πόρων και την εξισορρόπηση πολυάνθρωπων γραμμών παραγωγής και προσάρμοσαν σε έναν

αλγόριθμο πλήθους σωματιδίων μια ειδική δομική ευρετική ώστε να μειώσουν το κόστος των σταθμών εργασίας και των απαιτούμενων ανανεώσιμων πόρων.

Οι Bautista & Pereira (2007) πρότειναν αρχικά την εισαγωγή των χωρικών περιορισμών στο πρόβλημα της εξισορρόπησης της γραμμής παραγωγής. Ονόμασαν αυτό το νέο πρόβλημα ως πρόβλημα χρονικής και χωρικής εξισορρόπησης γραμμής παραγωγής (TSALBP) και πρότειναν ένα μαθηματικό μοντέλο και έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών ώστε να το επιλύσουν. Επιπλέον, διαίρεσαν επίσης το πρόβλημα σε 8 κατηγορίες, ανάλογα με την μεταβλητή που πρέπει να βελτιστοποιηθεί (αριθμό σταθμών, τους κύκλους χρόνους και/ή τις επιτρεπόμενες πληροφορίες για τον χώρο). Έκτοτε, οι Bautista & Pereira (2011) πρότειναν μια προσαρμογή στον δυναμικό προγραμματισμό, επιλύοντας το TSALBP-1. Στη μέθοδο αυτή, σχεδίασαν διαφορετικά χαμηλότερα όρια ώστε να αξιολογήσουν την ποιότητα των αποκτώμενων λύσεων. Αργότερα, πολλές περισσότερες μετα-ευρετικές, πολλαπλών στόχων, αναπτύχθηκαν ώστε να επιλύσουν τα προβλήματα χρόνου και χώρου στις γραμμές συναρμολόγησης, όπως γενετικός αλγόριθμος (Chica, Cordon & Damas, 2011), μιμητικός αλγόριθμος (Chica et al., 2012) αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών (Rada-Vilela, Chica, Cordon & Damas, 2013) και εξελικτικοί αλγόριθμοι (Chica et al., 2016).

Σημειώνεται πως στο πρόβλημα της εξισορρόπησης μιας γραμμής παραγωγής, υπάρχουν τρεις μέθοδοι επίλυσης: **ακριβείς**, **ευρετικοί** και **μεθευρετικοί**. (Zhang et al., 2018). Οι ακριβείς περιορισμοί (όπως οι σχέσεις προτεραιότητας, οι περιορισμοί χώρου και πολλών ανθρώπων) κάνουν το πρόβλημα δύσκολο, έτσι οι ακριβείς μέθοδοι συνήθως δεν είναι κατάλληλες για την επίλυση προβλημάτων μεγάλης κλίμακας και συχνά δεν μπορούν να λάβουν ούτε μια εφικτή λύση. Οι ευρετικές είναι βολικές ως λύσεις αλλά μερικές φορές δεν πετυχαίνουν ικανοποιητικές λύσεις. Οι ιδανικές λύσεις φέρεται πως προκύπτουν από τις μεθευρετικές μεθόδους παρά τους περιορισμούς κλίμακας. Ο ακριβής μηχανισμός έρευνας μιας μεθευρετικής μεθόδου (όπως η ACO) μπορεί να βρει μια νέα λύση, καθοδηγούμενη από τις τοπικές και καθολικές φερομόνες με εποικοδομητικό τρόπο, ιδανικό για προβλήματα με πολλούς περιορισμούς. Η μιμητική εκδοχή του ACO και η τοπική αναζήτηση εξασφαλίζουν επίσης μια βολική ικανότητα ελέγχου σε τοπικό και διεθνές επίπεδο. Οι Fattahi et al., (2010) χρησιμοποίησαν ACO για να επιλύσουν το πρόβλημα εξισορρόπησης σε πολυάνθρωπες γραμμές, οι Bautista & Pereira (2011) και Chica et al., (2010)

χρησιμοποίησαν ACO ώστε να επιλύσουν προβλήματα εξισορρόπησης γραμμής πολλαπλών χρονικών και χωρικών στόχων.

Σε μια τυπική γραμμή συναρμολόγησης, πολλαπλών ατόμων, όλες οι εργασίες πρέπει να ανατεθούν σε μια σειρά πολυάνθρωπων σταθμών παραγωγής. Υπάρχουν  $u_{\max}$  χειριστές που ταυτόχρονα εκτελούν όλες τις διαφορετικές εργασίες της γραμμής παραγωγής. Κάθε εργασία  $i$  απαιτεί έναν χρόνο επεξεργασίας  $t_i$  και έχει ένα σετ άμεσων προκατόχων  $P(i)$ . Κάθε εργασία ανατίθεται μόνο σε έναν σταθμό και ο πλήρης χρόνος της στον σταθμό δεν ξεπερνά τον κύκλο εργασίας. Για κάθε ζεύγος εργασιών  $(i, h)$  (όπου  $h$  ανήκει  $P(i)$ ), ο δείκτης του σταθμού εργασίας που έχει αναλάβει την εργασία  $h$  θα πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με αυτόν που έχει την εργασία  $i$ . Εάν αυτές ανατεθούν στον ίδιο σταθμό, ο χρόνος έναρξης της εργασίας  $i$  δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από τον χρόνο λήξης της εργασίας  $h$ . Αφού επιτρέπεται ένας αριθμός εργαζόμενων  $u_{\min}$  σε έναν μόνο σταθμό, κάθε δουλειά θα πρέπει να ανατίθεται σε ακριβώς έναν εργαζόμενο και ο χρόνος έναρξης και ολοκλήρωσης της εργασίας θα πρέπει επίσης να καθορίζεται όταν ανατίθενται εργασίες.

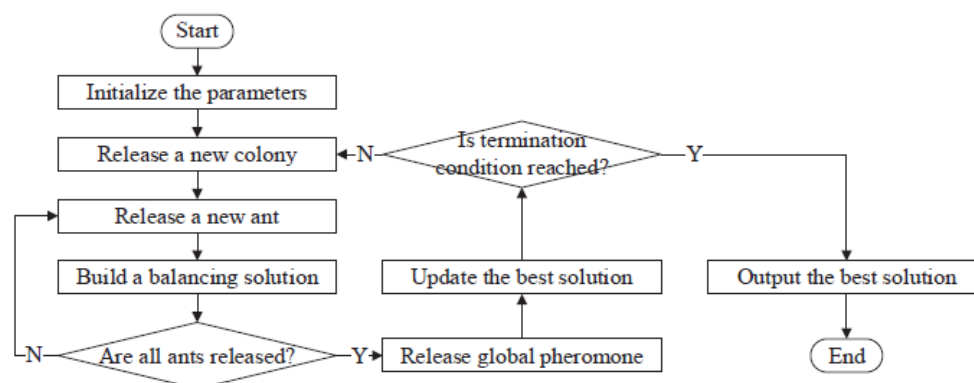
Στην TSALB με πολυάνθρωπους σταθμούς εργασίες, οι χωρικοί περιορισμοί λαμβάνονται υπόψη, μιας και το μήκος των σταθμών είναι περιορισμένο και τα απαιτούμενα εργαλεία και συστατικά καταλαμβάνουν τον χώρο του σταθμού. Πέρα από την πρόσδοση χρόνου σε μια εργασία  $i$ , θα πρέπει να σχετίζεται αυτή και με μια μεταβλητή για τον απαιτούμενο χώρο  $a_i$ . Μια καθολική διαθέσιμη περιοχή  $A$  καθορίζεται ώστε να περιοριστεί ο χώρος κάθε σταθμού. Ο απαιτούμενος χώρος για κάθε σταθμό είναι ίσος με το άθροισμα των χώρων των εργασιών που ανατίθεται στον σταθμό αυτό και δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από την καθολική μεταβλητή διαθέσιμου χώρου.

Δεδομένου του αποδεκτού μέγιστου αριθμού των εργαζόμενων σε κάθε σταθμό εργασίας, τον χρόνο κύκλου, την καθολική διαθέσιμη περιοχή και το σετ των εργασιών με πληροφορίες χώρου και χρόνου επεξεργασίας και γραφήματος προτεραιότητας, όλες οι εργασίες θα πρέπει να ανατίθενται στους σταθμούς με τέτοιο τρόπο ώστε να εκπληρώνεται ο περιορισμός της ανάθεσης εργασίας, ο περιορισμός της σχέσης διαδοχής, ο περιορισμός του χρόνου του κύκλου και ο περιορισμός του χώρου.

Οι λεπτομέρειες του προτεινόμενου αυτού μοντέλου παρουσιάζονται ευθύς αμέσως:

### Υποθέσεις και σημειώσεις

1. Μόνο ένας τύπος προϊόντος κατασκευάζεται στις πολυάνθρωπες γραμμές συναρμολόγησης
2. Οι χρόνοι επεξεργασίας των εργασιών και οι σχέσεις διαδοχής ανάμεσα στις εργασίες γνωρίζονται ντετερμινιστικά
3. Οι χρόνοι μετακίνησης των χειριστών αγνοούνται
4. Ο χρόνος κύκλου διορθώνεται κατά τη διάρκεια των πολυάνθρωπων γραμμών συναρμολόγησης
5. Παράλληλες εργασίες και παράλληλοι σταθμοί εργασίας δεν επιτρέπονται
6. Κάθε εργασία θα πρέπει να ανατίθεται σε έναν μόνο σταθμό
7. Ο μέγιστος αριθμός χειριστών σε κάθε σταθμό καθορίζεται



Εικόνα 5: Το περίγραμμα ενός αλγορίθμου αποικίας μυρμηγκιών (ACS) (πηγή: Zhang et al., 2020)

Οι Zhang et al., (2020) χρησιμοποίησαν σύστημα αποικίας μυρμηγκιών ώστε να επιλύσουν ένα παρόμοιο πρόβλημα για πολυάνθρωπη γραμμή παραγωγής, όπου υπάρχουν χωρικοί και χρονικοί περιορισμοί. Ο αλγόριθμος ACS ξεκινά με μια αποικία μυρμηγκιών με προκαθορισμένο αριθμό μυρμηγκιών. Κάθε ένα απ' αυτά προσπαθεί να αναθέσει εργασίες σε σταθμούς εργασίας σύμφωνα με τις φερομόνες και τους περιορισμούς που σχετίζονται με το πρόβλημα TSALB στους πολυάνθρωπους σταθμούς εργασίας, έτσι ώστε να δομήσει μια εφικτή λύση. Διαδοχικά, η καθολική



φερομένη και η βέλτιστη λύση ανανεώνονται. Οι διαδικασίες αυτές επαναλαμβάνονται μέχρι να επέλθει μια κατάσταση τερματισμού.

