



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΙΑ JUST IN
TIME

ΤΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΧΡΟΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ: ΛΟΥΚΑΣ ΤΣΙΡΩΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού
διπλώματος ειδίκευσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων

Μάρτιος 2021

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στην πορεία μου προς την επίτευξη των συνολικών ακαδημαϊκών και επαγγελματικών μου στόχων. Για αυτό και αισθάνομαι όχι απλά την υποχρέωση, αλλά τη χαρά να ευχαριστήσω για αυτό το διδακτικό και διοικητικό προσωπικό του Μεταπτυχιακού Προγράμματος, και ειδικότερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Λουκά Τσιρώνη, με την καθοδήγηση και την στήριξη του οποίου ολοκληρώθηκε η εκπόνηση της παρούσης.

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους οικείους μου, συγγενείς και φίλους για την στήριξη και αμέριστη συμπαράστασή τους σε αυτήν την πορεία.

Περίληψη

Η λιτή παραγωγή έχει διάφορα μοντέλα διαχείρισης με ένα από αυτά να είναι η παραγωγή με τη μέθοδο Just-In-Time (JIT). Πρόκειται για ένα μοντέλο διαχείρισης που εφαρμόζεται στην διαδικασία παραγωγής, η οποία προϋποθέτει την κατοχή των σωστών αντικειμένων στη σωστή ποιότητα και ποσότητα στη σωστή θέση και την κατάλληλη στιγμή. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει την σημασία και την συνεισφορά του JIT στην λιτή παραγωγή καθώς επίσης και να προτείνει τρόπους βελτίωσης του JIT μέσα από μεθόδους μαθηματικής βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, ερμηνεύεται το πρόβλημα του JIT μέσα από μια αντικειμενική συνάρτηση, της οποίας το ολικό ελάχιστο μπορεί να βρεθεί μέσα από αλγορίθμους νοημοσύνης σμήνους. Τέλος, παρουσιάζεται και μια πρακτική εφαρμογή στην οποία επιλύουμε ένα πρόβλημα λιτής παραγωγής μέσα από το βέλτιστο συνδυασμό μοντέλων λιτής στρατηγικής.

Λέξεις κλειδιά: Λιτή παραγωγή, Βελτιστοποίηση, Αλγόριθμος Νοημοσύνης Σμηνών

Abstract

Lean manufacturing has various management models, one of which is the production with the Just-In-Time (JIT) method. It is a management model that is applied in the production process, which presupposes the possession of the right items in the right quality and quantity in the right place and at the right time. The purpose of this study is to highlight the importance and contribution of JIT to lean manufacturing as well as to suggest ways to improve JIT through mathematical optimization methods. More specifically, the JIT problem is interpreted through an objective function, the total minimum of which can be found through swarm intelligence algorithms. Finally, an application is presented in which we solve a problem of lean production through the optimal combination of lean strategy models.

Keywords: Lean Manufacturing, Just-In-Time, Optimization, Particle Swarm Intelligence

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract.....	iii
Κατάλογος των διαγραμμάτων.....	vi
Κατάλογος των σχημάτων.....	vi
Εισαγωγή.....	1
Σκοπός της εργασίας.....	1
Δομή της εργασίας.....	1
1 Λιτή Παραγωγή και η Μέθοδος Just-in-Time.....	2
1.1 Λιτή Παραγωγή (Lean Manufacturing).....	2
1.2 Η Ανάπτυξη της Μεθόδου JIT.....	3
1.3 Θεωρία της Παραγωγής JIT.....	8
1.4 Οφέλη της Μεθόδου JIT.....	9
1.5 Περιορισμοί της Μεθόδου JIT.....	10
1.6 Στόχοι του JIT.....	12
1.7 Στρατηγικές εφαρμογής του JIT.....	16
1.8 Βελτιώνοντας το JIT μέσω του IoT.....	17
2 Η Έννοια της Βελτιστοποίησης.....	20
2.1 Τοπική βελτιστοποίηση.....	21
2.2 Ολική βελτιστοποίηση.....	21
2.3 Θεώρημα No Free Lunch.....	22
3 Εξελκτικοί Υπολογισμοί.....	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Διαφοροεξελκτικός Αλγόριθμος.....	26
3.2.1 Ανάλυση Αλγορίθμου.....	27
3.2.2 Στάδιο Μετάλλαξης.....	28
3.2.3 Στάδιο Επιλογής.....	28
3.2.4 Στάδιο Ανασυνδυασμού.....	29
3.3 Ο αλγόριθμος PSO.....	31
4 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης για την επίλυση προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής για just in time.....	34
4.1 Καθορισμός προβλήματος με την μορφή αντικειμενικής συνάρτησης.....	34
4.2 Αλγόριθμοι για την βελτιστοποίηση.....	38
4.2.1. Διαφοροεξελκτικός αλγόριθμος.....	38

4.2.2.	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων	38
5	Επιλογή στρατηγικής για την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής με χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων.....	39
6	Συμπεράσματα	50
6.1	Αποτελέσματα της έρευνας	54
6.2	Περιορισμοί στην έρευνα και μελλοντικές κατευθύνσεις	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	60

Κατάλογος των πινάκων

Πίνακας 1 Θεωρικό κέρδος επίλυσης προβλημάτων	39
Πίνακας 2 Στρατηγικές.....	40
Πίνακας 3 Κόστος και χρόνος υλοποίησης λιτών στρατηγικών	40
Πίνακας 4 Ικανότητα επίλυσης προβλημάτων ανά στρατηγική.....	41
Πίνακας 5 Περιορισμοί Κόστους και Χρόνου	41

Κατάλογος των διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Εξέλιξη τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης	49
---	----

Κατάλογος των σχημάτων

Σχήμα 1 Διάγραμμα ροής τυπικού Εξελικτικού Αλγορίθμου	25
Σχήμα 2 Διαδικασία Επιλογής.....	29

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδείξει την σημασία και την συνεισφορά του JIT στην λιτή παραγωγή καθώς επίσης και να προτείνει τρόπους βελτίωσης του JIT μέσα από μεθόδους μαθηματικής βελτιστοποίησης.

Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Τα 3 πρώτα αφορούν το εισαγωγικό και θεωρητικό μέρος της εργασίας το οποίο σχετίζεται με την Λιτή Παραγωγή και η Μέθοδος Just-in-Time, την έννοια της βελτιστοποίησης και δύο βασικές μεθόδους βελτιστοποίησης όπως ο Διαφοροεξελικτικός Αλγόριθμος και ο αλγόριθμος PSO. Το 4^ο κεφάλαιο αφορά το θεωρητικό μοντέλο που προτείνουμε με 2 αλγορίθμους βελτιστοποίησης για την επίλυση προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής για just in time. Στο 5^ο κεφάλαιο υλοποιούμε ένα μοντέλο για την επιλογή στρατηγικής για την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής με χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων. Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σχετικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

1 Λιτή Παραγωγή και η Μέθοδος Just-in-Time

1.1 Λιτή Παραγωγή (Lean Manufacturing)

Με τον όρο λιτή παραγωγή περιγράφεται μια πολύπλευρη προσέγγιση παραγωγής που περιλαμβάνει μια ποικιλία βιομηχανικών πρακτικών, με στόχο τον προσδιορισμό διαδικασιών προστιθέμενης αξίας από το πεδίο του πελάτη και να επιτρέψει τη ροή αυτών των διαδικασιών για την προσέγγιση του πελάτη μέσω του οργανισμού (Shah & Ward, 2007; Womack, Jones & Roos, 1990). Επινόηθηκε από τη σύλληψη του Toyota Production System (TPS) με τις πρωτοβουλίες της Taichii Ohno στην Toyota Motor Company (Ohno, 1988). Η αρχική ώθηση της λιτής παραγωγής είναι να δημιουργήσει μια νέο είδος ροής διαδικασιών ώστε να παραχθούν τα τελικά προϊόντα στον απαιτούμενο ρυθμό του πελάτη με όσο το δυνατόν λιγότερες ή μηδενικές απώλειες (Shah & Ward, 2003). Οι Shah and Ward (2007) παρουσίασαν μία κατανοητή, πολλαπλών βημάτων προσέγγιση για τον προσδιορισμό της διαστατικής δομής της λιτής παραγωγής και ανέπτυξαν αξιόπιστες κλίμακες για να την δηλώσουν. Ποσοτικοποίησαν τον εννοιολογικό ορισμό και τη μέτρηση της λιτής παραγωγής σε δέκα παράγοντες όπως αναφέρονται παρακάτω:

1. Ανατροφοδότηση του προμηθευτή: Κριτικές και επιδόσεις των προϊόντων προερχόμενες από πελάτες πρέπει περιοδικά να φτάνουν στους κατασκευαστές για μία αποτελεσματική και αποδοτική μεταφορά πληροφοριών.
2. Η just-in-time (JIT) παράδοση από τους προμηθευτές: Η απαιτούμενη ποσότητα των προϊόντων πρέπει να παραδίδεται σε συγκεκριμένο χρόνο μετά από απαίτηση του πελάτη.
3. Εξέλιξη των προμηθευτών: Οι προμηθευτές πρέπει να εξελίσσονται ταυτόχρονα με τους κατασκευαστές προς αποφυγή ασυνεπειών και αναντιστοιχιών σε ανταγωνιστικό επίπεδο.
4. Εμπλοκή πελατών: Οι πελάτες είναι οι πρωταρχικοί οδηγοί της επιχείρησης. Οι ανάγκες τους και οι προσδοκίες τους θα πρέπει να έρχονται σε πρώτη προτεραιότητα.
5. Αύξηση της παραγωγής:
6. Συνεχής ροή: Πρέπει να καθιερωθεί μία νέα ροή προϊόντων χωρίς μεγάλες παύσεις
7. Μείωση χρόνου ρύθμισης: Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για παραλλαγές στα προϊόντα, θα πρέπει να είναι ο μικρότερος δυνατός.

8. Συνολική παραγωγική / προληπτική συντήρηση: Βλάβες μηχανών και εξοπλισμού πρέπει να αποφεύγονται με αποτελεσματικές διαδικασίες περιοδικής συντήρησης. Σε περίπτωση βλάβης ο χρόνος αντιμετώπισης πρέπει να είναι μικρός.
9. Στατιστικός έλεγχος διαδικασιών. Η ποιότητα των προϊόντων είναι υψίστης σημασίας και κανένα ελαττωματικό προϊόν δεν πρέπει να διεισδύει από μια διαδικασία στην επόμενη.
10. Εμπλοκή εργαζομένων: Με επαρκή κίνητρα και δικαιώματα, οι εργαζόμενοι πρέπει να έχουν το δικαίωμα για μια συνολική συμβολή στην εταιρεία.

1.2 Η Ανάπτυξη της Μεθόδου JIT

Η παραγωγή με τη μέθοδο Just-In-Time (JIT) είναι μία ιαπωνική φιλοσοφία διαχείρισης που εφαρμόζεται στην διαδικασία παραγωγής, η οποία προϋποθέτει την κατοχή των σωστών αντικειμένων στη σωστή ποιότητα και ποσότητα στη σωστή θέση και την κατάλληλη στιγμή. Έχει αναφερθεί ευρέως ότι η σωστή χρήση της μεθόδου παραγωγής JIT είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποιότητας, της παραγωγικότητας και της αποτελεσματικότητας, και τη βελτιωμένη επικοινωνία και τη μείωση του κόστους και των αποβλήτων. Η δυνατότητα απόκτησης αυτών των οφελών έχει κάνει πολλές οργανώσεις να προβληματιστούν και να εξετάσουν αυτή την προσέγγιση της μεταποιητικής βιομηχανίας. Για τους λόγους αυτούς, η μέθοδος JIT έχει γίνει ένα πολύ δημοφιλές θέμα που επί του παρόντος διερευνάται από πολλούς διεθνείς οργανισμούς. Η διαχείριση Just-In-Time περιλαμβάνει την εφαρμογή παλαιών ιδεών διαχείρισης. Ωστόσο, η προσαρμογή τους στη σύγχρονη κατασκευαστική εταιρεία είναι μια σχετικά νέα πρακτική.

Επί του παρόντος, πολλές επιχειρήσεις μελετούν και εφαρμόζουν την προσέγγιση JIT ως απάντηση σε ένα ολοένα και περισσότερο ανταγωνιστικό περιβάλλον. Οι οργανώσεις της Βόρειας Αμερικής έχουν επίγνωση της πίεσης που τους επιβάλλεται από την επιτυχία των Ιαπώνων ανταγωνιστών τους στην επίτευξη πολύ υψηλών επιπέδων παραγωγικότητας. Προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικοί και να βιώσουν οικονομική επιτυχία, οι εταιρείες αυτές έχουν επικεντρωθεί στην αύξηση της παραγωγικότητας, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων τους και στην αύξηση των προτύπων αποδοτικότητας στα προϊόντα τους και στην αύξηση των προτύπων αποδοτικότητας στις επιχειρήσεις τους. Η ικανότητα επίτευξης υψηλότερων προτύπων παραγωγικότητας χωρίς να θυσιάζεται η ποιότητα είναι επίσης ένας σημαντικός στόχος μιας εταιρείας παραγωγής. Μακροπρόθεσμα, η εφαρμογή της παραγωγής με τη μέθοδο

JIT μπορεί να βοηθήσει αυτές τις εταιρείες στην επίτευξη αυτού του στόχου της άριστης παραγωγής, (Cheng & Podolsky, 1996).

Το JIT είναι μία ιαπωνική φιλοσοφία διαχείρισης που εφαρμόστηκε στην πράξη από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 σε πολλούς ιαπωνικούς κατασκευαστικούς οργανισμούς. Αρχικά αναπτύχθηκε και τελειοποιήθηκε στα εργοστάσια παραγωγής της Toyota από τον Taiichi Ohno ως μέσο ικανοποίησης των απαιτήσεων των καταναλωτών με ελάχιστες καθυστερήσεις (Goddard, 1986). Για το λόγο αυτό, ο Taiichi Ohno αναφέρεται συχνά ως ο πατέρας της μεθόδου JIT.

Τα εργοστάσια παραγωγής της Toyota ήταν τα πρώτα στην εισαγωγή της μεθόδου JIT. Αυτή έλαβε εκτεταμένη υποστήριξη κατά τη διάρκεια του εμπάργκο πετρελαίου του 1973 και υιοθετήθηκε αργότερα από πολλούς άλλους οργανισμούς. Το εμπάργκο πετρελαίου και η αυξανόμενη έλλειψη άλλων φυσικών πόρων θεωρήθηκαν ως σημαντική ώθηση για την ευρεία υιοθέτηση της JIT. Η Toyota μπόρεσε να αντιμετωπίσει τις αυξανόμενες προκλήσεις επιβίωσης μέσω μιας προσέγγισης διαχείρισης διαφορετικής από εκείνη που ήταν χαρακτηριστική της εποχής. Αυτή η προσέγγιση εστιάστηκε στους ανθρώπους, τις εγκαταστάσεις και το σύστημα. Η Toyota συνειδητοποίησε ότι η μέθοδος JIT θα ήταν επιτυχημένη μόνο αν ο καθένας ξεχωριστά μέσα στην οργάνωση συμμετείχε και αφοσιωνόταν σε αυτή τη μέθοδο και εάν η μονάδα και οι διεργασίες είχαν ρυθμιστεί για μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα και εάν τα προγράμματα ποιότητας και παραγωγής είχαν προγραμματιστεί να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ακριβώς.

Το JIT είχε τις αρχές του ως μια μέθοδος μείωσης των αποθεμάτων στα ιαπωνικά ναυπηγεία. Σήμερα, το JIT έχει εξελιχθεί σε μία φιλοσοφία διαχείρισης που περιέχει ένα σύνολο γνώσεων και περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύνολο αρχών και τεχνικών παραγωγής. Η παραγωγή με τη μέθοδο JIT έχει τη δυνατότητα, όταν προσαρμοσθεί κατάλληλα στην οργάνωση, να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα του οργανισμού, μειώνοντας σημαντικά τα απόβλητα και βελτιώνοντας την ποιότητα του προϊόντος και την αποτελεσματικότητα της παραγωγής. Η εξέλιξη της μεθόδου JIT, όπως παρατηρείται στη βιβλιογραφία, συζητείται λεπτομερώς. Παρά την πληθώρα της λογοτεχνίας, ο Zirkin (1991) υποστηρίζει ότι υπάρχει μεγάλη σύγχυση σχετικά με το θέμα. Αυτό, όπως υποτίθεται, οδήγησε σε μια θεμελιωδώς διαφορετική προσέγγιση στα προγράμματα της μεθόδου JIT στο δυτικό κόσμο, η οποία μπορεί να είναι πιο επιζήμια από ό, τι ωφέλιμη.

Υπάρχουν έντονες πτυχές πολιτισμού που συνδέονται με την εμφάνιση της μεθόδου JIT στην Ιαπωνία. Η ανάπτυξη του JIT στα εργοστάσια παραγωγής της Toyota δεν πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητα από αυτές τις έντονες πολιτισμικές επιρροές. Η ηθική της

εργασίας στην Ιαπωνία είναι ένας από αυτούς τους παράγοντες. Η ηθική της εργασίας εμφανίστηκε λίγο μετά τον Β Παγκόσμιο Πόλεμο και θεωρήθηκε αναπόσπαστο μέρος της ιαπωνικής οικονομικής επιτυχίας. Αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα κίνητρου για την ανάπτυξη των ανώτερων τεχνικών διαχείρισης που γίνονται οι καλύτερες στον κόσμο. Η ηθική της εργασίας στην Ιαπωνία περιλαμβάνει τις ακόλουθες έννοιες:

- Οι εργαζόμενοι έχουν υψηλό κίνητρο να επιδιώξουν τη συνεχή βελτίωση σε σχέση με αυτό που υπάρχει ήδη. Αν και τα υψηλά πρότυπα τηρούνται σήμερα, υπάρχουν ακόμη υψηλότερα πρότυπα για να επιτευχθούν.
- Οι εταιρείες επικεντρώνονται στην ομαδική προσπάθεια που περιλαμβάνει το συνδυασμό ταλέντων και την ανταλλαγή γνώσεων, την επίλυση προβλημάτων, τις ιδέες και την επίτευξη ενός κοινού στόχου.
- Η ίδια η εργασία έχει προτεραιότητα έναντι του ελεύθερου χρόνου. Δεν είναι ασυνήθιστο για έναν Ιάπωνα υπάλληλο να εργάζεται 14 ώρες την ημέρα. Αυτό αντιβαίνει σε μεγάλο βαθμό σε σύγκριση με το Δυτικό κόσμο την έμφαση που δίνεται στο χρόνο που διατίθεται για δραστηριότητες αναψυχής.
- Οι εργαζόμενοι τείνουν να παραμένουν σε μία εταιρεία καθ' όλη τη διάρκεια της σταδιοδρομίας τους. Αυτό επιτρέπει την ευκαιρία να βελτιώσουν τις δεξιότητες και τις ικανότητές τους με σταθερό ρυθμό, προσφέροντας ταυτόχρονα πολλά οφέλη στην εταιρεία. Αυτά τα οφέλη εκδηλώνονται με την αφοσίωση των εργαζομένων, το χαμηλό κόστος κύκλου εργασιών και την εκπλήρωση των στόχων της εταιρείας.
- Υπάρχει υψηλός βαθμός συνείδησης της ομάδας και αίσθησης ποιότητας μεταξύ των Ιαπώνων. Οι Ιάπωνες είναι μία ομοιογενής φυλή όπου οι ατομικές διαφορές δεν κυριαρχούν.

Επιπλέον, η μέθοδος JIT προέκυψε επίσης ως μέσο απόκτησης των υψηλότερων επιπέδων χρήσης από τους περιορισμένους διαθέσιμους πόρους. Αντιμέτωποι με περιορισμούς, οι Ιάπωνες εργάστηκαν για την επίτευξη της βέλτιστης σχέσης κόστους / ποιότητας στις διαδικασίες παραγωγής τους. Αυτό συνεπάγεται τη μείωση των αποβλήτων και τη χρήση υλικών και πόρων με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Η εισαγωγή σταθερής προσπάθειας για μεγάλο χρονικό διάστημα στο πλαίσιο της συνεχούς βελτίωσης είναι καθοριστικής σημασίας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εστίαση σε μια συνεχή ροή μικρών βελτιώσεων που είναι γνωστή στην Ιαπωνία ως «kaizen» και έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της φιλοσοφίας του JIT.

Επιπλέον, οι ιαπωνικές εταιρείες τείνουν να επικεντρώνονται στην ενίσχυση της μακροπρόθεσμης ανταγωνιστικότητας αντί να δίνουν έμφαση στην πραγματοποίηση βραχυπρόθεσμων κερδών. Είναι πρόθυμοι να βιώσουν το κόστος ευκαιριών εισάγοντας και εφαρμόζοντας καινοτόμες ιδέες μέσα στις επιχειρήσεις τους. Οι μέτοχοι και οι ιδιοκτήτες ιαπωνικών εταιρειών ενθαρρύνουν επίσης τη μεγιστοποίηση των παροχών σε μακροπρόθεσμη βάση. Αυτό τους επιτρέπει να επιτύχουν ως ανταμοιβή τα μακροπρόθεσμα κέρδη ως αποτέλεσμα των προσπαθειών τους. Η διοίκηση με τη μέθοδο JIT έχει ενσωματώσει στην ανάπτυξή της έναν υψηλό βαθμό πολιτιστικών πτυχών. Ο Heiko (1989) πρότεινε πολλά σχετικά ιαπωνικά πολιτιστικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορεί να σχετίζονται με το JIT ως εξής.

- Η διαχείριση με τη μέθοδο JIT επιτρέπει σε έναν οργανισμό να ικανοποιεί τη ζήτηση των καταναλωτών ανεξάρτητα από το επίπεδο της ζήτησης. Αυτό έγινε δυνατό με τη χρήση ενός συστήματος έλξης παραγωγής. Το ιαπωνικό πολιτιστικό χαρακτηριστικό που σχετίζεται με την έννοια της έλξης ζήτησης συνεπάγεται μεγάλη έμφαση στον «προσανατολισμό του πελάτη». Η ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών γρήγορα και αποτελεσματικά αποτελεί προτεραιότητα για τους περισσότερους ιαπωνικούς επιχειρηματικούς οργανισμούς.
- Ο βαθμός απόκλισης μεταξύ των αφίξεων των υλικών, της επεξεργασίας και της συναρμολόγησης του τελικού προϊόντος για τους καταναλωτές ελαχιστοποιείται από την τεχνική παραγωγής του JIT. Ο χρόνος πριν τη παραγωγή που ελαχιστοποιείται είναι πιθανώς το αποτέλεσμα της ιαπωνικής πολιτιστικής έμφασης στην ταχύτητα και την αποδοτικότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις συνθήκες διαβίωσης υπερπληθυσμού στις ιαπωνικές πόλεις.
- Το JIT επιτρέπει τη μείωση της πρώτης ύλης, και των αποθεμάτων έτοιμων υλικών και υλικών διεργασίας. Αυτό απελευθερώνει μεγαλύτερο χώρο και χρόνο μεταξύ των εργασιών στις εγκαταστάσεις. Το αντίστοιχο πολιτιστικό χαρακτηριστικό είναι η ανησυχία για το χώρο λόγω ενός πολύ πυκνού πληθυσμού.
- Η τεχνική παραγωγής του JIT χρησιμοποιεί δοχεία για τη συγκράτηση εξαρτημάτων. Αυτό επιτρέπει την εύκολη αναγνώριση και παρακολούθηση των επιπέδων αποθεμάτων. Η χρήση καθορισμένων εμπορευματοκιβωτίων στο πλαίσιο της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να οφείλεται στην έμφαση που δίδεται στους τύπους συσκευασίας που υπάρχουν όταν τα αγαθά αγοράζονται από τους καταναλωτές.

- Ένα στοιχείο παραγωγής με την μέθοδο JIT απαιτεί ότι η εγκατάσταση είναι καθαρή, δηλαδή δεν πρέπει να υπάρχουν απόβλητα που εμποδίζουν την παραγωγή. Η Ιαπωνική ανησυχία για την καθαριότητα του περιβάλλοντος μπορεί να δώσει την ψευδαίσθηση της μεγαλύτερης περιοχής.
- Η παραγωγή με τη μέθοδο JIT περιλαμβάνει τη χρήση «ορατών σημάτων» για την εμφάνιση της κατάστασης των μηχανημάτων. Το αντίστοιχο πολιτιστικό χαρακτηριστικό περιλαμβάνει τη χρήση πολλών σημάτων που εμφανίζουν διάφορα προϊόντα.

Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στη χρήση ορατών σημάτων είναι το υψηλό ποσοστό αλφαριθμητισμού μεταξύ των Ιαπώνων σε σύγκριση με άλλες χώρες. Οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του ιαπωνικού και άλλων πολιτισμών έχουν οδηγήσει στην πεποίθηση ότι το JIT δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε κατασκευαστικές οργανώσεις σε άλλα μέρη του κόσμου. Οι πολιτισμικές διαφορές που συμβάλλουν περισσότερο στην πεποίθηση αυτή περιλαμβάνουν την ηθική εργασίας της Ιαπωνίας και τον ρόλο των συνδικάτων σε πολλά εργασιακά περιβάλλοντα της Δύσης. Τα Συνδικάτα συνήθως διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις βιοτεχνίες παραγωγής ή στις «μπλε επιχειρήσεις» οι οποίες θα ήταν πιο κατάλληλες να υιοθετήσουν μια προσέγγιση JIT στον τομέα της μεταποίησης. Επιπλέον, τα συνδικάτα τείνουν να ασκούν επιρροή στη διοίκηση για την ανάπτυξη πολιτικών που είναι πιο ευνοϊκές για την εργασία. Επομένως, θέματα όπως η αύξηση του ελεύθερου χρόνου από την εργασία θα ήταν αντιφατικά με την ιαπωνική εργασιακή ηθική. Αυτό μπορεί να εξηγήσει κάποιες από τις πεποιθήσεις ότι το JIT και οι δυτικές κατασκευαστικές επιχειρήσεις είναι ασυμβίβαστες.

Ο ισχυρισμός ότι η μέθοδος JIT δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική σε επιχειρήσεις εκτός της Ιαπωνίας δεν έχει τεκμηριωθεί, καθώς αρκετές τέτοιες οργανώσεις έχουν εφαρμόσει με επιτυχία το JIT. Πολλοί οργανισμοί συνειδητοποιούν ορισμένα από τα οφέλη του JIT στα πρώτα στάδια των υλοποιήσεων τους. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε οργανώσεις όπου ένα σωματείο παίζει ενεργό ρόλο στις διαπραγματεύσεις για τις ανησυχίες των εργαζομένων, είναι χρήσιμο να εξεταστεί η συμμετοχή του σωματείου στα αρχικά στάδια της εφαρμογής.

Η εμπειρία στην Αυστραλία για παράδειγμα έχει δείξει ότι η επιτυχής υλοποίηση της JIT είναι δυνατή, αν και αναγνωρίζεται ότι οι πολιτισμικές διαφορές μπορεί να καταστήσουν τη διαδικασία πιο δύσκολη. Αν και η εστίαση έχει στραφεί σε ανεπάρκειες στο δυτικό περιβάλλον, οι Ιάπωνες υπόκεινται επίσης σε αλλαγές. Ο δυτικός πολιτισμός υιοθετήθηκε σε κάποιο βαθμό από πολλούς Ιάπωνες. Για το λόγο αυτό, πολλοί από τους

Ιάπωνες νέους απέρριψαν την ηθική της εργασίας των ηλικιωμένων και την αντικατέστησαν με εκείνη που ομοιάζει με αυτή της δυτικής κουλτούρας.

Παρά αυτή την εγκατάλειψη και τη μεταβολή της συμπεριφοράς, η Ιαπωνία εξακολουθεί να είναι σε θέση να επιτύχει πρότυπα παραγωγικότητας και ποιότητας που υπερβαίνουν κατά πολύ εκείνα πολλών κατασκευαστών στη Δύση. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα στοιχεία που υποδηλώνουν ότι υπάρχουν αδυναμίες στην ιαπωνική προσέγγιση και ότι υπάρχουν ευκαιρίες για μεγαλύτερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα με την υιοθέτηση μιας πιο ισορροπημένης προσέγγισης, (Cheng & Podolsky, 1996).

1.3 Θεωρία της Παραγωγής JIT

Η διαχείριση ποιότητας που βασίζεται στη μέθοδο JIT είναι συνδυασμός λειτουργιών ελέγχου απογραφής, ελέγχου ποιότητας και διαχείρισης παραγωγής που κάνει ειλικρινείς προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας με δύο τρόπους. Πρώτον, εστιάζει στη φιλοσοφική πτυχή της βελτίωσης της ποιότητας, καθιστώντας την ποιότητα ως ευθύνη όλων και στη συνέχεια επικεντρώνεται στην αποτελεσματική εφαρμογή των τεχνικών ελέγχου ποιότητας. Αναγνώρισε ότι οι περισσότεροι πολύτιμοι πόροι ενός οργανισμού είναι οι εργαζόμενοι του και οι εργαζόμενοι δουλεύουν καλύτερα όταν έχουν κίνητρα, αξία, ενθαρρύνονται να συμβάλλουν και έχουν τη δυνατότητα να λάβουν τις δικές τους αποφάσεις.

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, οι εργαζόμενοι επιθεωρούν την ποιότητα του προϊόντος μετά από κάθε διαδοχική λειτουργία. Επίσης εκπαιδεύονται μαζί με τους διαχειριστές για την προετοιμασία και την ερμηνεία των διαγραμμάτων ελέγχου διαδικασιών. Οι διευθυντές παρακινούν τους εργαζόμενους να σκεφτούν ως πρώτο την ποιότητα και ως δεύτερο το ρυθμό παραγωγής. Οι εργαζόμενοι έχουν εξουσία να σταματήσουν τη γραμμή παραγωγής ή το τμήμα, αν προκύψουν προβλήματα ποιότητας. Έτσι, η έννοια αυτή όχι μόνο δίνει την ποιοτική ευθύνη στους εργαζόμενους αλλά και ταιριάζει αυτή την ευθύνη με τους επιβλέποντες ώστε να μοιράζονται οι λειτουργίες ελέγχου ποιότητας και να μπορούν να αποκαλυφθούν και να λυθούν γρήγορα τα προβλήματα ποιότητας. Επίσης, το σύστημα παραγωγής της JIT απαιτεί να αγοραστούν εξαρτήματα σε μικρές παρτίδες. Οι μικρές παρτίδες απαιτούν λιγότερο χώρο και χρόνο. Ο λιγότερος χώρος και χρόνος απαιτούν λιγότερους εργαζόμενους και εγκαταστάσεις για να ολοκληρώσουν την ίδια δουλειά. Εκτός αυτού, οι μικρές παρτίδες είναι εύκολο να ελεγχθούν και τα ελαττώματα μπορούν να εντοπιστούν αμέσως. Έτσι, τα τμήματα που

αγοράζονται σταθερά σε μικρά μεγέθη παρτίδων με συχνές παραδόσεις συμβάλλουν στην υψηλότερη ποιότητα και παραγωγικότητα μέσω χαμηλότερων επιπέδων αποθέματος και αχρήστων, και μέσω χαμηλότερου κόστους επιθεώρησης για εισερχόμενα μέρη και έγκαιρης ανίχνευσης ελαττωμάτων.

Εν ολίγοις, οι προσεγγίσεις με βάση το JIT έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα και την παραγωγικότητα του προϊόντος σε σημαντικό επίπεδο, αλλά οι οργανώσεις πρέπει να υιοθετήσουν τις αρχές τους με τρόπο που να ανταποκρίνεται στην οργανωτική τους δομή, το σχεδιασμό και τις διαδικασίες τους, (Vikas, 2010).

1.4 Οφέλη της Μεθόδου JIT

Τα δυνητικά οφέλη της JIT είναι πολυάριθμα. Πρώτον, η πρακτική της JIT μειώνει τα επίπεδα αποθέματος, πράγμα που σημαίνει χαμηλότερες επενδύσεις σε αποθέματα. Δεδομένου ότι το σύστημα απαιτεί μόνο τη μικρότερη ποσότητα υλικών που χρειάζεται αμέσως, μειώνεται σημαντικά το συνολικό επίπεδο αποθέματος. Σε πολλές ιαπωνικές εταιρείες που χρησιμοποιούν την έννοια JIT, τα επίπεδα αποθεμάτων έχουν μειωθεί σε ένα σημείο στο οποίο ο ετήσιος λόγος εργασιών – κίνησης κεφαλαίου είναι πολύ υψηλότερος από ό, τι βίωσαν οι ομόλογες επιχειρήσεις στις Η.Π.Α. Για παράδειγμα, η Toyota ανέφερε τους λόγους αποθέματος-κύκλου εργασιών με τιμές από 41 έως 63, ενώ συγκρίσιμες εταιρείες των ΗΠΑ ανέφεραν αναλογία αποθέματος-κύκλου εργασιών από 5 έως 8.

Δεδομένου ότι η αγορά στο πλαίσιο του JIT απαιτεί σημαντικά μικρότερο χρόνο παράδοσης, η αξιοπιστία του χρόνου παραγωγής βελτιώνεται σημαντικά. Ο μειωμένος χρόνος παράδοσης και η αυξημένη αξιοπιστία συμβάλλουν επίσης στη σημαντική μείωση των απαιτήσεων αποθεμάτων ασφαλείας. Τα αποθέματα ασφαλείας επιπλέον μονάδων αποθεμάτων χρησιμοποιούνταν ως παραγωγή έναντι του κινδύνου έλλειψης πιθανών αποθεμάτων. Οι μειωμένοι χρόνοι παράδοσης και οι χρόνοι εγκατάστασης αυξάνουν την ευελιξία προγραμματισμού. Ο σωρευτικός χρόνος παράδοσης, ο οποίος περιλαμβάνει τόσο τους χρόνους προμήθειας όσο και την παραγωγή, μειώνεται. Έτσι, μειώνεται το σταθερό χρονοδιάγραμμα εντός του ορίζοντα προγραμματισμού παραγωγής. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερο χρονικό περιθώριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη της μεταβολής της ζήτησης στην αγορά. Το μικρότερο μέγεθος παραγωγής που γίνεται με μειωμένο χρόνο ρύθμισης προσθέτει επίσης ευελιξία.

Τα βελτιωμένα επίπεδα ποιότητας έχουν αναφερθεί από πολλές εταιρείες. Όταν η ποσότητα παραγγελίας είναι μικρή, οι πηγές των προβλημάτων ποιότητας είναι γρήγορα

αναγνωρίσιμες και μπορούν να διορθωθούν αμέσως. Σε πολλές περιπτώσεις, η συνείδηση ποιότητας των εργαζομένων τείνει επίσης να βελτιώνεται, προκαλώντας βελτίωση της ποιότητας στην πηγή παραγωγής. Το κόστος των αγορασθέντων υλικών μπορεί να μειωθεί μέσω εκτενέστερης ανάλυσης της αξίας και των συνεργατικών δραστηριοτήτων ανάπτυξης του προμηθευτή.