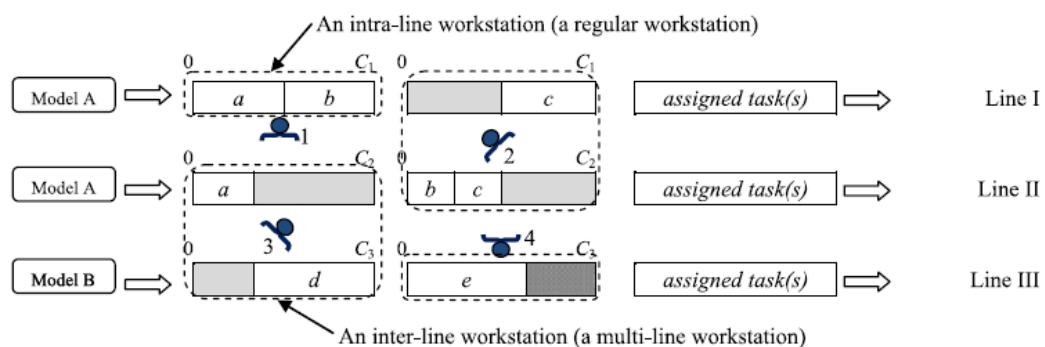
Ως ένα γενικό συμπέρασμα, οι πολυάνθρωποι σταθμοί εργασίας είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη επιλογή για μεγάλα μεγέθη και υψηλούς όγκους γραμμής παραγωγής ώστε να μειώνεται το μήκος της γραμμής και το ποσό του χρόνου που χρειάζεται για τη μεταφορά των αντικειμένων. Η θεώρηση δύο χαρακτηριστικών (χώρος και χρόνος) για τις εργασίες στα προβλήματα εξισορρόπησης της γραμμής εργασίας βρίσκεται η ευθυγράμμιση με την παραγωγή σε πραγματικές συνθήκες στις βιομηχανίες. Ωστόσο, δεν υπήρχε έρευνα σχετικά με τους πολυάνθρωπους σταθμούς, συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες για τον χώρο και τον χρόνο στις γραμμές αυτές. Ένα από τα πρώτα βήματα στο πεδίο αυτό είναι η μελέτη των Zhang et al (2020), η οποία μελέτησε το συγκεκριμένο πρόβλημα βάζοντας 6 περιορισμούς, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Μελλοντικές έρευνες στο ζήτημα αυτό μπορούν να ασχοληθούν με επέκταση του τωρινού μοντέλου ώστε να λαμβάνονται υπόψη αβέβαιες ζητήσεις στους πολυάνθρωπους σταθμούς.

### 3.2.2 Παράλληλη γραμμή συναρμολόγησης

Στο σημερινό ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι γραμμές συναρμολόγησης μερικές φορές αποδεικνύονται ανεπαρκείς ώστε να συμβαδίσουν με τις απαιτήσεις και τις προσμονές των πελατών. Είναι απαραίτητο να αυξηθεί η ευελιξία των γραμμών με σκοπό να ανταποκριθεί μια βιομηχανία στις απαιτήσεις αυτές και να κερδίσει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Σε ακαδημαϊκές έρευνες τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να εμφανίζεται αρκετά ένας νέο σχεδιασμός γραμμής, η παράλληλη γραμμή συναρμολόγησης. Στην περίπτωση αυτή, οι γραμμές συναρμολόγησης μπορούν να σχεδιαστούν παράλληλα η μια με την άλλη και μπορούν να εξισορροπηθούν μεταξύ τους. Τα ίδια ή και διαφορετικά μοντέλα προϊόντων μπορούν να παράγονται σε κάθε γραμμή με ίδιους ή και διαφορετικούς χρόνους κύκλου. Δύο προβλήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονα, έτσι ώστε οι παράλληλες γραμμές παραγωγής να αξιοποιούνται αποτελεσματικά. Το πρώτο πρόβλημα είναι αυτό της εξισορρόπησης της παράλληλης γραμμής (PALB) και το δεύτερο είναι ο χρονοπρογραμματισμός των εργασιών σε κάθε σταθμό (Nof et al, 2012). Υπάρχουν δύο είδη σταθμών: τα πρώτα είναι οι ενδογραμμικοί σταθμοί και το δεύτερο είναι οι διαγραμμικοί σταθμοί. Στην πρώτη περίπτωση, ένας χειριστής εκτελεί την εργασία του σε μια γραμμή. Ωστόσο, σε

έναν διαγραμμικό σταθμό, ένας χειριστής εκτελεί εργασίες σε δύο γειτνιάζουσες γραμμές. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να γίνουν εργασίες χρονοπρογραμματισμού στους σταθμούς εργασίας σε σταθμούς διαγραμμικούς.

Στις γραμμές συναρμολόγησης, μπορεί να οριστεί ένα setup ως μέρος των δραστηριοτήτων ώστε να γίνει μια εργασία, όπως κινήσεις, επιλογή νέου εργαλείου συναρμολόγησης, λήψη θέσεως με σκοπό τη χρήση της πιο ταιριαστής διαδικασίας εγκατάστασης, το καθάρισμα, η επιθεώρηση των στηριγμάτων, το στήσιμο των εργαλείων κ.α. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε να εκτελεστεί μια δραστηριότητα στησίματος ονομάζεται *χρόνος στησίματος*. Τα στησίματα σε έναν ενδογραμμικό σταθμό μπορούν να ανακύψουν με δύο τρόπους: στησίματα *προς τα εμπρός* και *προς τα πίσω*. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ενδογραμμικά στησίματα. Στις παράλληλες γραμμές συναρμολόγησης, ένα στήσιμο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως διαγραμμικό στήσιμο σε έναν διαγραμμικό σταθμό εργασίας. Αυτό καλείται και ως στήσιμο αλλαγής γραμμής (line-switching setup). Αυτά, περιλαμβάνουν τη μετακίνηση ανάμεσα σε δύο γειτνιάζουσες γραμμές και τις δραστηριότητες στησίματος για μοντέλα/αντικείμενα στην άλλη γραμμή. Τα στησίματα προς τα εμπρός και προς τα πίσω προκύπτουν στην ίδια γραμμή και είναι οι διαδικασίες στησίματος για το ίδιο μοντέλο προϊόντος. Ωστόσο, το στήσιμο αλλαγής γραμμής μπορεί να οριστεί και ως ένα σετ δραστηριοτήτων που εκτελείται ώστε να γίνει μια δουλειά στη διαφορετική γραμμή για το ίδιο ή και διαφορετικό προϊόν. Στις παράλληλες γραμμές, τα ίδια ή και διαφορετικά μοντέλα προϊόντος μπορούν να κατασκευαστούν στις δύο γειτνιάζουσες γραμμές. Δεν μπορεί να ειπωθεί πως δεν υφίσταται καμία διαφορά ανάμεσα στο προς τα εμπρός και προς τα πίσω στήσιμο και το στήσιμο αλλαγής γραμμής σε γειτνιάζουσες γραμμές όπου παράγονται διαφορετικά μοντέλα.



Εικόνα 6: Μια τυπική διαρρύθμιση παράλληλων γραμμών συναρμολόγησης (πηγή: Ozcan, 2019)

Στην παραπάνω εικόνα υπάρχουν τρεις γραμμές παραγωγής που τοποθετούνται παράλληλα και δύο μοντέλα προϊόντων που παράγονται σε αυτές. Το μοντέλο Α παράγεται στις γραμμές I και II και το μοντέλο Β στη γραμμή III. C είναι ο κοινός χρόνος κύκλου σε κάθε γραμμή. Υπάρχουν επίσης 4 χειριστές. Ο πρώτος και ο τέταρτος κάνουν τις εργασίες τους σε έναν ενδογραμμικό σταθμό, ενώ ο δεύτερος και ο τρίτος σε έναν διαγραμμικό σταθμό. Ο 1<sup>ος</sup> εργάτης έχει δύο δουλειές, την a και b. Η δουλειά a προηγείται της b. Όταν ολοκληρωθεί η δουλειά a από τον χειριστή 1, κάνει δραστηριότητες στησίματος προς τα εμπρός ώστε να εκτελέσει την εργασία b. Όταν ο εργάτης ολοκληρώσει την εργασία b, τότε κάνει δραστηριότητες σεταρίσματος προς τα πίσω ώστε να εκτελέσει την δραστηριότητα a καθώς στον σταθμό εργασίας του θα έρθει ένα νέο κομμάτι για επεξεργασία. Επίσης, ο 2<sup>ος</sup> εργάτης έχει τρεις εργασίες, την εργασία c της γραμμής I και τις εργασίες b και c από τη γραμμή II. Αφότου εκτελέσει την εργασία b και την εργασία c στη γραμμή II, μετά από διαδικασία στησίματος προς τα εμπρός, ο χειριστής 2 αλλάζει γραμμή και πάει στη γραμμή I. Αφότου ο χειριστής 2 αλλάξει γραμμή και υπάρχει εκεί ένα διαφορετικό κομμάτι, κάνει δραστηριότητες στησίματος αλλαγής γραμμής και εκτελεί την εργασία c. Με τον ίδιο τρόπο, αφότου ολοκληρώσει την εργασία c στη γραμμή I, αλλάζει εκ νέου γραμμή και ταξιδεύει στη II. Για να εκτελέσει την εργασία b στη γραμμή II, κάνει δραστηριότητες στησίματος αλλαγής γραμμής. Στην άλλη γραμμή (την I) το αντικείμενο περιμένει χωρίς δραστηριότητα.

Η συνδυαστική δομή των ALB καθιστά δύσκολο να αποκτηθεί μια βέλτιστη λύση όταν το μέγεθος του προβλήματος αυξάνει. Πέρα από τη μαθηματική περιπλοκότητα που υπάρχει στην ALB, η PALB έχει επιπλέον επίπεδο περιπλοκότητας, μιας και δύο ή περισσότερες γραμμές παραγωγής θα πρέπει να εξισορροπηθούν μεταξύ τους.

Η PALB αρχικά ορίστηκε από τους Gokcen et al. (2006). Πρότειναν ένα δυαδικό γραμμικό πρόβλημα και ευρετικές διαδικασίες πολλών περασμάτων ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα απλού μοντέλου ευθείων παράλληλων γραμμών συναρμολόγησης με ντετερμινιστικούς χρόνους εργασιών. Το ίδιο πρόβλημα μελετήθηκε επίσης από τους Benzer et al. (2007), Scholl & Boysen (2009),

χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθοδολογίες επίλυσης, συμπεριλαμβάνοντας ακριβείς μεθόδους επίλυσης και μετα-ευρετικές προσεγγίσεις.

Ας δούμε λίγο περισσότερο τον ορισμό του προβλήματος. Μια παράλληλη γραμμή συναρμολόγησης αποτελείται από δύο ή περισσότερες, φυσικά ανεξάρτητες γραμμές συναρμολόγησης ( $k=1, \dots, L$ ) που τοποθετούνται παράλληλα. Μια σειρά σταθμών εργασίας ( $h = 1, \dots, m_{\max}$ ) χρησιμοποιούνται σε παράλληλες γραμμές. Κάθε γραμμή έχει ένα σύστημα χειρισμού υλικού όπως ένας μάντας μεταφοράς. Κάθε γραμμή χρησιμοποιείται για να παράξει μόνο ένα μοντέλο προϊόντος στην παραγωγική διαδικασία. Έτσι, κάθε γραμμή έχει το δικό της σετ εργασιών ( $i = 1, \dots, n_k$ ). Οι εργασίες στη σειρά  $k$  εκτελούνται σε συγκεκριμένο χρόνο ( $t_{ik}$ ). Τα επιμέρους εξαρτήματα συναρμολόγησης περιμένουν κατά τη διάρκεια του χρόνου του κύκλου ( $C_k$ ) σε κάθε σταθμό εργασίας της γραμμής. Ένας χειριστής/χειρίστρια ίσως εκτελεί την εργασία του/της στη δεξιά ή την αριστερή πλευρά της γραμμής. Και επίσης, ένας χειριστής ίσως δουλεύει πάνω σε ένα ζεύγος γειτνιαζουσών γραμμών ( $k$  και  $k+1$ ). Οι εργασίες εκτελούνται από χειριστές ανάλογα με την αλληλουχία δραστηριότητας των εργασιών.  $P_{ik}$  είναι το σύνολο των προκατόχων της εργασίας  $i$  στη γραμμή  $k$ . Ο χρόνος κύκλου της γραμμής παραγωγής ίσως είναι ο ίδιος ή και διαφορετικός. Σε περιπτώσεις με διαφορετικούς χρόνους κύκλου ανά γραμμή, ένα κοινό σύστημα χρόνου κύκλου ( $C$ ) ανακτάται με τη χρήση ελάχιστων κοινών πολλαπλάσιων. Επίσης, τα μοντέλα των προϊόντων που συναρμολογούνται στις γραμμές ίσως είναι τα ίδια ή και διαφορετικά. Επιπλέον, μπορεί να προκύψουν διαφορετικές ισορροπίες γραμμής ακόμα και εάν το ίδιο μοντέλο προϊόντος παράγεται με τον ίδιο χρόνο κύκλου σε παράλληλη γραμμή παραγωγής. Στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των σταθμών εργασίας για έναν προκαθορισμένο, ντετερμινιστικό κοινό χρόνο κύκλου. Οι χρόνοι εργασιών είναι φύσει ντετερμινιστικοί και υπάρχουν ντετερμινιστικοί χρόνοι στησίματος, εξαρτώμενοι από τη διαδοχή ανάμεσα στις εργασίες. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε να εκτελεστούν ενέργειες στησίματος ανάμεσα στις εργασίες ονομάζεται χρόνος στησίματος. Στις παράλληλες γραμμές συναρμολόγησης υπάρχουν δύο είδη σταθμών εργασίας, οι ενδογραμμικοί σταθμοί και οι διαγραμμικοί σταθμοί.

Υπάρχουν δύο είδη χρόνων στησίματος, εξαρτώμενοι από την αλληλουχία των εργασιών στους τυπικούς σταθμούς: το στήσιμο προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Εάν η εργασία  $h$  εκτελείται δίπλα αμέσως με μια εργασία  $i$  στον ίδιο σταθμό, τότε προκύπτει ένα προς τα εμπρός στήσιμο για το ίδιο αντικείμενο εργασίας ώστε να εκτελεστεί η

εργασία  $h$ . Ο χρόνος του εμπρόσθιου στησίματος,  $t_{ihk}$  προστίθεται στον υπολογισμό του καθολικού χρόνου του σταθμού εργασίας. Στην αλληλουχία λειτουργιών ενός τυπικού σταθμού, εάν η εργασία  $h$  είναι η τελευταία εργασία που διεκπεραιώνεται και η εργασία  $i$  είναι η πρώτη εργασία, τότε απαιτείται και ένα προς τα πίσω στήσιμο ώστε να γίνει εκ νέου η εργασία  $i$  στο επόμενο κομμάτι, με χρόνο  $\mu_{ihk}$ . Ενώ οι χρόνοι προς τα εμπρός στησίματος προκύπτουν στον ίδιο κύκλο, οι προς τα πίσω χρόνοι προκύπτουν σε διαδοχικούς κύκλους.

Ωστόσο, σε έναν σταθμό πολλαπλών γραμμών, υπάρχουν τρία είδη χρόνων στησίματος, εξαρτώμενων από την αλληλουχία, ανάμεσα στις εργασίες: το εμπρόσθιο στήσιμο, το οπίσθιο στήσιμο και το στήσιμο αλλαγής γραμμής. Στην αλληλουχία λειτουργιών ενός διαγραμμικού σταθμού, εάν η εργασία  $h$  που γίνεται στη γραμμή  $l$  εκτελεστεί ακριβώς πριν μια άλλη εργασία  $i$  στη γραμμή  $k$  που είναι γειτονική, στον ίδιο σταθμό εργασίας, τότε προκύπτει ένας χρόνος στησίματος για αλλαγή της γραμμής ίσος με  $\lambda_{ikh}$  ο οποίος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του συνολικού χρόνου του σταθμού εργασίας. Με τον ίδιο τρόπο που υπολογίζεται ο φόρτος εργασίας σε έναν ενδογραμμικό σταθμό, τα στησίματα προς τα εμπρός και προς τα πίσω προστίθενται για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου του σταθμού.

Τα βήματα για την προσέγγιση ελάχιστου κοινού πολλαπλάσιου για δύο γραμμές έχουν ως εξής (Ozcan, 2010):

1. Βρίσκεται το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο των χρόνων κύκλου
2. Βρίσκονται οι τιμές  $D_1$  και  $D_2$  διαιρώντας τους χρόνους κύκλου για τις δύο γραμμές με το ΕΚΠ.
3. Συντάσσονται δύο διαγράμματα προτεραιότητας με διαφορετικούς χρόνους εργασίας, πολλαπλασιάζοντας τους χρόνους εργασίας, τους χρόνους στησίματος προς τα εμπρός, τους χρόνους στησίματος προς τα πίσω και τους χρόνους στησίματος αλλαγής γραμμής σε κάθε διάγραμμα με τις τιμές των  $D_1$  και  $D_2$  αντίστοιχα.
4. Επιλέγεται το ΕΚΠ ως ο κοινός χρόνος κύκλου (  $C$  )

Υποτίθεται προς το πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις έχει τις εξής συνθήκες:

1. Υπάρχουν δύο ή περισσότερες γραμμές παραγωγής που τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους

2. Ένα ή περισσότερα μοντέλα προϊόντων παράγονται στις παράλληλες γραμμές συναρμολόγησης, και κάθε μοντέλο παράγεται σε μια γραμμή παραγωγής
3. Οι χρόνοι εργασιών και στησίματος είναι φύσει ντετερμινιστικοί, γνωστοί εκ των προτέρων και ανεξάρτητοι από τον σταθμό εργασίας
4. Τα διαγράμματα διαδοχής για κάθε προϊόν είναι γνωστά
5. Κάθε γραμμή συναρμολόγησης μπορεί να έχει διαφορετικούς χρόνους κύκλου. Για διαφορετικές περιπτώσεις χρόνου κύκλου, η προσέγγιση των τροποποιημένων ΕΚΠ εφαρμόζεται και χρησιμοποιείται ένας ενιαίος χρόνος κύκλου για το σύστημα
6. Όλοι οι σταθμοί εργασίας είναι εξίσου εξοπλισμένοι σύμφωνα με τις ανάγκες των λειτουργιών των εργασιών
7. Οι χειριστές που εργάζονται σε κάθε σταθμό σε κάθε γραμμή παραγωγής είναι πολυτάλαντοι
8. Στους ενδογραμμικούς σταθμούς, ένας χειριστής μπορεί να δουλεύει στη δεξιά ή την αριστερή πλευρά της γραμμής
9. Στους διαγραμμικούς σταθμούς, ένας χειριστής πρέπει να δουλεύει τόσο στη δεξιά πλευρά της σειράς 1 όσο και στην αριστερή της πλευράς 1+1, με τις δύο γραμμές αυτές να βρίσκονται κοντά
10. Οι χρόνοι στησίματος αλλαγής γραμμής περιλαμβάνουν τους χρόνους μετακίνησης του χειριστή και τις δραστηριότητες στησίματος
11. Οι παράλληλες εργασίες και οι παράλληλοι σταθμοί δεν επιτρέπονται
12. Ένας χειριστής που εργάζεται σε έναν διαγραμμικό σταθμό μπορεί να αλλάξει θέσεις σε γειτνιάζουσες γραμμές παραγωγής το πολύ δύο φορές, μια για να πάει και άλλη μια για να επιστρέψει

## Κεφάλαιο 4ο: Μελέτες περίπτωσης χρονοπρογραμματισμού

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά μια μελέτη περίπτωσης και θα αποτυπωθούν παραδείγματα εφαρμογής αλγορίθμων βελτιστοποίησης σε προβλήματα εξισορρόπησης γραμμών παραγωγής, χάριν καλύτερης κάλυψης της θεματολογίας που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

Η μελέτη περίπτωση αυτή αφορά το Just In Time (JIT) της Toyota, ένα σύστημα που έχει χαρακτηρίσει την ιαπωνική εταιρεία και της έχει προσφέρει ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα εδώ και δεκαετίες.

### 4.1 Μελέτη Περίπτωσης

#### 4.1.1 Γενικά

Η Toyota Motor Corporation εδρεύει στο Aichi της Ιαπωνίας. Ιδρύθηκε το 1937 από τον Kiichiro Toyota. Το 2020, παρά την πτώση σε πωλήσεις αυτοκινήτων λόγω της πανδημίας, εξακολούθησε να αποτελεί την αυτοκινητοβιομηχανία με τις περισσότερες πωλήσεις, φτάνοντας τις 9.5 εκατ. μονάδες.

Το 2020 είχε παγκοσμίως 359.542 εργαζόμενους, γεγονός που αποτελεί μια μικρή πτώση σε σχέση με τους περίπου 370.000 του 2019 (statista.com, 21/03/2021).

Η Toyota Motor Company θεωρείται η μεγαλύτερη εταιρεία που έχει εφαρμόσει τη λιτή προσέγγιση και την εισήγαγε στην παραγωγή. Η εταιρεία αυτή φημίζεται για τα ποιοτικά της αυτοκίνητα, τη γρήγορη παραγωγή και τις ψηλές τιμές παραγωγικότητας και αποδοτικότητας. Κάτι τέτοιο το πέτυχε με τη συνεχόμενη ανάπτυξη διάφορων πρακτικών, η οποία πλέον έχει την ονομασία **λιτή** παραγωγή (lean manufacturing). Το σύστημα της Toyota αποτελείται από δύο μεθόδους: τη JIT και την Jidoka. Η πρώτη, ορίζεται ως μια γρήγορη και πάνω απ' όλα συντονισμένη κίνηση των εξαρτημάτων σε όλη την έκταση του συστήματος παραγωγής του δικτύου εφοδιασμού που στόχο έχει την ικανοποίηση της ζήτησης των πελατών. Αυτό υλοποιείται μέσα από το heijunka (εξισορρόπηση και εξομάλυνση της ροής εξαρτημάτων), το Kanban (αποστολή του σήματος στη διαδικασία που προηγείται ότι απαιτούνται επιπλέον εξαρτήματα) και του parage (η καθιέρωση διαδικασιών για την επίτευξη ομαλότερης ροής των εξαρτημάτων σε ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής). Το Jidoka είναι επί της ουσίας ο εξανθρωπισμός της επαφής των μηχανημάτων με τους χειριστές. Αυτό

που επιδιώκει η Toyota είναι να μπορεί ο χειριστής ενός μηχανήματος να ενεργεί με βάση την κρίση του. Η συγκεκριμένη μέθοδος υλοποιείται με την πρόληψη βλαβών (Jidoka μηχανημάτων), του δικαιώματος διακοπής γραμμής παραγωγής (ανθρώπινο Jidoka) και του οπτικού ελέγχου (Κουρζάκης, 2014).

Η φιλοσοφία της Toyota φαίνεται πως βασίζεται πολύ στην εφαρμογή των δύο αυτών μεθόδων καθώς μόνο έτσι θα επέλθει ελαχιστοποίηση της σπατάλης. Σπατάλη για τη συγκεκριμένα εταιρεία είναι οτιδήποτε άλλο πέρα από την ελάχιστη ποσότητα εξοπλισμού, υλικών, μηχανημάτων και ανθρώπινου δυναμικού που απαιτείται για τη διεκπεραίωση της παραγωγής. Κατά τον Fujio Cho της Toyota, υπάρχουν επτά τύποι σπατάλης και είναι οι εξής (Κουρζάκης, 2014):

1. Σπατάλη υπερπαραγωγής
2. Σπατάλη χρόνου αναμονής
3. Σπατάλη μεταφορών
4. Σπατάλη αποθεμάτων
5. Σπατάλη επεξεργασίας
6. Σπατάλη μετακίνησης
7. Σπατάλη ελαττωματικών προϊόντων

Η ισχύς, σύμφωνα με την Toyota, έγκειται στην κατανόηση των διαφορών ανάμεσα στα εργαλεία και τις πρακτικές που χρησιμοποιούνται για τις παραγωγικές της διαδικασίες αλλά και στη φιλοσοφία που υιοθετείται ώστε να προσεγγιστεί ο λιτός συγχρονισμός. Η συγκεκριμένη εταιρεία έχει θέσει τις διαδικασίες, την παραγωγή και τις συνδέσεις αυστηρά προκαθορισμένες, παράλληλα όμως η παραγωγή της χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευελιξία. Η συνεχής αμφισβήτηση που θέτει η Toyota στις δραστηριότητες και τις διαδικασίες της βοηθά στο να βελτιώνεται συνεχώς η αποδοτικότητα και να βελτιώνεται η εταιρεία, διατηρώντας ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα και καινοτομώντας.

Η Toyota εφαρμόζει επίσης τέσσερις κανόνες, οι οποίοι καθοδηγούν τις δραστηριότητες του σχεδιασμού, της παράδοσης και της ανάπτυξης εντός της εταιρείας. Αυτοί είναι (Κουρζάκης, 2014):



- Όλες οι διαδικασίες θα πρέπει να είναι αυστηρά καθορισμένες ως προς το περιεχόμενο, τη σειρά, τον χρονισμό και το αποτέλεσμα.
- Η επαφή πελάτη – προμηθευτή πρέπει να είναι σαφής, χωρίς καμία παρερμηνεία. Δηλαδή, στη μέθοδο αποστολής πρέπει να υπάρχει η απάντηση «Ναι ή Όχι» και τίποτα διαφορετικό, ώστε η αποστολή των προϊόντων να είναι άμεση.
- Η διαδρομή κάθε προϊόντος και υπηρεσίας πρέπει να είναι άμεση και απλή.
- Οι βελτιώσεις πρέπει να γίνονται βασισμένες στην επιστημονική μέθοδο, υπό την καθοδήγηση εκπαιδευτή και σε όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο ιεραρχίας του οργανισμού.

#### 4.1.2 Φιλοσοφία του Συστήματος Παραγωγής της Toyota

Η Toyota έχει αναγνωριστεί ως αρχηγός και πρωτοπόρος στην αυτοματοποιημένη βιομηχανία, στη βιομηχανοποίηση και την παραγωγή. Αυτό το σύστημα, περισσότερο από κάθε άλλο, έχει κάνει την Toyota να είναι ό,τι είναι σήμερα. Η Toyota, η οποία λαμβάνει συνεχώς όλο και περισσότερο από το μερίδιο αγοράς της Ford, έχει εμπνευστεί από το σύστημα παραγωγής της ίδιας της Ford. Αυτό έγινε όταν επισκέφθηκε τις ΗΠΑ ένας εκπρόσωπος της Toyota, για να μελετήσει και να αντλήσει πληροφορίες για την αρχιτεκτονική του εμπορίου της Ford.