Άλλα οικονομικά οφέλη του JIT περιλαμβάνουν (Shim & Siegel, 2000):

- Χαμηλότερες επενδύσεις στον χώρο του εργοστασίου για αποθέματα και παραγωγή.
- Χαμηλότερος κίνδυνος παρωχημένων αποθεμάτων.
- Μείωση των αχρήστων και της επανεπεξεργασίας.
- Απόρριψη γραφειοκρατίας.
- Μείωση των άμεσων υλικών δαπανών μέσω αγορών ποσοτήτων.

1.5 Περιορισμοί της Μεθόδου JIT

Παρότι τα οφέλη από τη χρήση του JIT είναι πολυάριθμα και αναφέρονται συχνότερα από τους πιθανούς περιορισμούς, εντοπίστηκαν αρκετές ελλείψεις ως εξής:

- Οι πολιτισμικές διαφορές έχουν αναφερθεί ως πιθανός περιορισμός της μεθόδου JIT. Υπάρχουν πολλές πολιτισμικές διαφορές που μπορεί να είναι εγγενώς συνδεδεμένες με την επιτυχία της JIT. Αυτά θα είναι προβλήματα που μπορεί να είναι δύσκολο να ξεπεραστούν ή να βελτιωθούν χωρίς αλλαγές στη συμπεριφορά και τη φιλοσοφία των εργαζομένων. Το μέγεθος της επίπτωσής τους μπορεί να είναι δύσκολο να μετρηθεί λόγω της φύσης τους.
- Η παραδοσιακή προσέγγιση της μεταποίησης περιλαμβάνει τη χρήση μεγάλων αποθεμάτων με αποθέματα ασφαλείας. Τα αποθέματα ασφαλείας μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα αποθεματικό για τις εταιρείες ώστε να αντισταθμίσουν τις ανακριβείς προβλέψεις ζήτησης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον οργανισμό ο οποίος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα αποθέματα ασφαλείας για να απορροφήσει τυχόν αυξήσεις της ζήτησης.
- Τα οφέλη που συνδέονται με την αυξημένη συμμετοχή των εργαζομένων που προκύπτει από τη χρήση κύκλων ποιότητας μπορεί να είναι εμφανή στις ιαπωνικές οργανώσεις. Ωστόσο, οι ιδέες συμμετοχής της Δύσης ενέχουν σε μεγάλο βαθμό την «ενδυνάμωση» του εργατικού δυναμικού σε σχέση με τη λήψη αποφάσεων. Αυτό υποδηλώνει ότι το επίπεδο συμμετοχής που καθιερώθηκε στις ιαπωνικές οργανώσεις που χρησιμοποιούν το JIT δεν είναι συμβατό με το βαθμό

συμμετοχής των εργαζομένων που απαιτείται για να ικανοποιηθούν οι δυτικοί εργαζόμενοι. Τα οφέλη που συνδέονται με το JIT ενδέχεται να είναι πολιτιστικά δεσμευμένα και κάπως περιορισμένα στο ιαπωνικό περιβάλλον.

- Η απώλεια της ατομικής αυτονομίας έχει προταθεί ως άλλο πιθανό πρόβλημα του JIT. Η απώλεια της αυτονομίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε περιορισμένους χρόνους κύκλου ή στον «χρόνο μεταξύ επαναλαμβανόμενων δραστηριοτήτων». Τα ρυθμιστικά διαλύματα όπως ο χρόνος χαλάρωσης ή βραδυπορίας μειώνονται σημαντικά, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες ποσότητες πίεσης που πρέπει να αντιμετωπίσει ο εργαζόμενος. Ο χρόνος που θα παρέμενε διαφορετικά θα επέτρεπε στον εργαζόμενο μεγαλύτερη ελευθερία να εκτελεί «κάθετα καθήκοντα» που συνιστούν διοικητικά καθήκοντα ή συνάντηση ομάδων. Επιπλέον, οι μειωμένοι χρόνοι κύκλου υποχρεώνουν τους εργαζόμενους να προσαρμόζονται άμεσα στις μεταβολές της ζήτησης χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις ανάγκες τους.
- Η απώλεια της αυτονομίας της ομάδας είναι ένα πιθανό αποτέλεσμα της μείωσης ή της εξάλειψης των αποθεμάτων προσωρινής αποθήκευσης. Αυτό συμβάλλει στη μείωση της ευελιξίας των εργαζομένων για να συζητηθούν πιθανές λύσεις στα προβλήματα. Αυτή είναι μια συνάρτηση των κύκλων ποιότητας, οι οποίοι αποτελούν σημαντικό μέρος του JIT. Τα μειωμένα προσωρινά αποθέματα και η ευελιξία των εργαζομένων αντιβαίνουν στις άλλες πτυχές του JIT σχετικά με τους κύκλους ποιότητας.
- Η απώλεια της αυτονομίας έναντι των μεθόδων περιλαμβάνει την ιδέα ότι, στο πλαίσιο του JIT, οι εργαζόμενοι πρέπει να τηρούν αυστηρές μεθόδους παραγωγής προκειμένου να διατηρήσουν το σύστημα. Αυτή η ιδέα μειώνει το «επιχειρηματικό πνεύμα» το οποίο πολλοί εργαζόμενοι μπορεί να είχαν προηγουμένως απολαύσει πριν από την εφαρμογή του JIT.
- Η επιτυχία του JIT μπορεί να είναι «συγκεκριμένη για τον κλάδο», δηλαδή οι επιχειρήσεις που προσανατολίζονται στη βιοτεχνία θεωρούνται καλύτεροι υποψήφιοι για ένα πρόγραμμα JIT από ό, τι οι οργανώσεις που παράγουν προϊόντα εμπορίου
- Μπορεί να υπάρξει αντίσταση στην αλλαγή, καθώς το JIT περιλαμβάνει ένα οργανωτικό επίπεδο αλλαγής που θα επηρεάσει σχεδόν κάθε μέλος του οργανισμού. Οι εργαζόμενοι μπορούν να αντισταθούν στην αλλαγή με βάση δύο διαφορετικά επίπεδα: συναισθηματική και ορθολογική αντίσταση. Η Ορθολογική αντίσταση εμφανίζεται όταν ένα άτομο είναι ανεπαρκές των απαραίτητων

πληροφοριών και γεγονότων που σχετίζονται με το βαθμό στον οποίο η αλλαγή θα το επηρεάσει. Η συναισθηματική αντίσταση αναφέρεται στις ψυχολογικές διεργασίες του φόβου, του άγχους και της υποψίας που προκύπτουν από την επαγωγή αλλαγής και προκαλούν αντίσταση, (Cheng & Podolsky, 1996).

1.6 Στόχοι του JIT

Η διαχείριση JIT μπορεί να εφαρμοστεί στις διαδικασίες παραγωγής σε οποιαδήποτε εταιρεία. Επίσης, προσαρμόζεται σε οργανισμούς στον κλάδο των υπηρεσιών. Η JIT, όταν εφαρμόζεται με επιτυχία, μπορεί να μειώσει τις διακυμάνσεις που πολλές βιομηχανικές επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν εξαρτώμενες από την αλλαγή της οικονομικής κατάστασης. Ο Goddard (1986) υποδεικνύει ότι μια εταιρεία μπορεί να επιτύχει το "ανταγωνιστικό πλεονέκτημα" ανταγωνιζόμενη με βάση το κόστος, την υπηρεσία και την ποιότητα. Αυτά τα τρία στοιχεία είναι τα διακριτικά χαρακτηριστικά που θέτουν τα προϊόντα ξεχωριστά μεταξύ τους. Το JIT επιτρέπει στις εταιρείες να φιλτράρουν τα απόβλητα στη διαδικασία παραγωγής, να βελτιώνουν την ποιότητα και να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών με αποτελεσματικό και αξιόπιστο τρόπο. Υπάρχουν τρεις κύριοι στόχοι παραγωγής για τη JIT (Suzaki, 1987). Αυτοί οι στόχοι είναι καθολικοί ή ομοιογενείς, δηλαδή μπορούν να εφαρμοστούν και να προσαρμοστούν σε μια ποικιλία οργανισμών που ανήκουν σε βιομηχανίες που διαφέρουν πολύ από η μία από την άλλη.

1. Αύξηση της ικανότητας του οργανισμού να ανταγωνίζεται ανταγωνιστικές επιχειρήσεις και να παραμείνει ανταγωνιστική μακροπρόθεσμα

Η ανταγωνιστικότητα του οργανισμού ενισχύεται μέσω της χρήσης του JIT, καθώς επιτρέπεται στον οργανισμό να αναπτύξει μια βέλτιστη διαδικασία για την παραγωγή του προϊόντος. Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των διαδικασιών παραγωγής της συμβατικής και της προοδευτικής οργάνωσης. Η συμβατική οργάνωση είναι αυτή που ακολουθεί τις καλές πρακτικές μορφές παραγωγής. Η προοδευτική οργάνωση είναι αυτή που μπορεί να ανταποκριθεί στις αλλαγές στο περιβάλλον και να προσαρμόσει τις διαδικασίες παραγωγής σε αυτές τις αλλαγές. Συχνά, αυτοί οι τύποι οργανισμών είναι οι πρώτοι που αναπτύσσουν ή εφαρμόζουν καινοτόμες λύσεις και μεθόδους παραγωγής. Έτσι, η προοδευτική οργάνωση είναι αυτή που θα ήταν πιο κατάλληλη για να υιοθετήσει τη διοίκηση της JIT. Η προοδευτική οργάνωση είναι αυτή που μπορεί να παραμείνει ανταγωνιστική μέσω της προσαρμογής στις περιβαλλοντικές αλλαγές.

Η προοδευτική οργάνωση θα έχει ένα καλά ενοποιημένο σύστημα παραγωγής, το οποίο περιλαμβάνει κοινές οργανωτικές αξίες, συντονίζει τη ροή των τεχνικών παραγωγής, τη συμμετοχή των ανθρώπων και την ευκαιρία να χρησιμοποιήσουν τις πιθανές δεξιότητες. Οι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των συμβατικών και των προοδευτικών εταιρειών συνεπάγονται επιχειρησιακά και οργανωτικά χαρακτηριστικά. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν το χρόνο ρύθμισης, το μέγεθος της παρτίδας, το απόθεμα, το χώρο δαπέδου, τη μεταφορά, το χρόνο παράδοσης, τα ποσοστά βλαβών και τα προβλήματα μηχανών. Είναι χαρακτηριστικό για τις συμβατικές εταιρείες να βιώσουν μεγάλους χρόνους ρύθμισης και χρόνο παράδοσης. Τα αποθέματα, ο χώρος δαπέδου και τα μεγέθη παρτίδας είναι πιθανό να είναι μεγάλα. Επιπλέον, τα ποσοστά ελαττωμάτων και τα προβλήματα μηχανών θα είναι υψηλά και για τη συμβατική επιχείρηση.

Η προοδευτική εταιρεία θα έχει σύντομη μεταφορά και παράδοση. Τα αποθέματα, ο χώρος δαπέδου και τα μεγέθη παρτίδων θα είναι μικρά και τα ελαττώματα και τα προβλήματα μηχανών θα είναι χαμηλά για αυτούς τους οργανισμούς. Η συνολική λειτουργία της παραγωγής θα είναι πιο ομαλή και πιο αποδοτική από ό, τι για τη συμβατική επιχείρηση. Τα οργανωτικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη δομή, τον προσανατολισμό προς τους στόχους, τις επικοινωνίες, τη συμφωνία, την επικέντρωση σωματείου, τη βάση δεξιοτήτων, τους υποστηρικτές και την εκπαίδευση και την κατάρτιση. Η δομή της προοδευτικής οργάνωσης επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία. Προσανατολίζεται προς τη συνολική βελτιστοποίηση ολόκληρης της εταιρείας, αποφεύγοντας την επικέντρωση στα τμήματα, η οποία τείνει να λειτουργεί ενάντια στην επίτευξη στόχων σε ολόκληρο τον οργανισμό. Η επικοινωνία εντός της προοδευτικής επιχείρησης είναι ανοικτή και δεν υπάρχει μακρά αλυσίδα εντολών που θα ακολουθήσει. Επίσης, η συμφωνία μεταξύ των μελών βασίζεται στην εμπιστοσύνη σε σχέση αυτή που βασίζεται στον έλεγχο. Το επίκεντρο του σωματείου είναι βασισμένο στην εταιρεία και όχι στις δεξιότητες. Η βάση δεξιοτήτων τείνει να είναι ευρεία ή ευέλικτη, ενώ η σύμβαση περιορίζεται σε μικρό αριθμό επιλεγμένων και οι πτυχές εκπαίδευσης και κατάρτισης αποτελούν σημαντικό ρόλο. Αυτά τα είδη οργανισμών είναι πιο πιθανό να επενδύσουν περισσότερους πόρους στην κατάρτιση των εργαζομένων.

2. Αύξηση του βαθμού απόδοσης στην παραγωγική διαδικασία Η αποδοτικότητα θα αφορά την επίτευξη υψηλότερων επιπέδων παραγωγικότητας με παράλληλη ελαχιστοποίηση του σχετικού κόστους παραγωγής.

3. Μείωση του βαθμού σπατάλης υλικών, χρόνου και προσπάθειας που εμπλέκονται στην παραγωγική διαδικασία Η εξάλειψη των περιττών αποβλήτων μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Οι παραπάνω τρεις γενικοί στόχοι ισχύουν για κάθε επιχείρηση. Ωστόσο, υπάρχουν διάφοροι άλλοι στόχοι, οι οποίοι μπορεί να είναι συγκεκριμένοι για τους οργανισμούς. Προκειμένου η διαχείριση της JIT να λειτουργήσει και να είναι κερδοφόρα, πρέπει να είναι πλήρως προσαρμοσμένη στην επιχείρηση. Κάθε οργανισμός είναι μοναδικός στις διαδικασίες παραγωγής του και στους στόχους που επιδιώκει να επιτύχει. Επιπλέον, κάθε οργανισμός θα βρίσκεται σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης. Οι στόχοι για κάθε οργανισμό είναι μοναδικοί ως προς την προτεραιότητά τους και τη σημασία τους. Οι στόχοι της JIT είναι χρήσιμοι για να βοηθήσουν τον οργανισμό να καθορίσει, να κατευθύνει και να προετοιμαστεί για την υλοποίησή τους. Υπάρχουν βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι στόχοι, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα ακόλουθα.

- Προσδιορισμός και ανταπόκριση στις ανάγκες των καταναλωτών Αυτός ο στόχος θα βοηθήσει τον οργανισμό να εστιάσει σε αυτό που απαιτείται από τους πελάτες και απαιτείται από την παραγωγή. Ο θεμελιώδης σκοπός της οργάνωσης είναι να παράγει προϊόντα τα οποία οι πελάτες της θέλουν, ως εκ τούτου, η ανάπτυξη μιας παραγωγικής διαδικασίας που παράγει ποιοτικά προϊόντα θα εξασφαλίσει τη βιωσιμότητα του οργανισμού.
- Στόχος της βέλτιστης σχέσης ποιότητας / κόστους Η επίτευξη της ποιότητας δεν θα πρέπει να γίνεται στο σημείο που δεν αποδίδει στον οργανισμό. Ως εκ τούτου, πρέπει να δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη μιας διαδικασίας παραγωγής που στοχεύει σε μηδενικά ελαττώματα. Αυτό μπορεί να φαίνεται σαν ένας μη ρεαλιστικός στόχος. Ωστόσο, είναι πολύ λιγότερο δαπανηρός για την επιχείρηση μακροπρόθεσμα, καθώς εξαλείφει τις πλεονάζουσες λειτουργίες όπως η επιθεώρηση, η επαναπαραγωγή και η παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων.
- Εξάλειψη περιττών αποβλήτων Υπάρχουν απόβλητα που δεν προσθέτουν αξία στο προϊόν. Διακρίνονται διάφορες κατηγορίες αποβλήτων (Goddard, 1993), μερικές από τις οποίες προκαλούν μεγαλύτερη ανησυχία στις διαδικασίες εξάλειψης των αποβλήτων από άλλες.
- Στόχος της ανάπτυξης σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ των προμηθευτών Θα πρέπει επίσης να επικεντρωθούν οι σχέσεις με λίγους ή ακόμη και έναν προμηθευτή. Αυτό θα συμβάλει στη δημιουργία μιας αποδοτικότερης εταιρείας όσον αφορά τα αποθέματα και τα υλικά, την έγκαιρη παράδοση των παραγγελιών

και τη διαβεβαίωση ότι τα υλικά θα είναι διαθέσιμα όταν απαιτείται.

- Σχεδιασμός του εργοστασίου για μέγιστη απόδοση και ευκολία παραγωγής. Αυτό συνεπάγεται τη χρήση μηχανημάτων και εργασίας που είναι απολύτως απαραίτητα για τη διαδικασία παραγωγής
- Η υιοθέτηση της ιαπωνικής ηθικής της εργασίας με στόχο τη συνεχή βελτίωση παρόλο που ήδη επιτυγχάνονται υψηλά πρότυπα, θα διασφαλίσει ότι ο οργανισμός παραμένει ανταγωνιστικός, συνεχώς προσπαθώντας να καλύψει τις ανάγκες των καταναλωτών.

Παρόλο που πολλά εργοστάσια της Βόρειας Αμερικής υιοθέτησαν τεχνικές διαχείρισης της JIT πριν από μερικά χρόνια, πολλές από αυτές τις επιχειρήσεις δεν έχουν ακόμα καταλάβει το πλήρες δυναμικό των οφελών, αν και έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις. Έχει πάρει στην Toyota δέκα χρόνια να τελειοποιήσει την τεχνική JIT μέσα στις εγκαταστάσεις της. Ως εκ τούτου, η JIT είναι μια μακροπρόθεσμη διαδικασία η οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, ούτε οι ανταμοιβές της μπορούν να υλοποιηθούν σε μικρό χρόνο.