Ενώ τα κατώτερα επίπεδα ανακαλύψεων είναι το βασικό κλειδί για το σύστημα παραγωγής της Toyota, άλλο τόσο σημαντικό είναι και η φιλοσοφία της για τη μείωση του κόστους. Ο Jeffrey Liker (2003) ανέφερε σε άρθρο του για την Toyota παρουσίασε τις αρχές της εταιρείας στο κομμάτι αυτό:

1. Στήριξε τις επιχειρηματικές σου αποφάσεις σε μακροπρόθεσμη φιλοσοφία, ακόμα και τους πιο μικρούς σου στόχους
2. Δημιούργησε μια συνεχή ροή διεργασιών για να εμφανιστούν όλα τα προβλήματα
3. Χρησιμοποίησε συστήματα για να αποφύγεις την υπερπαραγωγή
4. Κατηγοριοποίησε τον φόρτο εργασίας

5. Δημιούργησε μια κουλτούρα για να σταματάει η διαδικασία παραγωγής στη σωστή στιγμή ώστε να διορθώνονται τα προβλήματα και να επιτυγχάνεται υψηλή ποιότητα εξ' αρχής
6. Η βελτίωση της επιχείρησης και της εργασίας των υπαλλήλων βελτιώνεται από πρότυπα που ακολουθούνται στις διαδικασίες
7. Με καλό χειρισμό όλα τα προβλήματα λύνονται ή εξαφανίζονται
8. Η αξιόπιστη τεχνολογία βοηθά τους εργαζόμενους και τις διεργασίες της παραγωγής
9. Εξέλιξε ηγέτες που να κατανοούν τη δουλειά, να ενστερνίζονται τη φιλοσοφία και να μπορούν να μεταφέρουν τις γνώσεις τους και σε άλλους
10. Στελέχωσε την εταιρεία με άτομα και ομάδες που μπορούν να λειτουργούν με βάση τη φιλοσοφία της επιχείρησης
11. Να σέβεσαι το δίκτυο των συνεργατών και των προμηθευτών και να τους βοηθάς στο να βελτιωθούν
12. Πήγαινε ο ίδιος για να δεις τί πρόβλημα υπάρχει ώστε να μπορέσεις να κατανοήσεις σωστά την κατάσταση (genchi genbutsu)
13. Πάρε αποφάσεις αργά αλλά σωστά, εξετάζοντας πρώτα όλες τις επιλογές και τις εναλλακτικές
14. Γίνε ένας οργανισμός που βελτιώνεται συνεχώς μέσα από διαδικασία συνεχούς μάθησης

Η Toyota υιοθέτησε μια στρατηγική που ονομάζεται SMED. Αυτή, αναπτύχθηκε από τον Shigeo Shingo. Στο πλαίσιο αυτής, έγιναν μικρές αλλαγές και διορθώσεις ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα. Σχεδόν αμέσως, ο χρόνος αναμονής έπεσε περίπου στη μισή ώρα. Επίσης, η ποιότητα των σφραγίδων ελεγχόταν από τη γραπτή αρχή και έτσι μειώθηκαν οι δεξιότητες που έπρεπε να υπάρχουν για την αλλαγή. Οι αναλύσεις έδειξαν πως ο εναπομείναν χρόνος χρησιμοποιείτο ώστε οι υπάλληλοι να ψάχνουν εργαλεία. Με την εφαρμογή του SMED, το οικονομικό μέγεθος μειώθηκε τόσο όσο ένα όχημα για την Toyota.

Το JIT δεν είναι μόνο μια απλή μέθοδος, ένα προϊόν που η εταιρεία μπορεί να αγοράσει και να εφαρμόσει άμεσα. Πίσω της, έχει μια φιλοσοφία που πρέπει να

υιοθετηθεί από την επιχείρηση. Οι ιδέες της φιλοσοφίας αυτής πηγάζουν από επιστήμες όπως η στατιστική, η βιομηχανική διοίκηση, η διοίκηση παραγωγής και η συμπεριφορική επιστήμη. Σύμφωνα με το JIT, οι επιχειρήσεις παροτρύνονται να μειώσουν την ανάπτυξη, η οποία όπως φαίνεται δεν προσθέτει αξία αλλά κόστος. Δεύτερον, η ανάπτυξη δε βοηθά τη διοίκηση και κρύβει τα προβλήματα που κρύβονται μέσα σε ένα παραγωγικό σύστημα. Τέτοια προβλήματα είναι έλλειψη δεξιοτήτων στην εργασία, μη ευελιξία από τους εργαζόμενους και τον εξοπλισμό κ.α.. Με λίγα λόγια, το JIT αναφέρεται στο να διαθέτει μια επιχείρηση τα κατάλληλα υλικά, στην κατάλληλη στιγμή, στην κατάλληλη θέση και στην κατάλληλη ποσότητα (Liker, 2003).

#### 4.1.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Βασικά πλεονεκτήματα του JIT είναι (Δεσποτοπούλου, 2010):

1. Μειώνονται αποτελεσματικά οι χρόνοι εγκατάστασης στις αποθήκες, με την εταιρεία να εξοικονομεί χρόνο για την αποθήκευση για να τον χρησιμοποιεί σε περιοχές που χρήζουν βελτίωσης/προσοχής.
2. Βελτιώνονται οι ροές των προϊόντων που μπαίνουν σε αποθήκες. Όταν οι υπάλληλοι εστιάζουν μόνο σε μια περιοχή του συστήματος τότε αυτό βελτιώνεται και τους επιτρέπει να παρέχουν τα αγαθά πιο γρήγορα, απλουστεύοντας τις διαδικασίες.
3. Αξιοποιούνται πιο αποτελεσματικά υπάλληλοι με πολλαπλές δεξιότητες. Οι υπάλληλοι που μπορούν να δουλέψουν σε διάφορα μέρη ενός κυκλικού συστήματος παραγωγής δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να μετακινούν τους εργαζόμενους στις περιοχές που έχουν περισσότερη ανάγκη και απαιτήσεις κάθε φορά.
4. Υπάρχει μεγαλύτερη συνέπεια στον προγραμματισμό και στις ώρες εργασίας. Αν δεν υπάρχει απαίτηση για παραγωγή προϊόντος σε μια δεδομένη στιγμή, τότε οι υπάλληλοι δεν εργάζονται. Αυτό εξοικονομεί οικονομικούς πόρους στην εταιρεία καθώς δεν απαιτείται να πληρώνει τους εργαζόμενους για όσο αυτοί δεν εργάζονται. Επίσης, μπορεί να τους εστιάσει σε άλλες δουλειές που χρειάζονται εργασία και υπό άλλες συνθήκες δεν θα μπορούσαν να τις κάνουν.
5. Δίνεται προσοχή στις σχέσεις με τους προμηθευτές. Καμία επιχείρηση δεν θέλει να διακόψει το σύστημα αποθεμάτων, καθώς κάτι τέτοιο θα οδηγήσει σε

ελλείψεις στις προμήθειες και δεν θα υπάρχουν προϊόντα προς διάθεση. Μια σχέση εμπιστοσύνης με τους προμηθευτές σημαίνει πως μπορεί μια επιχείρηση να βασιστεί στο ότι τα εφόδια θα είναι στη διάθεσή σου όταν τα χρειάζεται με σκοπό να διατηρηθεί η συνέπεια και η φήμη στην αγορά.

6. Οι προμήθειες έρχονται συνέχεια, άρα οι υπάλληλοι είναι συνεχώς απασχολημένοι και επικεντρώνονται στα λάθη. Μια διοίκηση που επικεντρώνεται στις προθεσμίες κάνει τους εργαζόμενους να εργάζονται σκληρότερα για να πετύχουν τους στόχους της επιχείρησης, άρα να πετυχαίνουν και μεγαλύτερη ικανοποίηση στην εργασία, προαγωγές και μισθολογικές αναβαθμίσεις.

Στον αντίποδα, το κύριο μειονέκτημα του JIT είναι πως αφήνει τους προμηθευτές και τους καταναλωτές ευάλωτους σε προβλήματα παροχής. Με φορτία να εισέρχονται πολλές φορές ανά μέρα, η Toyota είναι ιδιαίτερα ευπαθής στη διακοπή της ροής. Έτσι, η ιαπωνική εταιρεία χρησιμοποιεί συχνά περισσότερους από έναν προμηθευτές στις γραμμές παραγωγής της. Κατά τον Liker (2003), υπήρξε μια εξαίρεση στον γενικό αυτόν κανόνα, η οποία έθεσε όλες τις δραστηριότητες σε κίνδυνο το 1997 μετά τη φωτιά στο Aisin. Μια ισχυρή, μακροχρόνια σχέση με λίγους προμηθευτές είναι προτιμώμενη από τις βραχυπρόθεσμες σχέσεις που στηρίζονται στις οικονομικότερες συμφωνίες των ανταγωνιστών προμηθευτών (Δεσποτοπούλου, 2010). Συνοψίζοντας για την Toyota και το JIT της, παρακάτω παρατίθενται βασικά γνωρίσματά του:

1. Δημιουργία ενιαίας οργάνωσης όλων των κέντρων εργασίας μέσω συνεχούς καθημερινής παραγωγής (καθιέρωση σταθερών διαδικασιών ώστε να αποφεύγονται αλλαγές στο ημερήσιο πλάνο παραγωγής) και πολλαπλής γραμμής παραγωγής (καθορισμός της ίδιας ποικιλίας προϊόντων κάθε μέρα, χρησιμοποιώντας μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία σε αρκετά προϊόντα που παράγονται στην ίδια γραμμή παραγωγής). Αντιμετώπιση των απαιτούμενων διακυμάνσεων τη χρονική στιγμή που τα αποθέματα τελειώνουν παρά να υπάρξουν διακυμάνσεις στην παραγωγική διαδικασία. Χρήση σταθερού χρονοδιαγράμματος παραγωγής για την καλύτερη διοίκηση των αποθεμάτων.
2. Μείωση/περιορισμός των χρόνων εγκατάστασης/στησίματος (setup times). Σκοπός είναι το setup να παίρνει λιγότερο από 10 λεπτά (one-touch

εγκατάσταση). Αυτό μπορεί να γίνει μέσω καλύτερου σχεδιασμού, μέσω επανασχεδιασμού της διαδικασίας και μέσω επανασχεδιασμού του προϊόντος. Ένα καλό παράδειγμα βελτίωσης των χρόνων setup μπορεί να θεωρηθεί ο αγώνας αυτοκινήτων τύπου NASCAR/Formula 1 όπου μπορεί να γίνει αλλαγή τεσσάρων ελαστικών και γέμισμα δεξαμενής καυσίμου σε λιγότερο από 20 δευτερόλεπτα.