Η JIT μπορεί να προσφέρει στον οργανισμό ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, το οποίο μπορεί να έχει τη μορφή προσφοράς προϊόντων υψηλότερης ποιότητας από εκείνα που προσφέρουν οι αντίπαλες επιχειρήσεις ή η παροχή ανώτερης υπηρεσίας ή η ανάπτυξη ανώτερου μέσου παραγωγής που επιτρέπει στον οργανισμό να γίνει όλο και πιο αποδοτικός ή παραγωγικός. Ο Lubben (1988) προτείνει τρεις τρόπους με τους οποίους η JIT μπορεί να βοηθήσει τη διοίκηση να αποκτήσει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

1. Ενσωμάτωση και βελτιστοποίηση Αυτό συνεπάγεται τη μείωση της λειτουργίας και των πόρων που δεν διευκολύνουν την παραγωγή.
2. Βελτίωση συνεχώς Αυτό συνεπάγεται τη συνεχή προσπάθεια βελτίωσης των διαδικασιών και των συστημάτων.
3. Κατανόηση του πελάτη, αυτό συνεπάγεται μείωση του κόστους των προϊόντων και ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών.

Ο Hall (1989) αναφέρει τέσσερις τομείς που συμβάλλουν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας: 30-60% μείωση των απορρίψεων ποιότητας, μείωση του χρόνου παραγωγής 50-90%, μείωση των κεφαλαιουχικών δαπανών κατά 25-30%. και σημαντικές μειώσεις του κόστους αποθεμάτων. Ένα άλλο πιθανό όφελος που μπορεί να επιτευχθεί είναι η ανακάλυψη προβλημάτων που ενυπάρχουν στην παραγωγική

διαδικασία τα οποία μπορεί να έρθουν στην επιφάνεια λόγω της εξορθολογισμού ή της μείωσης της χαλάρωσης μέσα στη διαδικασία, (Cheng & Podolsky, 1996).

1.7 Στρατηγικές εφαρμογής του JIT

Το JIT περιλαμβάνει ένα αρκετά μεγάλο σύνολο τεχνικών που δεν μπορούν να εφαρμοστούν ταυτόχρονα. Λόγω της πολυπλοκότητάς του, είναι αδύνατο να προσδιοριστεί μια σειρά από καλά καθορισμένα βήματα για την εφαρμογή του σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Ωστόσο, έχουν προταθεί ορισμένες γενικές κατευθυντήριες γραμμές για την εφαρμογή του και αυτές αποτελούν τη βάση για την εξεύρεση του κατάλληλου τρόπου για την εφαρμογή του JIT. Ο Inman, (1991), πρότεινε ότι βασικά εμπόδια, όπως η μακρά αλλαγή με την πάροδο του χρόνου, τα μη προγραμματισμένα χρονοδιαγράμματα παραγωγής, οι μεταβλητές παραγωγικές διαδικασίες, τα μεγάλα μεγέθη συσκευασιών, τα σοβαρά σημεία συμφόρησης και οι μακρές προθεσμίες πρέπει να αφαιρεθούν πριν από την εφαρμογή του JIT. Οι μεγάλοι χρόνοι μετάβασης πρέπει να αντιμετωπιστούν πρώτα. Λόγω του πολύπλοκου χαρακτήρα της υλοποίησης του JIT, είναι σημαντικό να εστιασθεί το σύστημα σε μια σαφώς καθορισμένη περιοχή, οριοθετώντας κατάλληλα τον τομέα εφαρμογής. Σε γενικές γραμμές, μπορεί κανείς να σκεφτεί την εφαρμογή του JIT από διαφορετικές γωνίες, οι πιο συνηθισμένες είναι οι άνθρωποι και οι τεχνικές γωνίες. Ο πρώτος περιλαμβάνει πτυχές συμπεριφοράς και κίνητρα καθώς και εκπαίδευση στη φιλοσοφία του JIT και κατάρτιση στις λεπτομερείς διαδικασίες.

Η «Μηχανική», από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει πτυχές του JIT, όπως η διάταξη, ο σχεδιασμός των προϊόντων για την παραγωγή και η μείωση της εγκατάστασης. Πολλές εταιρείες έχουν επιδιώξει να εφαρμόσουν το JIT από την πλευρά της μηχανικής. Ωστόσο, οι εμπειρογνώμονες του JIT, όπως οι Schonberger, (1984), και Hall, (1983), υποστηρίζουν ότι είναι απαραίτητο να ξεκινήσει η εφαρμογή του JIT με μεγάλη προσοχή, αφενός, στις πτυχές των ανθρώπων. Προκειμένου να δημιουργηθεί μια βάση γνώσεων των βημάτων υλοποίησης του JIT, οι Fiedler et al., (1993), προτείνουν την ακόλουθη διαδικασία δύο σταδίων:

1. Προετοιμάστε το εργοστάσιο και τους ανθρώπους του για ευελιξία, χαμηλό κόστος, σύντομες προθεσμίες και υψηλή ποιότητα, εστιάζοντας στο σχεδιασμό. συντήρηση; ποιότητα; σχέδιο; χρόνος εγκατάστασης; και τους ανθρώπους.

2.

Προσπαθήστε να παράγετε σε μηδενικό νεκρό χρόνο χωρίς καθυστέρηση εστιάζοντας: στη συνολική συμμετοχή των ανθρώπων, ορατότητα, συλλογή

δεδομένων διεργασίας, ενισχυμένη βελτίωση, προγραμματισμό ροή, έλεγχο αποθεμάτων, μείωση του μεγέθους της παρτίδας και τη σχέση προμηθευτή και πελατείας.

Αυτά τα δύο στάδια, ωστόσο, δεν καθορίζουν μια γενική ακολουθία βημάτων για την εφαρμογή του JIT. Επιπλέον, η ικανότητα των διαφορετικών τεχνικών και στα δύο στάδια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συγκεκριμένο περιβάλλον παραγωγής. Επομένως, όλες οι τεχνικές του σταδίου 1 δεν πρέπει απαραίτητα να εφαρμοστούν πριν από την έναρξη του πρώτου σταδίου. Αντίθετα, η εφαρμογή του JIT είναι μια συνεχής κυκλική διαδικασία βελτιώσεων - οι ενέργειες σε έναν τομέα καθιστούν δυνατές δράσεις σε έναν άλλο τομέα. Ομοίως, οι Padukone και Subba, (1993), έχουν ομαδοποιήσει τις τεχνικές JIT σε δύο στάδια.

Το πρώτο στάδιο της υλοποίησης του JIT αποτελείται από τομείς που είναι απαραίτητοι για την πλήρη λειτουργία του JIT. Επικεντρώνονται σε τέσσερα βασικά στοιχεία του JIT που μπορούν να επιτευχθούν βραχυπρόθεσμα. Αυτά είναι η απλότητα, η ροή, η ποιότητα και η γρήγορη ρύθμιση και θέτουν τα θεμέλια για να γίνουν οι πιο δύσκολες τεχνικές όπως οι αγορές kanban και JIT, οι οποίες αποτελούν μέρος της δεύτερης φάσης, (Kumar, 2010).

1.8 Βελτιώνοντας το JIT μέσω του IoT

Οι ανεπτυγμένοι αισθητήρες και οι τεχνολογίες ασύρματων δικτύων έχουν αυξήσει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης τεχνολογιών Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) στη διαδικασία παραγωγής, (Vermesan et al, 2011). Το IoT μπορεί να συνδέσει φυσικά στοιχεία στη διαδικασία παραγωγής, όπως υλικά, εργασίες σε εξέλιξη (WIP), τελικά προϊόντα, εργασία, μηχανή, εργαλειομηχανές κλπ., και να καταγράψει την κατάσταση και τις επιδόσεις τους έτσι ώστε να υποστηρίξει τον προγραμματισμό της παραγωγής. Ωστόσο, το πώς θα χρησιμοποιηθούν αυτές οι πληροφορίες προσθήκης για να βοηθηθεί ο προγραμματισμός της παραγωγής παραμένει μία τρέχουσα ερευνητική ερώτηση. Η εργασία των Xu & Chen, (2016), παρουσιάζει ένα έργο ανάπτυξης ενός πλαισίου βασισμένου σε IoT για την ενίσχυση της παραγωγής JIT μέσω της αντιμετώπισης συγκεκριμένων προκλήσεων στη διαδικασία προγραμματισμού. Η εργασία τους έχει τους ακόλουθους στόχους:

- Να προσδιορίσει συγκεκριμένες προκλήσεις της διαδικασίας προγραμματισμού στο περιβάλλον παραγωγής JIT

- Να σχεδιάσει μια λύση βασισμένη στο IoT για την αντιμετώπιση των εντοπισμένων προκλήσεων για μια επιλεγμένη περιπτώσιολογική μελέτη
- Να δημιουργηθεί ένα δυναμικό πλαίσιο προγραμματισμού παραγωγής βασισμένο στην σχεδιασμένη λύση που βασίζεται στο IoT

Το έγγραφο των Xu & Chen, (2016), αρχίζει με την ανασκόπηση της σχετικής έρευνας, ακολουθείται από τον εντοπισμό των προκλήσεων της διαδικασίας προγραμματισμού στην παραγωγή JIT για να αναδειχθεί η απαίτηση του πλαισίου. Μετά από αυτό, μέσα από ένα επιλεγμένο σενάριο, δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο βασισμένο σε λύση IoT για την αντιμετώπιση των εντοπισμένων προκλήσεων. Στο τέλος, προτάθηκε σχέδιο εφαρμογής για το καθιερωμένο πλαίσιο.

Οι Guo et al, (2015), ανέπτυξαν ένα σύστημα με λειτουργίες απομακρυσμένης παρακολούθησης και προγραμματισμού παραγωγής σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον παραγωγής που βασίζεται στην τεχνολογία RFID και cloud. Το σύστημα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις λήψης αποφάσεων σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με καλή επεκτασιμότητα και δυνατότητα κλιμάκωσης. Δημιουργείται πλαίσιο για τη συλλογή της κατάστασης παραγωγής σε πραγματικό χρόνο των μηχανών και των χειριστών, προκειμένου να παρακολουθείται η πρόοδος της παραγωγής σε μονάδες υψηλής έντασης εργατικού δυναμικού και στους προμηθευτές τους. Οι συγκεντρωμένες πληροφορίες από τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται για απομακρυσμένη παρακολούθηση σε διαφορετικά επίπεδα για τη στήριξη της λήψης αποφάσεων στον κατασκευαστικό προγραμματισμό. Οι Zhang et al, (2014), δημιούργησαν μια αρχιτεκτονική για να πραγματοποιήσει προγραμματισμό και αναδιάταξη σε πραγματικό χρόνο μέσω της τεχνολογίας RFID και του σχεδιασμού πολλαπλών παραγόντων. Η αρχιτεκτονική συνδέεται με το MRP II για να λαμβάνει πληροφορίες για την παραγγελία, ενώ ο παράγοντας μηχανής έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται και να επεξεργάζεται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται μέσω συσκευών RFID σε σημαντικές πληροφορίες (κατάσταση πραγματικού χρόνου του μηχανήματος) που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία προγραμματισμού.

Οι πληροφορίες που παράγονται από τον παράγοντα μηχανής χρησιμοποιούνται για την ανάθεση εργασιών σε μηχανές με βάση τη διαδικασία. Οι Zhong et al, (2015), θεώρησαν ένα άλλο μοντέλο σχεδιασμού και προγραμματισμού παραγωγής σε ένα περιβάλλον καταστήματος που λειτουργεί με δυνατότητα τεχνολογίας IoT (RFID). Το μοντέλο βασίζεται σε μια λύση δύο επιπέδων (σχεδιασμός παραγωγής και προγραμματισμός). Οι συσκευές RFID στο μοντέλο δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την παρακολούθηση της

προόδου παραγωγής και της κατάστασης του μηχανήματος / χειριστή, αλλά και για την παράδοση των πληροφοριών εργασίας στους χειριστές.

Οι Geerts et al, (2014), κατέδειξαν έναν τρόπο δημιουργίας ενός μοντέλου αλυσίδας εφοδιασμού βασισμένου στο IoT, το οποίο παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως η ισχυρή ορατότητα, η διαλειτουργικότητα και η πρακτικότητα. Οι Chen et al, (2010), πρότειναν ένα πλαίσιο βασισμένο σε RFID για τη διαχείριση των παραγωγικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Το πλαίσιο επιτρέπει στις επιχειρήσεις να ενσωματώνουν λύσεις βασισμένες σε RFID στην υποδομή τεχνολογίας πληροφοριών και το περιβάλλον παραγωγής τους. Οι Poon et al, (2007), ανέπτυξαν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένο σε RFID για την παρακολούθηση της κατάστασης των εγκαταστάσεων παραγωγής σε ένα κατάστημα σε πραγματικό χρόνο. Οι Ngai et al (2007), ανέπτυξαν ένα σύστημα βασισμένο σε RFID για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό αντικειμένων επισκευής αεροσκαφών σε εταιρεία μηχανικής αεροσκαφών. Οι Wang et al , (2011), χρησιμοποίησαν τεχνολογίες RFID και Internet για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων παραγωγής σε μια κατασκευαστική εταιρεία. Έχουν αναπτύξει ένα σύστημα με δυνατότητα απομακρυσμένης σύνδεσης, το οποίο μπορεί να παρακολουθεί την πρόοδο της παραγωγής σε κατανεμημένο περιβάλλον όπως η αλυσίδα εφοδιασμού.

2 Η Έννοια της Βελτιστοποίησης

Ο στόχος της βελτιστοποίησης είναι ο καθορισμός των τιμών ενός συνόλου παραμέτρων έτσι ώστε να ικανοποιείται κάποιο μέτρο βελτιστοποίησης, υπό ορισμένους περιορισμούς. Αυτή η εργασία έχει μεγάλη σημασία για πολλά επαγγέλματα, για παράδειγμα, οι φυσικοί, οι χημικοί και οι μηχανικοί ενδιαφέρονται για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού κατά το σχεδιασμό μιας χημικής μονάδας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, με την επιφύλαξη ορισμένων περιορισμών, π.χ. το κόστος και τη ρύπανση. Οι επιστήμονες απαιτούν τεχνικές βελτιστοποίησης όταν εκτελούν μη γραμμικό πρόβλημα ή κάποια προσαρμογή μοντέλου.

Ο όρος βελτιστοποίηση αναφέρεται σε εργασίες ελαχιστοποίησης και μεγιστοποίησης. Μια εργασία για τη μεγιστοποίηση της συνάρτησης f είναι ισοδύναμη με την προσπάθεια ελαχιστοποίησης της $-f$, επομένως οι όροι ελαχιστοποίηση, μεγιστοποίηση και βελτιστοποίηση χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Η εργασία του Van Den Bergh, (2006), ασχολείται κυρίως με καθήκοντα ελαχιστοποίησης, χωρίς περιορισμούς που τυπικά ορίζονται ως:

δεδομένης $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, να βρεθεί $x^* \in \mathbb{R}^n$ για το οποίο $f(x^*) \leq f(x), \forall x \in \mathbb{R}^n$

Ορισμένα προβλήματα απαιτούν ότι ορισμένες από τις παραμέτρους ικανοποιούν ορισμένους περιορισμούς, π.χ. όλες οι παράμετροι πρέπει να είναι μη αρνητικές. Αυτοί οι τύποι προβλημάτων είναι γνωστοί ως εργασίες ελαχιστοποίησης υπό περιορισμούς. Είναι συνήθως πιο δύσκολο να επιλυθούν από τις αντίστοιχες χωρίς περιορισμούς εκδόσεις τους και δεν εξετάζονται ρητά στην εργασία του Van Den Bergh, (2006). Μια άλλη κατηγορία προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι γνωστά ως προβλήματα ελαχίστων τετραγώνων, τα οποία έχουν τη μορφή:

δεδομένης $r: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m, n < m$

να βρεθεί $x^* \in \mathbb{R}^n$ για το οποίο $\sum_{i=1}^m (r_i(x))^2$ ελαχιστοποιείται

Αυτά τα προβλήματα βελτιστοποίησης εμφανίζονται όταν υπάρχουν περισσότερες μη γραμμικές απαιτήσεις από βαθμούς ελευθερίας. Σημειώνεται ότι το πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας την ίδια προσέγγιση που χρησιμοποιείται στην επίλυση του προβλήματος της εξίσωσης (1.1), καθορίζοντας

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (r_i(x))^2 \quad (1.3)$$

και ελαχιστοποιώντας την f . Η εργασία εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου μερικές φορές λύνεται ως ένα τέτοιο μη γραμμικό πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων. Οι τεχνικές

που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων ελαχιστοποίησης που ορίζονται παραπάνω μπορούν να τοποθετηθούν σε δύο κατηγορίες: Αλγόριθμοι τοπικής και ολικής βελτιστοποίησης.

2.1 Τοπική βελτιστοποίηση

Ένα τοπικό σημείο ελαχίστου x_B^* , της περιοχής B , ορίζεται έτσι ώστε

$$f(x_B^*) \leq f(x), \forall x \in B$$

Όπου $B \subset S \subseteq \mathbb{R}^n$ και S είναι ο χώρος αναζήτησης. Σημειώνεται ότι $S = \mathbb{R}^n$ κατά την εξέταση προβλημάτων χωρίς περιορισμούς. Το πιο σημαντικό, είναι ότι το B είναι ένα σωστό υποσύνολο του S . Ένας δεδομένος χώρος αναζήτησης S μπορεί να περιέχει πολλαπλές περιοχές B_i έτσι ώστε $B_i \cap B_j = \emptyset$ όταν $i \neq j$. Στη συνέχεια ακολουθεί ότι $x_{B_i}^* \neq x_{B_j}^*$, έτσι ώστε το ελάχιστο της κάθε περιοχής B_i να είναι μοναδικό. Οποιοσδήποτε από τους $x_{B_i}^*$ μπορεί να θεωρηθεί ως σημείο ελαχίστου του B , αν και είναι απλώς τοπικά ελάχιστα.

Δεν υπάρχει περιορισμός στην τιμή που μπορεί να λάβει η συνάρτηση στο σημείο ελαχίστου, έτσι ότι το $f(x_{B_i}^*) = f(x_{B_j}^*)$ επιτρέπεται. Η τιμή $f(x_{B_i}^*)$ θα ονομάζεται τοπικό ελάχιστο.

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης απαιτούν ένα σημείο εκκίνησης $z_0 \in S$. Ένας αλγόριθμος τοπικής βελτιστοποίησης θα πρέπει να εγγυάται ότι θα είναι σε θέση να βρει το σημείο ελαχίστου, x_B^* του συνόλου B αν $z_0 \in B$. Ορισμένοι αλγόριθμοι ικανοποιούν έναν ελαφρώς ασθενέστερο περιορισμό, δηλαδή ότι εγγυώνται την εξεύρεση ενός σημείου ελαχίστου, $x_{B_i}^*$ κάποιου συνόλου B_i , όχι απαραίτητα του πλησιέστερου στο z_0 .

2.2 Ολική βελτιστοποίηση

Το σημείο ολικού ελαχίστου, x^* , ορίζεται έτσι ώστε

$$f(x^*) \leq f(x), \forall x \in S$$

όπου S είναι ο χώρος αναζήτησης. Για προβλήματα χωρίς περιορισμούς είναι σύνηθες να επιλέγεται $S = \mathbb{R}^n$, όπου n είναι η διάσταση του x . Στην εργασία του Van Den Bergh, (2006), ο όρος ολική βελτιστοποίηση θα αναφέρεται αυστηρά στη διαδικασία εύρεσης του x^* . Ο όρος ολικό ελάχιστο θα αναφέρεται στην τιμή $f(x^*)$, και το x^* θα ονομάζεται σημείο ολικού ελαχίστου.

Ο αλγόριθμος ολικής βελτιστοποίησης, όπως και οι αλγόριθμοι τοπικής βελτιστοποίησης που περιγράφονται παραπάνω, ξεκινά επίσης επιλέγοντας μια αρχική θέση εκκίνησης z_0

Ε S. Αντίθετα, μερικά κείμενα ορίζουν τον αλγόριθμο ολικής βελτιστοποίησης διαφορετικά, δηλαδή σαν έναν αλγόριθμο που μπορεί να βρει ένα (τοπικό) ελάχιστο του $B \subset S$, ανεξάρτητα από την πραγματική θέση του z_0 . Αυτοί οι αλγόριθμοι αποτελούνται από δύο βήματα: "καθολικά" βήματα και "τοπικά" βήματα. Τα τοπικά βήματα τους είναι συνήθως η εφαρμογή ενός αλγόριθμου τοπικής ελαχιστοποίησης και τα "καθολικά" βήματα τους έχουν σχεδιαστεί για να εξασφαλίσουν ότι ο αλγόριθμος θα μετακινηθεί σε μια περιοχή B_i , από όπου το "τοπικό" βήμα θα είναι σε θέση να βρει το ελάχιστο του B_i . Αυτές οι μέθοδοι θα αναφέρονται ως αλγόριθμοι καθολικής σύγκλισης, πράγμα που σημαίνει ότι είναι σε θέση να συγκλίνουν σε ένα τοπικό σημείο ελαχίστου ανεξάρτητα από την αρχική τους θέση z_0 . Αυτές οι μέθοδοι μπορούν επίσης να βρουν το σημείο ολικού ελαχίστου, δεδομένου ότι η θέση εκκίνησης z_0 επιλέγεται σωστά. Ωστόσο, δεν υπάρχει γνωστός αξιόπιστος, γενικός τρόπος για να γίνει αυτό.

2.3 Θεώρημα No Free Lunch

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εξελίξεις στη θεωρία βελτιστοποίησης ήταν η δημοσίευση του θεωρήματος "No Free Lunch" (NFL) από τους Wolpert και Macready (1995). Αυτό το θεώρημα δηλώνει ότι η απόδοση όλων των αλγορίθμων βελτιστοποίησης (αναζήτησης), που αποσβένεται πάνω στο σύνολο όλων των πιθανών συναρτήσεων, είναι ισοδύναμη.

Οι συνέπειες αυτού του θεωρήματος είναι πολύ εκτεταμένες, δεδομένου ότι υποδηλώνει ότι κανένας αλγόριθμος δεν μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι ανώτερος από μια γραμμική απαρίθμηση του χώρου αναζήτησης ή ακόμα και από μια καθαρά τυχαία αναζήτηση. Το θεώρημα ορίζεται μόνο σε πεπερασμένους χώρους αναζήτησης, Ωστόσο, δεν είναι ακόμη σαφές εάν το αποτέλεσμα ισχύει για άπειρους χώρους αναζήτησης.

Όλες οι εφαρμογές ηλεκτρονικών υπολογιστών στους αλγορίθμους αναζήτησης θα λειτουργούν αποτελεσματικά σε πεπερασμένους χώρους αναζήτησης, και έτσι το θεώρημα είναι άμεσα εφαρμόσιμο σε όλους τους υπάρχοντες αλγόριθμους. Αν και το θεώρημα NFL δηλώνει ότι όλοι οι αλγόριθμοι εκτελούν εξίσου καλά πάνω στο σύνολο όλων των συναρτήσεων, αυτό δεν ισχύει απαραίτητα για όλα τα υποσύνολα αυτού του συνόλου. Το σύνολο όλων των συναρτήσεων σε ένα πεπερασμένο χώρο περιλαμβάνει το σύνολο όλων των μεταλλαγών αυτού του χώρου. Πολλές από αυτές τις συναρτήσεις δεν έχουν συμπαγείς ορισμούς, έτσι ώστε να φαίνονται σε μεγάλο βαθμό "τυχαίες". Οι περισσότερες συναρτήσεις του πραγματικού κόσμου, ωστόσο, έχουν κάποια δομή και συνήθως έχουν συμπαγείς περιγραφές. Αυτοί οι τύποι συναρτήσεων αποτελούν ένα μάλλον μικρό υποσύνολο του συνόλου όλων των συναρτήσεων. Αυτή η ανησυχία

οδήγησε στην ανάπτυξη ειδικών εκδόσεων του NFL (Schumacher et al, 2001), δείχνοντας ότι ισχύει για πολύ μικρότερα υποσύνολα από ό, τι αρχικά πιστευόταν. Μια πιο εποικοδομητική προσέγγιση είναι να γίνει προσπάθεια και να χαρακτηριστεί το σύνολο των συναρτήσεων πάνω στις οποίες δεν ισχύει το NFL.

3 Εξελικτικοί Υπολογισμοί

3.1 Εισαγωγή

Η θεωρία της Εξέλιξης των Ειδών (Evolution of Species) που αναπτύχθηκε από τον Δαρβίνο μπορεί να προκάλεσε έντονες αντιδράσεις, από τις επικρατούσες θρησκευτικές αντιλήψεις περί προέλευσης της ζωής, ωστόσο η θεωρία έχει γίνει αποδεκτή από το σύνολο των επιστημόνων, γιατί έχει κατορθώσει να προσφέρει ικανοποιητικές απαντήσεις σε θεμελιώδη ερωτήματα. Σκοπός της θεωρίας αυτής είναι να δώσει μια εξήγηση για το φαινόμενο της ζωής, την προέλευσή της και τις βασικές λειτουργίες της

Σε αυτήν τη θεωρία βασίζονται και οι Εξελικτικοί Υπολογισμοί (Evolutionary Computations), που είναι αποτέλεσμα προσομοίωσης της φυσικής εξέλιξης. Οι οποίοι χρησιμοποιούν υπολογιστικά μοντέλα εξελικτικών διαδικασιών σαν βασικά στοιχεία σχεδιασμού και υλοποίησης υπολογιστικών συστημάτων επίλυσης προβλημάτων.

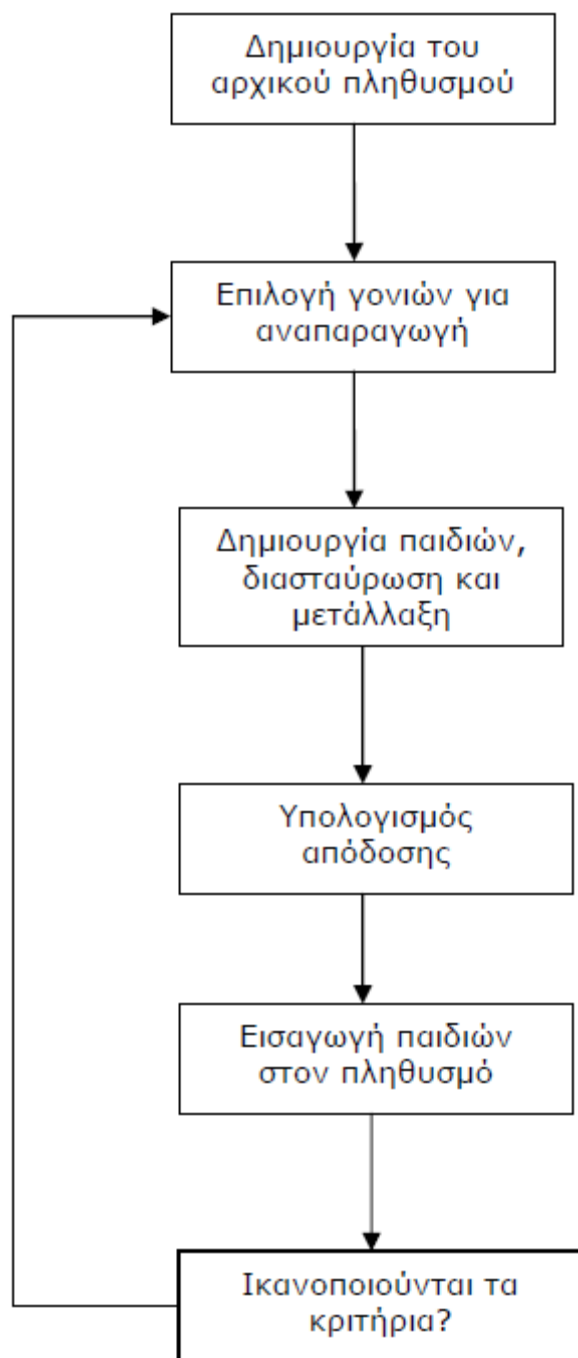
Μιμούνται τις διαδικασίες βιολογικής εξέλιξης με την υλοποίηση των ιδεών της φυσικής επιλογής και της επικράτησης του ισχυρότερου, έτσι ώστε να παρέχουν αποτελεσματικές λύσεις σε προβλήματα αναζήτησης και βελτιστοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα, οι ΕΥ διατηρούν ένα πληθυσμό ατόμων/δομών (population of individuals) τον οποίο εξελίσσουν σύμφωνα με κάποιους κανόνες επιλογής (selection rules) και κάποιους τελεστές (operators), όπως ανασυνδυασμός (recombination) και μετάλλαξη (mutation). Κάθε άτομο (individual) του πληθυσμού αντιπροσωπεύει ένα σημείο του χώρου των πιθανών λύσεων ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Επίσης περιέχει και κάποια γνώση για τους κανόνες του περιβάλλοντος του προβλήματος. Σε κάθε άτομο του πληθυσμού αντιστοιχείται ένα μέτρο αξιολόγησης (fitness) που διαθέτει στο συγκεκριμένο περιβάλλον του προβλήματος το οποίο αντιμετωπίζεται και το οποίο κωδικοποιείται μέσω κάποιας συνάρτησης αξιολόγησης (fitness function). Η επιλογή γίνεται βάσει ατόμων (individuals) με την καλύτερη συνάρτηση αξιολόγησης. Ο ανασυνδυασμός και η μετάλλαξη διαταράσσουν την δομή των ατόμων παρέχοντας δυνατότητες διερεύνησης του χώρου.

Ο αρχικός πληθυσμός ενός ΕΥ συνήθως αρχικοποιείται σε τυχαίες τιμές και εξελίσσεται προς διαδοχικά καλύτερες περιοχές του χώρου αναζήτησης μέσω των προαναφερθέντων στοχαστικών διαδικασιών της επιλογής, του ανασυνδυασμού και της μετάλλαξης. Το περιβάλλον αποδίδει πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα (fitness value) των νέων σημείων

αναζήτησης, και η διαδικασία επιλογής ευνοεί τα άτομα με καλύτερη ποιότητα να αναπαράγονται συχνότερα από τα άλλα άτομα του πληθυσμού. Ο μηχανισμός

ανασυνδυασμού επιτρέπει την μείξη της πληροφορίας που μεταφέρουν οι γονείς στους απογόνους και η μετάλλαξη εισάγει νέα στοιχεία, καινοτομίες στον πληθυσμό.



Σχήμα 1 Διάγραμμα ροής τυπικού Εξελικτικού Αλγορίθμου

Οι ΕΑ ανήκουν στην οικογένεια του ΕΥ, όπως και ο Διαφοροεξελικτικός Αλγόριθμος που έχει συντελέσει τα μέγιστα σε αυτήν την διπλωματική. Το Σχήμα περιγράφει την δομή που διαχωρίζεται ο ΕΥ και παρουσιάζονται οι πιο γνωστοί ΕΑ, όπως:

- οι Γενετικοί Αλγόριθμοι (ΓΑ)(Genetic Algorithm (GA))
- οι Εξελικτικές Στρατηγικές (ΕΣ)(Evolutionary Strategies(ES))

- ο Εξελικτικός Προγραμματισμός (ΕΠ)(Evolutionary Programming (EP))
- ο Γενετικός Προγραμματισμός (ΓΠ)(Genetic Programming (GP))
- οι Διαφοροεξελικτικοί Αλγόριθμοι (ΔΕ)(Differential Evolution (DE))
- και οι Αλγόριθμοι Νοημοσύνης Σμηνών (ΑΝΣ)(Particle Swarm Intelligence (PSO))

3.2 Διαφοροεξελικτικός Αλγόριθμος

Ο Διαφοροεξελικτικός Αλγόριθμος (ΔΕ) αναπτύχθηκε από τους Storn και Price. Είναι ένας στοχαστικός πληθυσμιακός αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί και εξελίσσει έναν πληθυσμό από υποψήφιες λύσεις έτσι ώστε να μπορέσει να βρει το ολικό ελάχιστο της υπό-εξέταση συνάρτησης (αντικειμενικής συνάρτησης (ΑΣ)). Αντίθετα με τις ΕΣ που βασίζονται στην έξοδο μιας προκαθορισμένης πιθανότητας κατανομής, οι ΔΕ εκτελούν τη διαδικασία της μετάλλαξης με τις διαφορές τυχαίων ζευγαριών από άτομα που ανήκουν στον πληθυσμό $X_{r1} - X_{r2}$. Προφανώς, η κατανομή αυτών των διανυσμάτων διαφορών καθορίζεται από την κατανομή των ίδιων των ατόμων του πληθυσμού.

Ο ΔΕ παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, ειδικότερα σε προβλήματα ολικής βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα :

- Γρήγοροι, απλοί, εύκολοι για χρήση και τροποποιήσεις,
- Αποτελεσματικοί, με ιδιαίτερες ικανότητες για ολική βελτιστοποίηση,
- Εγγενής παράλληλη διαδικασία,
- Η ακρίβειά τους περιορίζεται από την ακρίβεια των αριθμών κινητής υποδιαστολής,
- Αποδοτικοί, χρησιμοποιώντας μόνο $O(n)$ διαδικασίες, χωρίς να υπολογίζουν διαδικασίες ταξινόμησης ή πολλαπλασιασμού μητρώων,
- Χρησιμοποιούν αυτο-αναφερόμενες μεταλλάξεις και δεν χρειάζεται να προκαθοριστεί κάποια συγκεκριμένη κατανομή,
- Μπορούν εύκολα και αποδοτικά να εφαρμοστούν σε ακέραια, διακριτά και μικτής βελτιστοποίησης προβλήματα.
- Δεν απαιτούν η αντικειμενική συνάρτηση να είναι παραγωγίσιμη,
- Λειτουργούν σε επίπεδες επιφάνειες,

- Λειτουργούν σε προβλήματα με θόρυβο και με αντικειμενικές συναρτήσεις που μεταβάλλονται δυναμικά με το χρόνο,
- Μπορούν να παρέχουν πολλές λύσεις σε ένα μόνο τρέξιμο.
- Μπορούν να παρέχουν εξελικτικές λύσεις για παιχνίδια και προσομοιώσεις,

3.2.1 Ανάλυση Αλγορίθμου

Ο ΔΕ αρχικά δημιουργεί ένα τυχαίο κατανεμημένο πληθυσμό $P_{G=0}$ από NP D-διάστατα διανύσματα $X_{i,j,G}$:

$$P_G = \{X_{1,G}, X_{2,G}, \dots, X_{i,G}, \dots, X_{NP,G}\}$$

$$X_{i,G} = X_{i,j,G}$$

$$X_{i,j,G=0} = X_j^{(lo)} + rand_j[0,1](X_j^{(hi)} - X_j^{(lo)})$$

$$i = 1, 2, \dots, NP, \quad NP \geq 4, \quad j = 1, 2, \dots, D$$

Ο όρος $rand_j[0,1]$ αναπαριστά μια ομοιόμορφη κατανεμημένη τυχαία μεταβλητή η οποία παίρνει τιμές στο διάστημα ανάμεσα στο μηδέν και στο ένα. Ο υποδείκτης j υποδεικνύει ότι μια καινούρια τυχαία τιμή θα δημιουργηθεί για κάθε τιμή του j . Αν ο υποδείκτης είναι ο i , τότε η τυχαία τιμή δημιουργείται μια μόνο φορά για κάθε διάνυσμα. Οι υπερδείκτες hi και lo δηλώνουν το άνω και κάτω αρχικό φράγμα των παραμέτρων αντίστοιχα.