3. Μείωση μεγέθους των φορτίων (παραγωγή και αγορά). Η μείωση των χρόνων setup επιτρέπει να παράγονται μικρότερες παρτίδες με χαμηλότερο κόστος. Απαιτείται επίσης και στενή συνεργασία με προμηθευτές για να επιτευχθούν μειώσεις στις προμήθειες.
4. Μείωση των χρόνων αναμονής (lead times). Οι χρόνοι αναμονής στην παραγωγή δύνανται να μειωθούν μετακινώντας τους σταθμούς εργασίας πιο κοντά μεταξύ τους, μειώνοντας το μήκος της ουράς (μειώνοντας άρα τον αριθμό εργασιών που περιμένουν να γίνουν από μια μηχανή), εφαρμόζοντας κυτταρικό manufacturing και βελτιώνοντας τη συνεργασία ανάμεσα στις πετυχημένες διαδικασίες. Επίσης, τους χρόνους αναμονής ρίχνει και η καλή συνεργασία με τους προμηθευτές, ειδικά εάν αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στη μονάδα παραγωγής.
5. Προστατευτική συντήρηση. Αξιοποίηση του χρόνου αδράνειας του εργαζόμενου ώστε να συντηρηθεί ο εξοπλισμός. Έτσι, χάνεται πολύ λιγότερος χρόνος σε σχέση με την επιδιόρθωση της μηχανής σε περίπτωση βλάβης.
6. Ευέλικτη εργατική δύναμη. Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να λαμβάνουν εκπαίδευση που να τους επιτρέπει να διαχειριστούν πολλές μηχανές, να μπορούν να συντηρήσουν σε ένα επίπεδο μόνοι τους τις μηχανές και να εκτελούν επιθεωρήσεις ποιότητας. Το JIT απαιτεί τη σύσταση ομάδων, κάτι που ενδυναμώνει τους υπαλλήλους, δίνοντάς τους περισσότερες ευθύνες για τη δική τους δουλειά.
7. Απαιτείται ασφάλεια ποιότητας προμηθευτή και εφαρμογή προγράμματος ποιότητας μηδενικών ελαττωμάτων και απωλειών (zero defects). Πρέπει να περιορίζονται λάθη που οδηγούν σε ελαττωματικά κομμάτια, ειδικά από τη στιγμή που δεν υπάρχουν επιπλέον αποθηκευτικοί χώροι με επιπλέον κομμάτια. Ένα πρόγραμμα jidoka (ποιότητα στην πηγή) πρέπει να εφαρμόζεται για να

διδάσκει στους εργάτες την προσωπική υπευθυνότητα για την ποιότητα της δουλειάς που κάνουν, δίνοντάς τους την ισχύ να σταματήσουν τη γραμμή παραγωγής όταν παρουσιαστεί λάθος. Τεχνικές όπως η **JIT lights** (δείχνουν επιβραδύνσεις και τεχνικές) και η **tally boards** (αναγράφουν και αναλύουν αιτίες διακοπής και επιβράδυνσης της παραγωγής για να διαλευκάνουν τη διόρθωση αυτών αργότερα) μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

8. Μεταφορά μικρών φορτίων. Χρήση συστήματος ελέγχου τύπου κάρτας (kanban) με τα οποία μεταφέρονται μικρά κομμάτια από σταθμό σε σταθμό εργασίες σε μικρές ποσότητες μονάδες μάλιστα (στο ιδανικό σενάριο είναι μόνο μια μονάδα).

#### 4.2 Προσεγγίσεις βελτιστοποίησης

Η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει αρκετά παραδείγματα εφαρμογής αλγορίθμων βελτιστοποίησης σε προβλήματα εξισορρόπησης γραμμών παραγωγής (ALB). Ο παρακάτω πίνακας καταγράφει ορισμένα αξιοσημείωτα παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών, ενώ επιχειρείται και μία σύγκριση αυτών προκειμένου να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Η προαναφερθείσα σύγκριση πραγματοποιείται, όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.1, με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Κατηγορία κριτηρίου βελτιστοποίησης (τεχνικό, οικονομικό κ.α.)
- Αντικειμενική συνάρτηση – κριτήριο βελτιστοποίησης
- Τύπος ALB προβλήματος
- Μέγεθος πεδίου εφαρμογής αλγορίθμου

Πίνακας 4.1: Βασικά χαρακτηριστικά μελετών περίπτωσης εφαρμογής αλγορίθμων βελτιστοποίησης σε προβλήματα ALB

A/A	Κατηγορία Κριτηρίου	ALB Κριτήριο	Είδος βελτιστοποίησης	Τύπος ALB πρόβλημα	Εφαρμογή σε	Αποτέλεσμα εφαρμογής βελτιστοποίησης	Παραπομπή
1	Τεχνικό	Σταθμισμένο άθροισμα σταθμών εργασίας	Ελαχιστοποίηση σταθμισμένου αθροίσματος (σύγκριση LAHC και ICA)	TALBP	Συναρμολόγηση μηχανήματος έργου (φορτωτή)	ICA καλύτερα αποτελέσματα από LAHC	Mingshun Yang et al (2020)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ  
 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
 ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

2	Τεχνικό	Ποσοστό κενών θέσεων εργασίας	Ελαχιστοποίηση ποσοστού κενών θέσεων εργασίας (Ευριστικός αλγόριθμος)	SALBP	Συναρμολόγηση αντλίας καυσίμου	Ικανοποιητικά αποτελέσματα (έλεγχος με λογισμικό Flexsim)	Huimin Jia et al (2015)
3	Τεχνικό	Χρόνος κύκλου εργασιών (cycle time)	Ελαχιστοποίηση χρόνου κύκλου εργασιών (σύγκριση αλγορίθμων βελτιστοποίησης αποικίας μυρμηγκιών – Ant Colony Optimization ACO I και ACO II)	MMALB P-II	20 περιπτώσεις μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας	ACO I αποδοτικότερος σε ολική βελτιστοποίηση ενώ ACO II σε τοπική	Arkinar and Bayhan (2014)
4	Τεχνικό	Χρόνος κύκλου εργασιών (cycle time)	Ελαχιστοποίηση χρόνου κύκλου εργασιών (ASAGA: συνδυασμός GA, SA και self-adaptive αλγορίθμων)	Robotic weld ALBP (RALBP)	Αμάξωμα αυτοκινήτου	Καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με απλούς GA ή SA αλγορίθμους	Zhou Wu et al (2018)
5	Τεχνικό και οικονομικό	Χρόνος κύκλου εργασιών και κόστος ρομπότ	Ελαχιστοποίηση χρόνου κύκλου εργασιών, σε συνδυασμό με μείωση κόστους robot και setup μέσω αλγορίθμου HMOES (MILP με εξελικτικές στρατηγικές ES)	RALBP II	2 περιπτώσεις (1 μικρής και 1 μεγάλης κλίμακας)	HMOES μεγαλύτερος χρόνος τρεξίματος αλλά αποδοτικότερος συγκριτικά με CMOES και PAES	Yoosefelahi et al (2012)
6	Τεχνικό και οικονομικό	Χρόνος κύκλου εργασιών και κατανάλωση ενέργειας	Ελαχιστοποίηση χρόνου κύκλου εργασιών και κατανάλωσης ενέργειας (αλγόριθμος PSO – Partial Swarm Optimization)	RALBP	32 συνολικά περιπτώσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας	Ικανοποιητικά αποτελέσματα	Nilakantan et al (2015)
7	Τεχνικό και οικονομικό	Κόστος κτήσης ρομπότ και setup, χρόνος κύκλου εργασιών	Ελαχιστοποίηση κόστους και χρόνου κύκλου εργασιών (2 αλγόριθμοι MOEA-Multiobjective Metaheuristic: NSGA-II και MOPSO)	MMALB U-shaped	Προβλήματα μικρής κλίμακας	Καλύτερα αποτελέσματα ο MOPSO (έλεγχος με λογισμικό GAMS)	Masoud et al (2016)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΡΑΜΜΩΝ  
 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ  
 ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

8	Οικονομικό	Ολικό μοναδιαίο κόστος	Ελαχιστοποίηση ολικού μοναδιαίου κόστους σε Mixed Integer Programming - MIP (αλγόριθμος προσομοιωμένης ανόπτωσης SA)	TALBP	3 προβλήματα μικρής, 2 μεσαίας και 2 μεγάλης κλίμακας	Για μικρή κλίμακα καλύτερα αποτελέσματα από MIP μοντέλο, όχι όμως και από FFR (γενετικός αλγόριθμος σε συνδυασμό με προσομοιωμένη ανόπτωση) σε μεσαίας και μεγάλης κλίμακας	Roshani et al (2012)
9	Τεχνικό	Αριθμός σταθμών εργασίας και δείκτης ομαλοποίησης (smoothing) φόρτου εργασίας	Ελαχιστοποίηση αριθμού σταθμών εργασίας και δείκτη ομαλοποίησης φόρτου εργασίας με υβριδικό SA αλγόριθμο σε συνδυασμό με μέθοδο COMSOAL και ευριστικό αλγόριθμο	SALBP και U-shaped ALBP	Προβλήματα απλής γραμμής και τύπου U-shape	Αλγόριθμος με βάση τους σταθμούς εργασίας: βέλτιστη λύση για απλή όσο και για U-shape γραμμή. Αλγόριθμος ομαλοποίησης: καλύτερα αποτελέσματα σε απλές γραμμές συναρμολόγησης	Baykasoglu et al (2006)
10	Τεχνικό	Αριθμός σταθμών εργασίας	Ελαχιστοποίηση αριθμού σταθμών εργασίας (με δεδομένο χρόνο κύκλου εργασιών) μέσω υβριδικού Honey Bee Mating Optimization (HBMO) αλγορίθμου	MTALBP	7 περιπτώσεις (4 μικρής και 3 μεγάλης κλίμακας)	Καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με MIP και SA αλγορίθμους	Biao Yuan et al (2015)