Μετά την αρχικοποίηση, ο πληθυσμός υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενες γενιές, $G = 1, 2, \dots, G_{max}$ όπου σε κάθε γενιά εκτελούνται οι διαδικασίες της μετάλλαξης, του επανασυνδυασμού, και της επιλογής. Οι ΔΕ εφαρμόζουν την διαδικασία της μετάλλαξης αλλά και του επανασυνδυασμού για τη δημιουργία ενός «παιδιού» ή ενός δοκιμαστικού (trial) διανύσματος $u_{j,i,G+1}$ για κάθε «πατέρα» διάνυσμα $X_{j,i,G}$.

3.2.2 Στάδιο Μετάλλαξης

Στο στάδιο της μετάλλαξης, για κάθε άτομο, $X_i(t)$, του πληθυσμού στην γενιά t , παράγεται ένα μεταλλαγμένο διάνυσμα (mutual vector), $u_i(t + 1)$, χρησιμοποιώντας ένα από τα σχήματα

$$u_i(t + 1) = X_{best}(t) + Q(X_{r_1}(t) - X_{r_2}(t)),$$

$$u_i(t + 1) = X_{r_1}(t) + Q(X_{r_2}(t) - X_{r_3}(t)),$$

$$u_i(t + 1) = X_i(t) + Q(X_{best}(t) - X_i(t)) + Q(X_{r_1}(t) - X_{r_2}(t)),$$

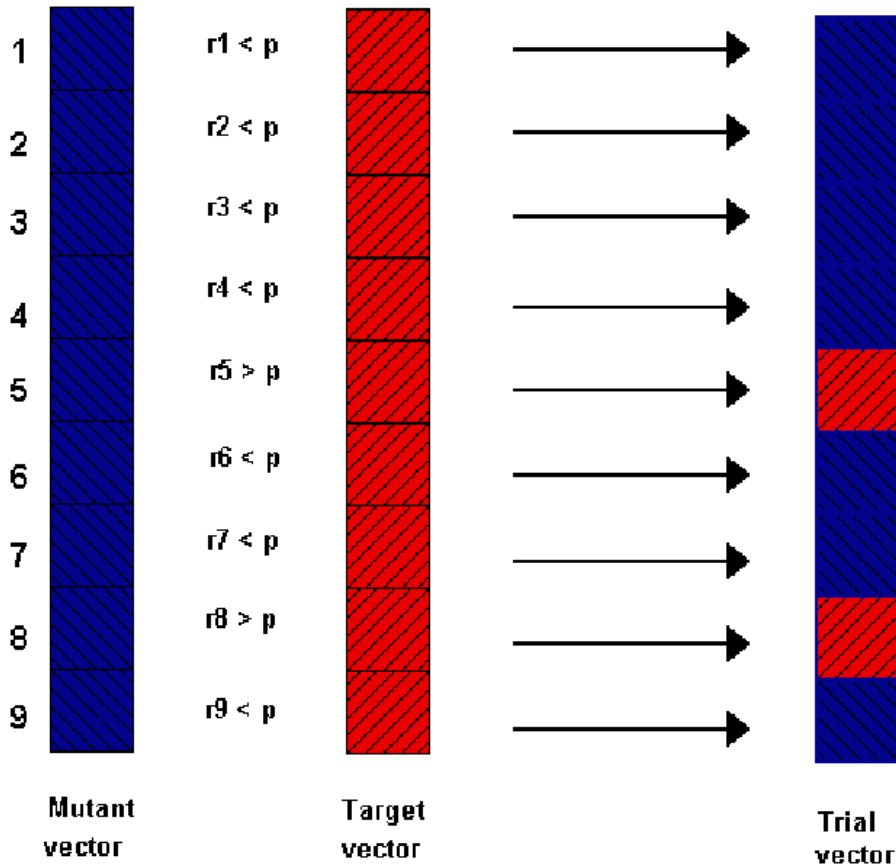
$$u_i(t + 1) = X_{best}(t) + Q(X_{r_1}(t) - X_{r_2}(t)) + Q(X_{r_3}(t) - X_{r_4}(t)),$$

$$u_i(t + 1) = X_{r_1}(t) + Q(X_{r_2}(t) - X_{r_3}(t)) + Q(X_{r_4}(t) - X_{r_5}(t)),$$

Όπου $X_{best}(t)$ είναι το καλύτερο άτομο στον πληθυσμό $Q > 0$ μια παράμετρος που καλείται σταθερά μετάλλαξης (mutation constraint) και ελέγχει την επίδραση των διαφορών μεταξύ ατόμων στο μεταλλαγμένο διάνυσμα, και r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 είναι ακέραιοι τυχαία επιλεγμένοι από το σύνολο $\{1, 2, \dots, \mu\}$, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους αλλά και από το i .

3.2.3 Στάδιο Επιλογής

Το στάδιο αυτό είναι στην ουσία ένα κριτήριο το οποίο καθορίζει τα κριτήρια με τα οποία τα νεο-δημιουργημένα διανύσματα θα συμπεριληφθούν στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς. Για παράδειγμα η επιλογή με τουρνουά (tournament selection) καθορίζει τη συμμετοχή των ατόμων για την επόμενη γενιά κρατώντας μια σειρά από ανταγωνισμούς μεταξύ τυχαία επιλεγμένων ζευγαριών. Τυπικά, τα ανταγωνιστικά ζευγάρια επιλέγονται με κάποια πιθανότητα από το συνδυασμό πατέρα-παιδιού και τα διανύσματα με το μεγαλύτερο σκορ είναι οι νικητές και αυτοί που θα συνεχίσουν στην επόμενη γενιά. Εναλλακτικά, οι ΕΣ χρησιμοποιούν ένα ντετερμινιστικό σχήμα επιλογής όπου μόνο τα καλύτερα μέλη από τον πληθυσμό, που δημιουργείται από τα άτομα πατέρες και παιδιά, θα συνεχίσουν στον επόμενο πληθυσμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετά διαφορετικά σχήματα επιλογής και παραλλαγές των δύο παραπάνω σχημάτων. Ένα μειονέκτημα και των δύο παραπάνω σχημάτων (τουρνουά, ντετερμινιστικό) είναι το υπολογιστικό κόστος που απαιτεί η ταξινόμηση του πληθυσμού κατά την εφαρμογή τους.



Σχήμα 2 Διαδικασία Επιλογής

Αντίθετα, το κριτήριο επιλογής των ΔΕ για την επιλογή ατόμων είναι ιδιαίτερα απλό. Αν το δοκιμαστικό άτομο ή παιδί $u_{i,G+1}$ δεν είναι ίσο ή δεν βελτιώνει το άτομο του πατέρα του $u_{i,G}$, τότε το άτομο $u_{i,G}$ θα παραμείνει στον πληθυσμό και για την επόμενη τουλάχιστον γενιά και δεν θα αντικατασταθεί από κάποιο άλλο άτομο. Επιτρέποντας το διάνυσμα $u_{i,G+1}$ να αντικαταστήσει το διάνυσμα $u_{i,G}$ στην περίπτωση που και τα δύο έχουν το ίδιο κόστος επιτρέπει τα άτομα να κινούνται κατά μήκος των επίπεδων γραμμών τους. Εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι υιοθετώντας το σχήμα επιλογής των ΔΕ, το κόστος του κάθε ατόμου αλλά και το συνολικό κόστος του πληθυσμού ποτέ δεν ανεβαίνει, παρουσιάζοντας έτσι μια συνεχόμενα μονότονη συμπεριφορά, ή ελιτιστική συμπεριφορά.

3.2.4 Στάδιο Ανασυνδυασμού

Μετά το στάδιο της μετάλλαξης ακολουθεί αυτό του ανασυνδυασμού, όπου το αρχικό διάνυσμα, $X_i(t)$, συνδυάζεται με το μεταλλαγμένο διάνυσμα, $u_i(t + 1)$, και παράγεται

το δοκιμαστικό διάνυσμα (trial vector). Πιο συγκεκριμένα, για κάθε συνιστώσα, $j = 1, \dots, n$ του $u_i(t + 1)$, παράγεται ένας τυχαίος αριθμός, $r \in [0,1]$, ακολουθώντας ομοιόμορφη κατανομή. Αν το r είναι μικρότερο από μια προκαθορισμένη σταθερά ανασυνδυασμού (recombination constant), $CR \in [0,1]$, τότε η j -οστή συνιστώσα του $u_i(t + 1)$ γίνεται j -οστή συνιστώσα του δοκιμαστικού διανύσματος, διαφορετικά j -οστή συνιστώσα του $X_i(t)$ γίνεται j -οστή συνιστώσα του δοκιμαστικού διανύσματος. Δηλαδή, για κάθε μεταλλαγμένο διάνυσμα παράγεται ένα δοκιμαστικό διάνυσμα,

$$u_i(t + 1) = (u_{i1}(t + 1), u_{i2}(t + 1), \dots, u_{in}(t + 1))^T,$$

$$u_{in}(t + 1) = \begin{cases} u_{ij}(t + 1), & \text{αν } (randb(j) \leq CR) \text{ ή } j = rnbr(i), \\ x_{ij}(t), & \text{αν } (randb(j) > CR) \text{ ή } j \neq rnbr(i) \end{cases}$$

Όπου $j = 1, 2, \dots, n$, $randb(j)$, η j -οστή τιμή μιας ομοιόμορφα κατανεμημένης τυχαίας μεταβλητής εντός του $[0,1]$ και $rnbr(i)$ ένας τυχαία επιλεγμένος δείκτης από το σύνολο $\{1, 2, \dots, n\}$.

Τέλος, γίνεται η επιλογή, όπου το δοκιμαστικό διάνυσμα, $u_{ij}(t + 1)$, συγκρίνεται με το $x_i(t)$ και το καλύτερο μεταξύ τους εισάγεται στον πληθυσμό της επόμενης γενιάς. Έτσι,

$$x_i(t + 1) = \begin{cases} u_i(t + 1), & \text{αν } f(u_i(t + 1)) < f(x_i(t)), \\ x_i(t), & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Τα παραπάνω σχήματα του ΔΑ μπορούν να περιγραφούν χρησιμοποιώντας τον συμβολισμό,

DE/x/y/z

όπου,

x: καθορίζει το διάνυσμα που θα μεταλλαχθεί και μπορεί να είναι είτε "rand" (τυχαία επιλεγμένο διάνυσμα του πληθυσμού) είτε "best" (το καλύτερο διάνυσμα του πληθυσμού).

y: είναι το πλήθος των διαφορών μεταξύ διανυσμάτων που εμφανίζονται στο σχήμα μετάλλαξης.

z: δηλώνει το σχήμα διασταύρωσης. Παραπάνω περιγράψαμε την παραλλαγή "bin", (δηλαδή διασταύρωση μέσω ανεξάρτητων διωνυμικών πειραμάτων).

3.3 Ο αλγόριθμος PSO

Η προέλευση του αλγόριθμου PSO περιγράφεται καλύτερα ως να είναι κοινωνιολογικά εμπνευσμένος, δεδομένου ότι ο αρχικός αλγόριθμος βασίστηκε στην κοινωνιολογική συμπεριφορά που συνδέεται με την συσσώρευση πτηνών, (Kennedy & Eberhart, 1995). Αυτό το θέμα θα συζητηθεί λεπτομερέστερα παρακάτω, αφού έχει περιγραφεί ο βασικός αλγόριθμος.

Ο αλγόριθμος διατηρεί έναν πληθυσμό σωματιδίων, όπου κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει μια πιθανή λύση σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ας είναι s το μέγεθος του σμήνους. Κάθε σωματίδιο i μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα αντικείμενο με διάφορα χαρακτηριστικά. Στα χαρακτηριστικά αυτά αποδίδονται τα ακόλουθα σύμβολα:

- x_i : Η τρέχουσα θέση του σωματιδίου.
- v_i : Η τρέχουσα ταχύτητα του σωματιδίου.
- y_i : Η προσωπική καλύτερη θέση του σωματιδίου.

Η προσωπική καλύτερη θέση που σχετίζεται με το σωματίδιο i είναι η καλύτερη θέση που το σωματίδιο έχει επισκεφθεί (προηγούμενη τιμή του x_i), αποδίδοντας την υψηλότερη τιμή καταλληλότητας για το συγκεκριμένο σωματίδιο. Για μια εργασία ελαχιστοποίησης, μια θέση που αποδίδει μια μικρότερη τιμή συνάρτησης θεωρείται ότι έχει υψηλότερη τιμή καταλληλότητας. Το σύμβολο f θα χρησιμοποιηθεί για να υποδηλώσει την αντικειμενική συνάρτηση που ελαχιστοποιείται. Η εξίσωση ενημέρωσης για την προσωπική καλύτερη θέση παρουσιάζεται στην εξίσωση (2.1), με την εξάρτηση από το βήμα χρόνου t να καθίσταται άμεση.

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) & \text{αν } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{αν } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases}$$

Υπάρχουν δύο εκδόσεις του PSO, που ονομάζονται μοντέλα gbest και lbest. Η διαφορά μεταξύ των δύο αλγορίθμων βασίζεται στο σύνολο των σωματιδίων με τα οποία ένα δεδομένο σωματίδιο θα αλληλεπιδρά άμεσα, όπου το σύμβολο \hat{y} θα χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει αυτήν την αλληλεπίδραση. Οι λεπτομέρειες των δύο μοντέλων θα συζητηθούν πλήρως παρακάτω. Ο ορισμός του \hat{y} , όπως χρησιμοποιείται στο μοντέλο gbest, παρουσιάζεται στην εξίσωση.

$$\hat{y}(t) \in \{y_0(t), y_1(t), \dots, y_s(t)\} | f(\hat{y}(t)) = \min\{f(y_0(t)), f(y_1(t)), \dots, f(y_s(t))\}$$

Σημειώνεται ότι αυτός ο ορισμός δηλώνει ότι \hat{y} είναι η καλύτερη θέση που ανακαλύφθηκε από οποιοδήποτε από τα σωματίδια μέχρι στιγμής.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο ανεξάρτητες τυχαίες ακολουθίες, $r_1 \sim U(0, 1)$ και $r_2 \sim U(0, 1)$. Αυτές οι ακολουθίες χρησιμοποιούνται για να επηρεάσουν στην στοχαστική φύση του αλγορίθμου, όπως φαίνεται παρακάτω στην εξίσωση (2.3). Οι τιμές των r_1 και r_2 κλιμακώνονται με τις σταθερές $0 < c_1, c_2 \leq 2$. Αυτές οι σταθερές ονομάζονται συντελεστές επιτάχυνσης και επηρεάζουν το μέγιστο μέγεθος του βήματος που μπορεί να λάβει ένα σωματίδιο σε μία μόνο επανάληψη. Το βήμα ενημέρωσης ταχύτητας ορίζεται ξεχωριστά για κάθε διάσταση $j \in 1..n$, έτσι ώστε το $v_{i,j}$ να δηλώνει τη διάσταση j^{th} του διανύσματος ταχύτητας που σχετίζεται με το i -οστό σωματίδιο. Η εξίσωση ενημέρωσης της ταχύτητας είναι τότε

$$v_{i,j}(t+1) = v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t) [y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)] + c_2 r_{2,j}(t) [\hat{y}_j(t) - x_{i,j}(t)]$$

Από τον ορισμό της εξίσωσης ενημέρωσης ταχύτητας είναι σαφές ότι το c_2 ρυθμίζει το μέγιστο μέγεθος βήματος στην κατεύθυνση του ολικά καλύτερου σωματιδίου και το c_1 ρυθμίζει το μέγεθος βήματος κάθε σωματιδίου προς την κατεύθυνση της καλύτερης προσωπικής θέσης αυτού του κάθε σωματιδίου. Η τιμή του $v_{i,j}$ βρίσκεται στην περιοχή $[-v_{\max}, v_{\max}]$ για να μειώσει την πιθανότητα το σωματίδιο να εξέλθει από τον χώρο αναζήτησης. Εάν ο χώρος αναζήτησης ορίζεται από τα όρια $[-x_{\max}, x_{\max}]$, τότε η τιμή του v_{\max} τυπικά έχει οριστεί έτσι ώστε $v_{\max} = k \times x_{\max}$, όπου $0,1 \leq k \leq 1,0$, (Corme et al, 1999). Η θέση κάθε σωματιδίου ενημερώνεται χρησιμοποιώντας το νέο διάνυσμα ταχύτητας για το συγκεκριμένο σωματίδιο, έτσι ώστε

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

Ο αλγόριθμος αποτελείται από την επανειλημμένη εφαρμογή των εξισώσεων ενημέρωσης που παρουσιάζονται παραπάνω.

Έχουν προταθεί πολλές ερμηνείες σχετικά με τη λειτουργία του PSO. Ο Kennedy (1997), ενίσχυσε την κοινωνικο-ψυχολογική άποψη διενεργώντας πειράματα για να ερευνήσει τη λειτουργία των διαφόρων συνιστωσών στην εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας. Το έργο της κατάρτισης ενός νευρωνικού δικτύου για την ορθή ταξινόμηση του προβλήματος XOR χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθεί η απόδοση των διαφορετικών μοντέλων. Ο Kennedy χρησιμοποίησε το μοντέλο lbest και όχι το μοντέλο gbest που περιγράφηκε παραπάνω. Εξετάζεται η εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας, που επαναλαμβάνεται εδώ για λόγους ευκολίας:

$$v_{i,j}(t+1) = v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t) [y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)] + c_2 r_{2,j}(t) [\hat{y}_j(t) - x_{i,j}(t)]$$

Ο όρος $c_1 r_{1,j}(t)[y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)]$ συνδέεται με τη γνώση αφού λαμβάνει υπόψη μόνο τις εμπειρίες του ίδιου σωματιδίου. Εάν ένα PSO είναι κατασκευασμένο χρησιμοποιώντας μόνο τον γνωστικό όρο, η εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας θα γίνει

$$v_{i,j}(t + 1) = v_{i,j}(t) + c_1 r_{1,j}(t)[y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)]$$

Ο Kennedy διαπίστωσε ότι η απόδοση αυτού του μοντέλου «μόνο γνώσης» ήταν κατώτερη από αυτή του αρχικού σμήνους, αδυνατώντας να εκπαιδεύσει το δίκτυο εντός του μέγιστου επιτρεπόμενου αριθμού επαναλήψεων για ορισμένες ρυθμίσεις παραμέτρων. Ένας από τους λόγους για την κακή συμπεριφορά αυτής της έκδοσης του PSO είναι ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών σωματιδίων. Ο τρίτος όρος στην εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας, $c_2 r_{2,j}(t)[\hat{y}_j(t) - x_{i,j}(t)]$, αντιπροσωπεύει την κοινωνική αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων. Μια «κοινωνική μόνο» έκδοση του PSO μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση ενημέρωσης ταχύτητας

$$v_{i,j}(t + 1) = v_{i,j}(t) + c_2 r_{2,j}(t)[\hat{y}_j(t) - x_{i,j}(t)]$$

Η απόδοση αυτού του μοντέλου ήταν ανώτερη από εκείνη του αρχικού PSO σχετικά με το συγκεκριμένο πρόβλημα που ο Kennedy ερεύνησε. Συνοπτικά, ο όρος ενημέρωσης ταχύτητας PSO αποτελείται τόσο από μια συνιστώσα γνώσης όσο και από ένα κοινωνικό στοιχείο. Σήμερα λίγα είναι γνωστά για τη σχετική σημασία αυτών των δύο όρων, αν και τα αρχικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η κοινωνική συνιστώσα μπορεί να είναι πιο σημαντική σε ορισμένα προβλήματα. Η κοινωνική αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων είναι μια μορφή συνεργασίας, ακολουθώντας κατά προσέγγιση το πρότυπο που συζητήθηκε από τους Clearwater et al., (1992).

4 Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης για την επίλυση προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής για just in time

Πολλά λιτά εργαλεία και τεχνικές αναπτύσσονται με σκοπό τη μείωση της μη προστιθέμενης αξίας δραστηριότητες και να επιτύχουν τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα για έναν κατασκευαστικό οργανισμό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα λιτής παραγωγής είναι τα: JIT, TQM, Standard Work Process, Manufacturing Cells, TPM, και 5S. Σε αντιδιαστολή παραδείγματα απωλειών (non-value adding activities) είναι: υπερπαραγωγή, αναμονή, μεταφορά, μη κατάλληλες διαδικασίες, περιττά αποθέματα, χωρίς λόγο κίνηση και διάφορες ελλείψεις.

Η εφαρμογή των κατάλληλων λιτών εργαλείων και τεχνικών, βοηθά έναν οργανισμό να μειώσει τις απώλειες και να γίνει αποδοτικός. Ωστόσο η λανθασμένη εφαρμογή των λιτών στρατηγικών έχει σαν επακόλουθο την ανεπάρκεια του οργανισμού και ελαττώνει την εμπιστοσύνη των εργαζομένων στις λιτές στρατηγικές. Εξάλλου, δεν είναι εύκολο να επιλέγει κανείς την κατάλληλη λιτή στρατηγική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της εταιρίας στα πλαίσια του περιορισμένου αριθμού των διαθέσιμων πόρων (Wan & Chen, 2008). Επομένως το τρέχον ερευνητικό ενδιαφέρον αφορά στη συνετή υιοθέτηση των κατάλληλων εκείνων λιτών στρατηγικών μέσα από έναν μεγάλο αριθμό τέτοιων στρατηγικών σύμφωνα με τις ανάγκες των κατασκευαστών, λαμβάνοντας πάντα υπόψη το περιορισμένο των πόρων τους. Στη παρούσα εργασία περιγράφουμε την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων και τη μεθοδολογία της εύρεσης του βέλτιστου αριθμού λιτών στρατηγικών.

4.1 Καθορισμός προβλήματος με την μορφή αντικειμενικής συνάρτησης

Για να μπορέσουμε να αναγάγουμε το πρόβλημα μας σε πρόβλημα βελτιστοποίησης, θα πρέπει να βρούμε την κατάλληλη συνάρτηση αξιολόγησης ή αντικειμενική συνάρτηση (fitness function). Η εύρεση του ολικού ελαχίστου (ή μεγίστου) είναι και η λύση στο πρόβλημα μας. Στην παρούσα εργασία, η ιδέα για την συνάρτηση αξιολόγησης είναι από το μοντέλο του Almin, (2013), ο οποίος αναπτύσσει έναν εκτιμημένο δείκτη αξίας για την αξιολόγηση των ωφελειών των στρατηγικών για τη μείωση των βιομηχανικών αποβλήτων. Αναπτύσσει δείκτες κόστους και χρόνου για την εκτίμηση του απαιτούμενου κόστους και χρόνου για την εφαρμογή μιας στρατηγικής λιτής παραγωγής. Στο μοντέλο αυτό, οι δείκτες κόστους της εφαρμογής λιτής παραγωγής περιλαμβάνονται στη μορφή λειτουργικού κόστους, επενδυτικού κόστους και μεταβλητού κόστους.

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι εφαρμόζεται μια στρατηγική για τη δημιουργία λιτής παραγωγής στην υπάρχουσα διαδικασία ή για τη μείωση του κόστους και του χρόνου παραγωγής. Έστω ότι η L_i είναι η εκπροσώπηση της i -στρατηγικής λιτής παραγωγής που πρέπει να εφαρμοστεί και η αντιληπτή αύξηση της αξίας με την εφαρμογή του L_i είναι δ_{1_i} . Σύμφωνα με τους Gautam & Singh (2008), η αύξηση του δείκτη αξίας με την εφαρμογή n στρατηγικών λιτής παραγωγής μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^n L_i \delta_{1_i}$$

Εάν δύο στρατηγικές έχουν κάποια αλληλεξάρτηση και κάθε στρατηγική έχει επιρροή σε άλλους, τότε η επιπλέον μεταβολή στην εκτιμώμενη συμβαλλόμενη αξία μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_i L_j \delta_{2_{ij}}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, αν επιλέγεται μια στρατηγική λιτής παραγωγής για εφαρμογή είναι 1 (δηλ. $L_i=1$) και 0 (δηλαδή $L_i=0$) εάν δεν έχει επιλεγεί για υλοποίηση.

Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της i^{th} στρατηγικής λιτής παραγωγής συμβάλλει δ_{1_i} προς την αντιληπτή αξία του κατασκευαστή. Ομοίως, εάν οι στρατηγικές i^{th} και j^{th} συζευχθούν με τέτοιο τρόπο ώστε η εφαρμογή της στρατηγικής i^{th} να επιβάλει μια αλλαγή στη στρατηγική j^{th} , τότε η προκύπτουσα συμβολή στην αντιληπτή αξία παραγωγής λόγω του L_j είναι $\delta_{2_{ij}}$.

Ως εκ τούτου, η συνολική μεταβολή του δείκτη της εκτιμώμενης αξίας είναι το άθροισμα της εκτιμώμενης αξίας χωρίς την εφαρμογή μιας στρατηγικής λιτής παραγωγής, της εκτιμώμενης αξίας λόγω της εφαρμογής μιας στρατηγικής λιτής παραγωγής και της εκτιμώμενης αξίας των αναγκαστικών αλλαγών που οφείλονται στην εφαρμογή λιτής παραγωγής.

$$= \delta_{0_i} + \sum_{i=1}^n L_i \delta_{1_i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n L_i L_j \delta_{2_{ij}}$$

Όπου, δ_{0_i} είναι η αντιληπτή τιμή χωρίς εφαρμογή λιτής παραγωγής, το δ_{1_i} ορίζεται ως τον αντιληπτό δείκτη τιμής για στρατηγικές λιτής παραγωγής για την ικανοποίηση του δευτερεύοντος στόχου W_i που καθορίζεται από τη διεύθυνση ή τα σχετικά άτομα σε έναν οργανισμό. Θεωρούμε ότι κάθε νέο έργο συνεπάγεται κάποιο επίπεδο κινδύνου και αβεβαιότητας και ότι ένα έργο λιτής παραγωγής μπορεί να θεωρηθεί υψηλού κινδύνου, αλλά μπορεί επίσης να προσφέρει υψηλή απόδοση επένδυσης (Bachamada, 1999).

Δείκτης κόστους και χρόνου για εφαρμογή λιτής παραγωγής

Σε αυτό το μοντέλο, το κόστος της εφαρμογής λιτής παραγωγής συμπεριλαμβάνεται στη μορφή λειτουργικού κόστους, επενδυτικού κόστους και μεταβλητού κόστους. Ο χρόνος υλοποίησης λιτής παραγωγής συμπεριλαμβάνεται με τη μορφή χρόνου προγραμματισμού χρόνου για εφαρμογή λιτής παραγωγής, χρόνος τροποποίησης της διαδικασίας εξόδου, χρόνος εκπαίδευσης που απαιτείται για το ενημερωμένο σύστημα και χρόνος επικύρωσης για τη νέα διαδικασία παραγωγής.

Δείκτης λειτουργικού κόστους

Τα λειτουργικά κόστη για την υλοποίηση μιας στρατηγικής λιτής παραγωγής περιλαμβάνουν το κόστος διαχείρισης του εξοπλισμού, το κόστος συντήρησης, κόστος υπηρεσιών κοινής ωφελείας και κόστος εργασίας. Το συνολικό λειτουργικό κόστος της υλοποίησης μιας στρατηγικής λιτής παραγωγής εξαρτάται από την πολυπλοκότητα των υπάρχουσών κατασκευαστικών εργασιών και το επίπεδο εφαρμογής της στρατηγικής λιτής παραγωγής.

Εάν το L_i είναι η αναπαράσταση της i^{th} στρατηγικής λιτής παραγωγής για τη μείωση ενός συγκεκριμένου απορρίμματος παραγωγής και το $C_{P_{ij}}$ είναι το απαιτούμενο λειτουργικό κόστος εφαρμογής αυτού του εργαλείου λιτής παραγωγής, τότε το λειτουργικό κόστος της εφαρμογής στρατηγικής λιτής παραγωγής στο υπάρχον σύστημα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^n L_i C_{P_{ij}} \quad (4.4)$$

Εάν μια εφαρμογή στρατηγικής λιτής παραγωγής προκαλεί αναγκαστικές αλλαγές στις άλλες, τότε το ποσό του πρόσθετου κόστους που προκύπτει μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_1^n \sum_1^n L_i L_j C_{O_{2ij}} \quad (4.5)$$

Όταν οι στρατηγικές i^{th} και j^{th} συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε η εφαρμογή της στρατηγικής i^{th} επιβάλλει αλλαγή στη στρατηγική j^{th} , το επιπλέον κόστος που προκύπτει είναι $C_{O_{2ij}}$ και αυτό είναι το λειτουργικό κόστος λόγω της επίδρασης του L_j .

Ως εκ τούτου, το συνολικό λειτουργικό κόστος της παραγωγικής διαδικασίας μπορεί να υπολογιστεί ως άθροισμα του λειτουργικού κόστους χωρίς εφαρμογή λιτής παραγωγής, το λειτουργικό κόστος λόγω της εφαρμογής λιτής παραγωγής και του κόστους λειτουργίας των αναγκαστικών αλλαγών λόγω της εφαρμογής λιτής παραγωγής.

$$C_{O_{oi}} + \sum_1^n L_i C_{O_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j C_{O_{2ij}}$$

(4.6)

Υπό τον όρο L_i και $L_j = 1$ ή 0 (ακέραιος αριθμός, στρατηγική που εφαρμόζεται ή όχι). Ο στόχος της ανάλυσης του Almin, (2013), είναι να μεγιστοποιηθεί η αντιληπτή αξία εντός περιορισμένου ποσού κόστους.

Περιορισμοί

Κανένας κατασκευαστικός οργανισμός δεν έχει απεριόριστους πόρους και προϋπολογισμό για την εφαρμογή μιας νέας τεχνικής. Επομένως, οποιοδήποτε νέο πρόγραμμα ανάπτυξης έχει στόχους και περιορισμούς πόρων και οι κύριοι περιορισμοί βάσει κόστους και χρόνου λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση του Almin, (2013):

Λειτουργικό κόστος:

$$C_{O_{oi}} + \sum_1^n L_i C_{O_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j C_{O_{2ij}} \leq OC_C$$

Κόστος επένδυσης:

$$C_{I_{oi}} + \sum_1^n L_i C_{I_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j C_{I_{2ij}} \leq IC_C$$

Μεταβλητό κόστος:

$$V_{V_{oi}} + \sum_1^n v(i) L_i V_{V_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n v(j) L_i L_j V_{V_{2ij}} \leq VC_C$$

Συνολικό κόστος υλοποίησης:

$$TP_C \leq T_C$$

Χρόνος προγραμματισμού:

$$T_{P_{oi}} + \sum_1^n L_i T_{P_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j T_{P_{2ij}} \leq TP_C$$

Χρόνος εκπαίδευσης:

$$T_{T_{oi}} + \sum_1^n L_i T_{T_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j T_{T_{2ij}} \leq TT_C$$

Χρόνος τροποποίησης:

$$T_{M_{oi}} + \sum_1^n L_i T_{M_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j T_{M_{2ij}} \leq MT_C$$

Χρόνος επικύρωσης:

$$T_{V_{oi}} + \sum_1^n L_i T_{V_{1i}} + \sum_1^n \sum_1^n L_i L_j T_{V_{2ij}} \leq VT_C$$

Συνολικός χρόνος εφαρμογής:

$$TP_T \leq TP_C$$

Το δεξί μέλος των παραπάνω Εξισώσεων περιγράφει τους περιορισμούς κόστους και χρόνου που δίδονται για την εφαρμογή στρατηγικών λιτής παραγωγής.

4.2 Αλγόριθμοι για την βελτιστοποίηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε μια ενδεικτική επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής για just in time μέσα από 2 γνωστούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης.

4.2.1. Διαφοροεξελικτικός αλγόριθμος

Στον Διαφοροεξελικτικό αλγόριθμο επιλέγουμε τα βήματα της μετάλλαξης, της διασταύρωσης και της επιλογής. Υλοποιήσαμε και συγκρίναμε δύο εκδόσεις του αλγορίθμου, για να τους συγκρίνουμε και να διαπιστώσουμε ποια παραλλαγή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Η διαφορά έγκειται στον τρόπο που γίνεται η μετάλλαξη. Συγκεκριμένα, στην πρώτη παραλλαγή, υπολογίζεται το διάνυσμα των ταχυτήτων μετάλλαξης με βάση τον τύπο μετάλλαξης:

$$v_i^{t+1} = x_g^t + F(x_{r_1}^t - x_{r_2}^t)$$

Για κάθε διάνυσμα αρχικά υπολογίζεται μια μετάθεση όλων των διανυσμάτων. Στην συνέχεια ελέγχεται εάν στην μετάθεση βρίσκεται στις δυο πρώτες θέσεις το τρέχων διάνυσμα και εάν συμβαίνει αυτό αντιμετωπίζεται με το τρίτο στην σειρά. Τέλος γίνεται εφαρμογή του παραπάνω τύπου της μετάλλαξης.

Στην δεύτερη παραλλαγή, υπολογίζεται το διάνυσμα των ταχυτήτων μετάλλαξης με βάση τον τύπο μετάλλαξης:

$$v_i^{t+1} = x_{r_1}^t + F(x_{r_2}^t - x_{r_3}^t)$$

Για κάθε διάνυσμα αρχικά υπολογίζεται μια μετάθεση όλων των διανυσμάτων. Στην συνέχεια ελέγχεται εάν στην μετάθεση βρίσκεται στις τρεις πρώτες θέσεις το τρέχων διάνυσμα και εάν συμβαίνει αυτό αντιμετωπίζεται με το τέταρτο στην σειρά. Τέλος γίνεται εφαρμογή του παραπάνω τύπου της μετάλλαξης.

4.2.2. Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων

Σε αυτόν τον αλγόριθμο επιλέγουμε επίσης δύο παραλλαγές. Η διαφορά έγκειται στο πότε διαλέγουμε τιμή για τις τυχαίες μεταβλητές r_1 και r_2 της εξίσωσης. Στην πρώτη παραλλαγή, οι μεταβλητές παίρνουν μια τιμή για κάθε σωματίδιο/άτομο του πληθυσμού. Στην δεύτερη παραλλαγή, οι μεταβλητές αυτές παίρνουν μια τυχαία τιμή, την ίδια για όλα τα άτομα.

5 Επιλογή στρατηγικής για την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού παραγωγής με χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης με σμήνος σωματιδίων

Θεωρούμε ότι έχουμε ένα εργοστάσιο στο οποίο διαπιστώσαμε τα παρακάτω προβλήματα στην παραγωγή. Για κάθε πρόβλημα έχουμε και μια ένδειξη από τη διοίκηση της επιχείρησης του πόσο σημαντικό είναι (Πίνακας 1). Αυτή η τιμή θα χρησιμοποιηθεί ως κέρδος αν επιλυθεί το αντίστοιχο πρόβλημα.