Από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και παρουσιάζεται στον παραπάνω Πίνακα, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Αναφορικά με το χρησιμοποιούμενο κριτήριο βελτιστοποίησης, διαπιστώθηκε ότι στα απλά προβλήματα εξισορρόπησης (SALBP) εφαρμόζονται καθαρά τεχνικά



κριτήρια. Στα προβλήματα εξισορρόπησης γραμμών συναρμολόγησης δύο πλευρών (TALBP) διαπιστώθηκε η χρήση τεχνικών κριτηρίων σε ορισμένες μελέτες ενώ σε ορισμένες άλλες η χρήση οικονομικών. Τέλος, σε προβλήματα γραμμών συναρμολόγησης μικτού μοντέλου (MMALBP) καθώς και σε περιπτώσεις ρομποτικών γραμμών συναρμολόγησης (RALBP) διαπιστώθηκε η ταυτόχρονη χρήση τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων. Πιθανόν, η πιο σύνθετη φύση των εν λόγω γραμμών συναρμολόγησης να επέβαλε την από κοινού χρήση τεχνοοικονομικών κριτηρίων για την επίτευξη της βέλτιστης λύσης

- Ως προς τη χρησιμοποιούμενη αντικειμενική συνάρτηση – κριτήριο βελτιστοποίησης, διαπιστώθηκε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των τεχνικών κριτηρίων (είτε εφαρμόστηκαν ξεχωριστά ή σε συνδυασμό με οικονομικά κριτήρια) είχαν ως παράμετρο ελέγχου της βελτιστοποίησης το χρόνο κύκλου εργασιών (cycle time). Τα οικονομικά κριτήρια έλαβαν υπόψη τους είτε το ολικό κόστος ή κάποιο συγκεκριμένο κόστος (πχ κόστος κτήσης ρομπότ) που θεωρήθηκε καταλυτικός παράγοντας για τη βελτιστοποίηση της μεθόδου. Σε προβλήματα SALBP, η εφαρμογή υβριδικού αλγορίθμου προσομοιωμένης ανόπτησης (SA σε συνδυασμό με μέθοδο COMSOAL και ευριστικό αλγόριθμο) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι σε γραμμές συναρμολόγησης σχήματος U η βελτιστοποίηση με στόχο τον ελάχιστο αριθμό σταθμών εργασίας δίνει καλύτερα αποτελέσματα, ενώ η ομαλοποίηση του φόρτου εργασίας κρίνεται καταλληλότερο κριτήριο για απλές γραμμές συναρμολόγησης.

- Αναφορικά με τη χρήση των αλγορίθμων βελτιστοποίησης ανά τύπο ALB προβλήματος μπορούν να διατυπωθούν τα εξής: Σε προβλήματα απλής σχετικά μορφής (SALBP), η χρήση ευριστικού αλγορίθμου αρκούσε για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας. Τα απλά προβλήματα γραμμών συναρμολόγησης διπλής πλευράς (TALBP) μπορούν να βελτιστοποιηθούν μέσω αλγορίθμου ανάλυσης σε ανεξάρτητες συνιστώσες (ICA) αντί για ένα κλασικό αλγόριθμο αναρρίχησης λόφων (LAHC). Σε πιο σύνθετα προβλήματα, όπως το μικτό μοντέλο γραμμών συναρμολόγησης δύο πλευρών (MTALBP), η επιλογή ενός υβριδικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών (Honey Bee Mating Optimization-HBMO) έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από κλασικούς αλγορίθμους μεικτού ακέραιου προγραμματισμού (MIP) και προσομοιωμένης ανόπτησης (SA). Τέλος, σε προβλήματα ρομποτικής συναρμολόγησης η χρήση υβριδικών αλγορίθμων που συνδυάζουν επιμέρους τεχνικές

βελτιστοποίησης (πχ αλγόριθμος ASAGA που αποτελεί συνδυασμό γενετικών, προσομοιωμένης ανόπτησης και self-adaptive αλγορίθμων) επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με απλούς γενετικούς ή προσομοιωμένης ανόπτησης αλγορίθμους.

- Ως προς το μέγεθος του πεδίου εφαρμογής του αλγορίθμου προέκυψαν τα εξής: Τα προβλήματα SALB είναι NP-δυσχερή και συνεπώς είναι πιθανόν να μην υπάρχει πολυωνυμικός αλγόριθμος που να τα επιλύει σε κάθε είσοδο. Συνεπώς, για προβλήματα μεγάλης έκτασης είναι απαραίτητη η χρήση μετα - ευριστικών αλγορίθμων. Ο αλγόριθμος ACO-I παρουσίασε καλύτερη απόδοση ολικής αναζήτησης αλλά για τοπική αναζήτηση είναι αποτελεσματικότερος ένας υβριδικός αλγόριθμος όπως ο ACO-II, καθώς μέσω artificial ants (τεχνητά μυρμήγκια) δημιουργεί κωδικοποίηση των λύσεων τις οποίες και αποκωδικοποιεί σε εφικτές λύσεις όπως άλλους αλγορίθμους (γενετικοί, προσομοίωσης ανόπτησης κλπ). Επιπρόσθετα, σε προβλήματα μικρής κλίμακας μεικτού ακέραιου προγραμματισμού, ο αλγόριθμος προσομοιωμένης ανόπτησης δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ σε μεσαίας και μεγάλης κλίμακας προβλήματα θεωρήθηκε καταλληλότερη η εφαρμογή FFR αλγορίθμου (γενετικός αλγόριθμος σε συνδυασμό με προσομοιωμένη ανόπτηση). Σε προβλήματα μικτού μοντέλου (MMALBP) μικρής κλίμακας, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων MOPSO θεωρήθηκε ως καλύτερος πολύ-αντικειμενικός μετα-ευριστικός αλγόριθμος (MOEA - Multiobjective Metaheuristic). Τέλος, σε πιο σύνθετα προβλήματα, όπως τα προαναφερθέντα RALBP, οι συνδυαστικοί αλγόριθμοι πχ μεικτού ακέραιου προγραμματισμού με εξελικτικές στρατηγικές (HMOES) και σμήνους σωματιδίων (PSO) έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα από τους συμβατικούς αλγορίθμους ανεξάρτητα από το μέγεθος της γραμμής συναρμολόγησης.

## Συμπεράσματα

Οδεύοντας προς το τέλος της εργασίας αυτής, είναι ασφαλές να γίνουν μερικά συμπεράσματα, μετά και από όλη την ανάλυση και βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε. Μιας και πλέον οι παραγωγικές μονάδες χρησιμοποιούν γραμμές συναρμολόγησης στην πλειοψηφία τους, τίθεται το ερώτημα του τί πρέπει να γίνει ώστε οι γραμμές συναρμολόγησης να οδηγούν στην επίτευξη των στόχων της επιχείρησης λειτουργώντας σωστά, αποδοτικά και αποτελεσματικά. Αυτό είναι κάτι που εξαρτάται από το είδος της γραμμής παραγωγής. Ανάλογα με αυτό, θα πρέπει να δίνεται έμφαση σε διαφορετικά σημεία όπου και επιτυγχάνονται διαφορετικοί στόχοι.

Ο χρονοπρογραμματισμός της παραγωγής είναι μια διαδικασία που συνεισφέρει στο να πετύχει μια βιομηχανία τους στόχους που έχει θέσει ως προς το κέρδος της, την αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού και την ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων πόρων. Εάν ο προγραμματισμός της παραγωγής γίνεται σωστά, τότε εξασφαλίζεται πως οι σωστοί πόροι βρίσκονται στο σωστό σημείο τη σωστή στιγμή και επεξεργάζονται με τον σωστό τρόπο για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος στα πρότυπα του επιθυμητού.

Έχει γίνει σαφές πλέον πως μέρος της επιτυχίας μιας βιομηχανικής μονάδας είναι η βελτιστοποίηση του παραγωγικού της συστήματος. Με φιλοσοφίες προγραμματισμού παραγωγής όπως της Toyota (JIT) είναι εφικτό να καταφέρει μια επιχείρηση να δώσει περισσότερες ευθύνες και εφόδια στους εργαζομένους της να αποδώσουν, ενώ παράλληλα δίνεται έμφαση στη συνεχή βελτίωση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Το κριτήριο που θέτει η κάθε εταιρία ως καταλληλότερο για βελτιστοποίηση της διαδικασίας εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος. Για παράδειγμα, σε απλά προβλήματα εξισορρόπησης εφαρμόζονται καθαρά τεχνικά κριτήρια. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της φύσης του προβλήματος εισάγονται, μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, και οικονομικά κριτήρια. Η βασικότερη παράμετρος ελέγχου σε τεχνικά κριτήρια διαπιστώθηκε ότι είναι ο χρόνος κύκλου εργασιών, ενώ τα οικονομικά κριτήρια λαμβάνουν υπόψη τους κάποιο συγκεκριμένο κόστος ή το ολικό κόστος της συναρμολόγησης. Επίσης, από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας προέκυψε ότι σε προβλήματα απλής μορφής αρκούσε η χρήση κάποιου ευριστικού αλγορίθμου, ενώ σε σύνθετα προβλήματα κρίνεται αναγκαία η επιλογή

υβριδικού αλγορίθμου βελτιστοποίησης. Τέλος, σε προβλήματα μεγάλης έκτασης θεωρείται σκόπιμη η χρήση μετα - ευριστικών αλγορίθμων.

Μερικά σημεία εμβάθυνσης, τα οποία θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως προτεινόμενα θέματα για μελλοντικές εργασίες θα ήταν η προσεκτική μελέτη του πώς λειτουργεί μια γραμμή παραγωγής σε ένα ελληνικό εργοστάσιο. Κάτι τέτοιο, θα μπορούσε να φέρει σε άμεση επαφή τον φοιτητή με πρακτικά ζητήματα που υπάρχουν γύρω από τη διαχείριση μιας αλυσίδας παραγωγής και να εισάγει το ελληνικό στοιχείο στην παραγωγική διαδικασία, ένα στοιχείο που αναμφίβολα κάνει τα πράγματα να ξεφεύγουν σε έναν βαθμό από τη θεωρία γύρω από τα παραγωγικά συστήματα.

Επιπλέον, άλλη μια πρόταση θα ήταν η μελέτη μιας προσομοίωσης παραγωγής σε ένα αντίστοιχο λογισμικό. Σε μια τέτοια περίπτωση, εκτός από τη θεωρητική γνώση που θα έχει αντληθεί από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, θα μπορεί ο φοιτητής να δει κατά πόσο αυτή επαληθεύεται και συμφωνεί με υπολογιστικά πακέτα, τα οποία δομούνται πάνω στη θεωρία, επωφελούμενα από κάποιες παραδοχές.

Πέρα από τα παραπάνω, η ενσωμάτωση των προβλημάτων καθορισμού ισορροπίας, κατανομής αποθηκευτικών χώρων και εκτίμησης διανομής στις μεθόδους βέλτιστης τοποθέτησης των buffers αποτελεί σαφώς ένα σημαντικό πεδίο μελλοντικής έρευνας.

Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη συνδυασμένων μοντέλων και μεθόδων επίλυσης σε συστήματα άρρυθμης σύγχρονης γραμμής αναμένεται να αποτελέσει βασικό κομμάτι της μελλοντικής έρευνας στο συγκεκριμένο πεδίο.

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσπάθεια εξεύρεσης κατάλληλων εργαλείων τα οποία θα επιτρέπουν στον προγραμματισμό ALB να μειώνει τις επιπτώσεις που προκαλούν πιθανές βλάβες των μηχανισμών μίας αυτοματοποιημένης γραμμής.

## Βιβλιογραφία

- Babazadeh, H., & Javadian, N. (2018). A novel meta-heuristic approach to solve fuzzy multi-objective straight and U-shaped assembly line balancing problems. *Soft Computing*.
- Baker, K. (2018). Trietsch, D., Principles of Sequencing and Scheduling
- Baker, K. H., & Haslem, J. A. (1974). Toward the Development of Client-Specified Valuation Models. *The Journal of Finance*, 1255-1263.
- Bautista, J., & Pereira, J. (2007). Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 2016-2032.
- Baykasoglu A., Multi-rule Multi-objective Simulated Annealing Algorithm for Straight and U Type Assembly Line Balancing Problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol.32, issue.3, pp.217-232, 2006.
- Becker, C. S. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operations*, 694-715.
- Bolz, R. (2012). Manufacturing Automation Management: A Productivity Handbook
- Bonham, S. (2008). Actionable Strategies Through Integrated Performance, Process, Project, and Risk Management
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*.
- Bożejko, W., Bocewicz, G. (2019). Modelling and Performance Analysis of Cyclic Systems
- Chletsos, M., Saiti, A. (2020). Strategic Management and Economics in Health Care
- Collier, D., Evans, J. (2020). Operations and Supply Chain Management
- Dashchenko, A. (2007). Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories

Dillon, P. (2019), Shigeo Shingo: A Study of the Toyota Production System, Factory Physics: Third Edition

Duguay, C., Landry, S., & Pasin, F. (1997). From mass production to flexible/agile production. *International Journal of Operations and Production Management*.

Gupta, G. (2019). Nature-Inspired Computing Applications in Advanced Communication Networks

Jia, H. M., Yu, K. C., & Zhang, J. C. (2015). The Simulation and Optimization on the Certain Type Fuel Pump Assembly Line Balance Based on Flexsim. *Applied Mechanics and Materials*, 741, 850–855.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.741.850>

Kara, Y., Gokcen, H., & Atasagun, Y. (2010). Balancing parallel assembly lines with precise and fuzzy goals. *Int. J. Prod.*, 1685-1703.

Kiran, D. (2016), Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies

Langenwarter, G. (2020), Enterprise Resources Planning and Beyond: Integrating Your Entire Organization

Liker, J. (2003). *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*. McGraw Hill Professional.

Machado, C. (2017), Davim, P., Organizational Behaviour and Human Resource Management

Masoud, R., Zahra, M. and Hamed, F. (2016), “Multiobjective metaheuristics for solving a type II robotic mixedmodel assembly line balancing problem”, *Journal of Industrial and Production Engineering*, Vol. 33 No. 7, pp. 472-484.

Mitsuo, G., Runwei, C., Lin, L. (2008). Multiobjective Genetic Algorithm Approach

Nilakantan, J.M., George, Q.H. and Ponnambalam, S.G. (2015), “An investigation on minimizing cycle time and total energy consumption in robotic assembly line systems”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 90, pp. 311-325.

Nof, S., Wilhelm, W., Warnecke, H. (2012), Industrial Assembly

Ozcan, U. (2010). Balancing and sequencing of parallel mixed-model assembly

Periasamy, P. (2009), *Financial Management*

Rabbani, M., Ziaefar, A., & Manavizadeh, N. (2014). Mixed-model assembly line balancing in assemble-to-order environment with considering express parallel line: problem definition and solution procedure. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, 690-706.

Rekiek, B., Delchambre, A. (2006). *Assembly Line Design: The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms*

Riempp, G. (2012) *Wide Area Workflow Management: Creating Partnerships for the 21st Century*

Roshani, A., Fattahi, P., Roshani, A., Salehi, M. and Roshani, A. (2012). “Cost oriented two-sided assembly line balancing problem: a simulated annealing approach”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 25 No. 8, pp. 689-715.

Royston, A. (2016). *Henry Ford and the Assembly Line*, , The Rosen Publishing Group, 29 East 21st Street, New York, NY 10010

Sakhare, A. (2015), *Business Visibility with Enterprise Resource Planning*

Saxena, R. (2009). *Inventory Management: Controlling in Fluctuating Demand Environment*

Sener Akpinar & G. Mirac Bayhan (2014) “Performance evaluation of ant colony optimization-based solution strategies on the mixed-model assembly line balancing problem”, *Engineering Optimization*, 46:6, 842-862, DOI: [10.1080/0305215X.2013.806915](https://doi.org/10.1080/0305215X.2013.806915)

Sharma, F. (2020). *Advances in the Technology of Managing People: Contemporary Issues in Business*

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Διοίκηση Παραγωγής Προϊόντων και Υπηρεσιών*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Stahel, W. (2010). *The Performance Economy*

Štofová, L., Szaryszová, P. (2017). *New Trends in Process Control and Production Management*

Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: from Design to Implementation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Udroiu, R., Bere, P. (2018). Product Lifecycle Management: Terminology and Applications

Ugur, O. (2019). Balancing and scheduling tasks in parallel assembly lines with sequence-dependent setup times. *International Journal of Production Economics*, 81-96.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Λιτή Σκέψη*. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

World Bank Staff, (2005), *Economic Growth in the 1990s: Learning from a Decade of Reform*, World

Yang, M., Ba, Li, Xu, E., Li, Yan, Liu, Yong, Gao, X., Optimization of a multi-constraint two-sided assembly line balancing problem using an improved imperialist competitive algorithm. *Assembly Automation*, Volume 40, Number 2, 2020, pp. 273-282

Yilmaz, H., & Yilmaz, M. (2015). Multi-manned assembly line balancing problem with balanced load density. *Assembly automation*, 137-142.

Yokoi, N. (2004), *Japan's Postwar Economic Recovery and Anglo-Japanese Relations*

Yoosefelahi, A., Aminnayeri, M., Mosadegh, H. and Ardakani, H.D. (2012), "Type II robotic assembly line balancing problem: an evolution strategies algorithm for a multi-objective model", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 31 No. 2, pp. 139-151.

Yuan B, Zhang C, Shao X, Jiang Z. "An effective hybrid honey bee mating optimization algorithm for balancing mixed-model two-sided assembly lines". *Computers & Operations Research*, 53, 32-41, 2015.

Zhang, Z., Qiuhua, T., & Chica, M. (2020). Multi-manned assembly line balancing with time and space constraints: A MILP model and memetic ant colony system. *Computers & Industrial Engineering*.

Zhou, Qiong Wu, (2018) "A novel optimal method of robotic weld assembly line balancing problems with changeover times: a case study", *Assembly Automation*, Vol. 38 Issue: 4, pp.376-386, <https://doi.org/10.1108/AA-02-2018-026>



Δεσποτοπούλου, Β. (2010). *Η Επίδραση του Βαθμού Ολοκλήρωσης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας στην Απόδοση των Επιχειρήσεων*. Καβάλα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πτυχιακή Εργασία.

Τσιότρας, Γ. (2000). *Συστήματα Χρονοπρογραμματισμού Παραγωγής - Εφαρμογή τους σε Βιομηχανίες Αλουμινίου*. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στη Διοίκηση Επιχειρήσεων, Διπλωματική Εργασία.

Φραγκιαδάκη, Α. (2013). *Αξιολόγηση Υλοποίησης U - Shaped Γραμμής Συναρμολόγησης*. Πειραιάς: Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Φωκάς, Π. (2015). *Επανασχεδιασμός Γραμμής Συναρμολόγησης Με Χρήση Εργαλείων Λιτής Παραγωγής*. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Διοίκηση Επιχειρήσεων, Διπλωματική Εργασία.

Φώτιος, Κ. (2014). *Η φιλοσοφία Just-in Time στον προγραμματισμό και τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας*. Χίος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.