Πίνακας 1 Θεωρικό κέρδος επίλυσης προβλημάτων

#	Identified Problems	Manufacturing Wastes	Relative Importance
W1	Walk for getting parts	Unnecessary Motion	9
W2	Poor quality parts	Defects	8
W3	Inefficient workstation layout	Transport	7
W4	Adjustment	Setup Time	6
W5	Overproduction	Finished Goods Inventory	5
W6	Lack of standard process	Inappropriate Processing	7
W7	Rework rate	Failure Time	8
W8	Overproduction	WIP	4
W9	Parts shortages	Raw material inventory	5
W10	Lack of co-ordination	Knowledge Disconnection	6

Έχουμε διαθέσιμες τις στρατηγικές του πίνακα 2, όπου η κάθε μία έχει ένα κόστος σε χρήμα ή σε χρόνο όπως φαίνεται στον πίνακα 3 (έχουμε συνολικά 7 μεταβλητές σχετικές με το κόστος και τον χρόνο). Επίσης, στον πίνακα 4 φαίνεται αν μπορεί να επιλυθεί ή όχι το κάθε πρόβλημα από τα 10 που προαναφέραμε. Τέλος, για κάθε μεταβλητή που σχετίζεται με το κόστος, έχουμε το μέγιστη δυνατή τιμή του κόστους στον πίνακα 5. Οπότε, το πρόβλημα που τίθεται είναι να διαλέξουμε το συνδυασμό από στρατηγικές (ή αντίστοιχα, το συνδυασμό προβλημάτων για επίλυση) με το μέγιστο όφελος, μην υπερβαίνοντας τους περιορισμούς κόστους.

Πίνακας 2 Στρατηγικές

#	Στρατηγική
L1	5S
L2	TPM
L3	JIT
L4	TQM
L5	Pull/Kanban System
L6	Production Smoothing
L7	Standard Work Process
L8	VMS
L9	Cellular Manufacturing
L10	SMED
L11	SIP
L12	IMS

Πίνακας 3 Κόστος και χρόνος υλοποίησης λιτών στρατηγικών

Lean Strategy	Lean Implementation Cost			Lean Implementation Time			
	Operating Cost	Investment Cost	Variable Cost	Planning Time	Training Time	Modification Time	Validation Time
#							
L1	2	2	0	3	2	2	2
L2	8	8	2	8	4	4	4
L3	6	4	3	6	4	8	4
L4	8	4	4	4	4	6	4
L5	6	6	4	6	8	4	4
L6	4	2	0	4	4	4	4
L7	3	0	2	3	4	4	3
L8	4	6	3	6	6	4	3
L9	6	4	2	8	6	4	4
L10	6	4	2	6	6	4	4
L11	4	2	2	4	3	4	2
L12	6	9	3	9	8	6	4

Πίνακας 4 Ικανότητα επίλυσης προβλημάτων ανά στρατηγική

#	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
L1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
L3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
L4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
L5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
L6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
L7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
L8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L9	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
L10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
L12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Πίνακας 5 Περιορισμοί Κόστους και Χρόνου

#	Component	Constraint
T1	Operating Cost	40
T2	Investment Cost	30
T3	Variable Cost	30
T4	PlanningTime	45
T5	Training Time	55
T6	ModificationTime	35
T7	ValidationTime	35

Θα αναφερθούμε λεπτομερώς στις παραπάνω στρατηγικές. Υπάρχουν πολλά λιτά εργαλεία και τεχνικές που βοηθούν τους κατασκευαστικούς οργανισμούς να εφαρμόσουν τις βέλτιστες πρακτικές κατασκευής (Shah & Ward, 2007; Tiwari, et al., 2007). Οι οργανισμοί θα πρέπει επομένως να επιλέξουν τις καταλληλότερες λιτές τεχνικές/μεθόδους για μεμονωμένες κατασκευαστικές ανάγκες. Η επιτυχής εφαρμογή των λιτών στρατηγικών απαιτεί κατανόηση των βασικών εργαλείων της λιτής κατασκευής. Τα λιτά εργαλεία που χρησιμοποιούνται υιοθετούνται από τις έρευνες των (Shah & Ward, 2003; Amin & Karim, 2011) και πρόκειται για: Διαχείριση Ολικής Ποιότητας (Total Quality Management -TQM), Ανταλλαγή ενός λεπτού Die (Single Minute Exchange of Die-SMED), Ολική παραγωγική διαχείριση (Total Productive Management-TPM), εξομάλυνση παραγωγής, Just-In-Time (JIT), 5S, Kanban, Standard Work, Οπτικός έλεγχος και Κατασκευή Κελιών, Πρόγραμμα βελτίωσης της ασφάλειας,

Σύστημα διαχείρισης πληροφοριών και Μέθοδος-μέτρησης χρόνου (MTM). Ακολουθεί μια σύνοψη ορισμένων από τις πιο σημαντικές λιτές στρατηγικές.

5S Μέθοδος

Το 5S είναι μια λιτή πρακτική κατασκευής που βοηθά τους οργανισμούς να ταξινομήσουν, να τακτοποιήσουν, να «γυαλίσουν (shine)», να τυποποιήσουν και να διατηρήσουν το παραγωγικό εργασιακό περιβάλλον. Βοηθά στη βελτίωση των ακόλουθων τομέων σε έναν κατασκευαστικό οργανισμό (Charman, 2005).

- Μεγάλοι χρόνοι παράδοσης
- Χαμηλή παραγωγικότητα
- Υψηλό λειτουργικό κόστος
- Καθυστερημένες παραδόσεις
- Παράλογο εργονομικό
- Περιορισμοί χώρου
- Συχνές βλάβες εξοπλισμού
- Κρυφοί κίνδυνοι ασφάλειας (Charman, 2005)

Το σύστημα 5S περιλαμβάνει 5 βήματα τα οποία περιγράφηκαν στην εργασία των (Zhou & Zhao, 2010):

- **Ταξινόμηση (sort):** Για τακτοποίηση της οργάνωσης. Αναφέρεται στη διερεύνηση όλων των εργαλείων, υλικών και εξοπλισμού στο εργοστάσιο και στον χώρο εργασίας, διατηρώντας μόνο τα απαραίτητα αντικείμενα. Άλλα αντικείμενα απορρίπτονται, γεγονός που οδηγεί σε λιγότερες δυσμενείς επιπτώσεις στο έργο παραγωγής.
- **Τακτοποίηση (set in order):** Για διασφάλιση της ομαλής οργάνωσης. Κάθε στοιχείο πρέπει να φέρει σαφή σήμανση και να είναι συστηματικά διατεταγμένο για την ευκολότερη και αποτελεσματικότερη πρόσβαση, προκειμένου να προωθεί την αποτελεσματική ροή εργασίας. Επικεντρώνεται στην οργάνωση του χώρου εργασίας έτσι ώστε όλα να έχουν θέση και όλα να είναι στη θέση τους.
- **Shine:** Το "Shine" επαναφέρει τον χώρο εργασίας στη σωστή σειρά μέχρι το τέλος κάθε εργάσιμης ημέρας. Απαιτείται περιοδικός συστηματικός καθαρισμός. Υπάρχουν υπεύθυνοι χειριστές που καθορίζουν τις μεθόδους καθαρισμού (όπως εργαλεία, λίστες ελέγχου).
- **Τυποποίηση (Standardize):** Η τυποποίηση χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των πρώτων τριών S και μετατρέπει αυτά τα καθήκοντα σε κανονικές εργασίες.

Αυτές οι μέθοδοι πρέπει να τυποποιηθούν και να ακολουθηθούν από όλο το προσωπικό σε όλη την εταιρεία.

- **Διατήρηση (Sustain):** Μόλις καθιερωθούν τα προηγούμενα τέσσερα S, γίνονται η νέα ρουτίνα και μέρος της κουλτούρας της εταιρείας. Έτσι, το πέμπτο «S», βοηθάει την οργάνωση να διατηρεί τα προηγούμενα τέσσερα S και δεν επιτρέπει στις εταιρείες να επιστρέψουν στους παλαιούς τρόπους.

Kanban

Πρόκειται για ιαπωνική λέξη που σημαίνει «κάρτα» ή «ορατό». Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από την Taiichi Ohno για να ελέγξει την παραγωγή μεταξύ διεργασιών και να εφαρμόσει την κατασκευή JIT σε εργοστάσια παραγωγής Toyota στην Ιαπωνία. Το Kanban είναι μια κάρτα σηματοδότησης που έχει πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες του προϊόντος που θα παραχθεί, την προέλευση του και τον προορισμό του. Η μεθοδολογία Kanban έχει σχεδιαστεί για να απλοποιεί τον χειρισμό υλικών και τη διαχείριση αποθεμάτων. Αντί να στοιβάζονται τα υλικά που εκδίδονται στην παραγωγή κοντά στη γραμμή σε μεγαλύτερες ποσότητες, μικρότερες ποσότητες υλικών υπάρχουν με φυσική παρουσία στο σημείο χρήσης στη γραμμή και αναπληρώνονται μόνο όταν δημιουργείται ένα Kanban ή σήμα (Hobbs, 2004).

Συνολική παραγωγική συντήρηση (Total productive maintenance-TPM)

Η συνολική παραγωγική συντήρηση ορίζεται ως, «μια πρακτική που εξασφαλίζει αδιάκοπη και αποτελεσματική χρήση εξοπλισμού (-ων) μέσω της συμμετοχής του χειριστή του μηχανήματος» (Dennis & Shook, 2007) Η TPM είναι μια πρωτοβουλία για τη βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας του κατασκευαστικού εξοπλισμού (Smith & Hawkins, 2004). Πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας (αποτελεσματικότητας) του εξοπλισμού μέσω ενός πλήρους παραγωγικού συστήματος συντήρησης για ολόκληρη τη ζωή του εξοπλισμού, με τη συμμετοχή όλων των υπαλλήλων από την ανώτερη διοίκηση έως τους απλούς υπαλλήλους, μέσω κινήτρων ή εθελοντικής συμμετοχής. Ο στόχος της TPM είναι να μειώσει τις βλάβες του εξοπλισμού, τα ελαττώματα και τα προβλήματα ασφάλειας (Ahuja, 2011). Σύμφωνα με την εργασία των (Smith & Hawkins, 2004), η TPM είναι το θεμέλιο της λιτής συντήρησης και η ασφάλεια είναι το θεμέλιο της TPM. Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της παραγωγικής και προβλέψιμης συντήρησης με καινοτόμες στρατηγικές διαχείρισης (Singh et al., 2006), ενώ κύριος στόχος της TPM είναι η περιοδική συντήρηση του εξοπλισμού.

Συνολική Διαχείριση Ποιότητας (Total Quality Management-TQM)

Η TQM ορίζεται ως μια διαδικασία που βελτιώνει την ποιότητα ενός προϊόντος με συνεχή βελτίωση στη διαδικασία κατασκευής μέσω αποτελεσματικών σχολίων ανατροφοδότησης από τους υπαλλήλους (Terziovski & Samson, 1999; Bayazit & Karpak, 2007). Σύμφωνα με τον (Harris, 1995) οι βασικές αρχές της TQM είναι:

- Ικανοποίηση πελατών: Προσδιορισμός εσωτερικών και εξωτερικών πελατών του οργανισμού και μέτρηση της ικανοποίησης των πελατών περιοδικά
- Συνεχής βελτίωση: Διαρκής βελτίωση του συστήματος παραγωγής για καλή ποιότητα μέσω ομάδων βελτίωσης της ποιότητας και δημιουργία ενός συστήματος ανταμοιβής και αναγνώρισης με βάση το επίτευγμα των ομάδων
- Συνολικός έλεγχος ποιότητας: Εξάλειψη των επιθεωρητών ποιότητας. Μέτρηση της ποιότητας μέσω των εργαζομένων. Καθορισμός στατιστικού ελέγχου ποιότητας σε κάθε βήμα της διαδικασίας κατασκευής
- Εκπαίδευση: Ανάπτυξη ενός εκπαιδευτικού προγράμματος για τακτική ενημέρωση των δεξιοτήτων των διευθυντικών και μη διευθυντικών υπαλλήλων που ασχολούνται με την κατασκευή.

Just-In-Time (JIT)

Η κατασκευή JIT είναι μια ιδέα διαχείρισης που εξασφαλίζει βελτίωση μέσω της εξάλειψης των αποβλήτων όπως ο χρόνος αναμονής και η υπερπαραγωγή. Η παραγωγή JIT είναι μια μέθοδος με την οποία ο χρόνος παράδοσης της παραγωγής μειώνεται σε μεγάλο βαθμό διατηρώντας τη συμμόρφωση με τις αλλαγές, έχοντας όλες τις διαδικασίες να παράγουν τα απαραίτητα εξαρτήματα στον απαραίτητο χρόνο και έχοντας στη διάθεσή τους μόνο το ελάχιστο απαραίτητο απόθεμα για τη συγκράτηση της διαδικασίας (Ward & Zhou, 2006). Ακολουθούν οι απαιτήσεις για την παραγωγή απαραίτητων εξαρτημάτων στον απαιτούμενο χρόνο:

- Μειωμένος χρόνος εγκατάστασης
- Ομαδική τεχνολογία
- Ολική προληπτική συντήρηση
- Πολύ ειδικευμένοι εργαζόμενοι
- Σύστημα Kanban
- Ομοιόμορφη φόρτωση εγκαταστάσεων
- Έλεγχος ποιότητας

- Κύκλοι ποιότητας

Κατασκευή Κελιών (Cellular Manufacturing)

Μια διάταξη παραγωγής αναφέρεται σε μια «προσέγγιση στην οργάνωση της φυσικής διαμόρφωσης μιας εγκατάστασης βάσει της ακολουθίας των βημάτων που απαιτούνται για την κατασκευή ενός συγκεκριμένου προϊόντος» (Hill, 2011). Οι λιτές λειτουργίες υποστηρίζουν μια φυσική διάταξη της εγκατάστασης παραγωγής που διευκολύνει τη απλουστευμένη μονοκόμματη ροή διεργασιών (Raja, 2011). Η Cellular Manufacturing είναι μια τέτοια διαδικασία κατά την οποία ο εξοπλισμός και οι σταθμοί εργασίας είναι διατεταγμένοι με μια σειρά που υποστηρίζει την ομαλή ροή υλικών και εξαρτημάτων μέσω της διαδικασίας με ελάχιστη μεταφορά ή καθυστέρηση (Suzaki, 1985). Αυτή η πρακτική βοηθά στην εξάλειψη των απορριμμάτων που προκύπτουν από τη μεταφορά και την περιττή κίνηση ανθρώπων, μηχανημάτων και υλικού (Suzaki, 1985). Η Cellular Manufacturing είναι η διαδικασία ομαδοποίησης μηχανών ή διαδικασιών με βάση τα τμήματα, ή τις οικογένειες τμημάτων που επεξεργάζονται (Heragu, 1994). Κύριος στόχος του σχεδιασμού της Cellular Manufacturing είναι η δημιουργία τμημάτων κελιών, ο εντοπισμός μερικών οικογενειών και η κατανομή μερικών οικογενειών σε κελιά μηχανών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η κίνηση εντός των κελιών .

Εξομάλυνση παραγωγής

Η «εξομάλυνση παραγωγής» είναι μια διαδικασία κατά την οποία το επίπεδο παραγωγής για κάθε εξάρτημα διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερό κατά τη διάρκεια ημερών (Abdulmalek & Rajgoral, 2007). Αντί να εκτελούνται μεγάλες παρτίδες του ενός μοντέλου μετά το άλλο, συνιστάται να εκτελούνται μικρές παρτίδες πολλών μοντέλων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η πρακτική έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή του ίδιου μείγματος προϊόντων σε κάθε περίοδο (McLachlin, 1997). Το κύριο πλεονέκτημα της εφαρμογής είναι ότι η παραγωγή της μονάδας παραγωγής θα είναι η ακριβής απαιτούμενη ποσότητα εντός του απαιτούμενου χρόνου με συνέπεια να υπάρξει μειωμένη πιθανότητα απογραφής. Ως εκ τούτου, μειώνεται την ποσότητα του αποθέματος στις εγκαταστάσεις παραγωγής. Από τα οφέλη της εξομάλυνσης της παραγωγής, μπορεί να παρατηρηθεί η σημαντική μείωση του κόστους διατήρησης των αποθεμάτων, ο έλεγχος και η αναδιάρθρωση των προϊόντων (Suzaki, 1985).

Single Minute Exchange of Die (SMED)

Το SMED, ένα ακρωνύμιο για το "Single Minute Exchange of Die", αναφέρεται σε θεωρία και τεχνικές για την εκτέλεση λειτουργιών εγκατάστασης σε λιγότερο από δέκα λεπτά. Δεν είναι ότι κάθε χρόνος εγκατάστασης μπορεί να μειωθεί σε λιγότερο από δέκα λεπτά, αλλά ο στόχος του SMED είναι να μειωθεί ο χρόνος εγκατάστασης σε μονοψήφιο αριθμό. Η SMED εξετάζει δύο τύπους εγκαταστάσεων (Agustin & Santiago, 1996): Εξωτερική εγκατάσταση: Είναι η εγκατάσταση που έγινε ενώ το μηχάνημα λειτουργεί. Εσωτερική εγκατάσταση: Είναι η εγκατάσταση που γίνεται όταν το μηχάνημα είναι απενεργοποιημένο. Ο στόχος της εφαρμογής του SMED είναι να αλλάξει την εσωτερική εγκατάσταση σε εξωτερική όποτε αυτό είναι δυνατόν και επίσης να βελτιώσει τις λειτουργίες (προσδιορισμός της βέλτιστης ακολουθίας, απόδειξη σφάλματος, εξάλειψη περιττά βήματα, οργάνωση του χώρου εργασίας) Το SMED εφαρμόζεται όταν υπάρχουν ποικιλίες προϊόντων που πρόκειται να παραχθούν σε μία μόνο γραμμή παραγωγής. Μειώνει το χρόνο εγκατάστασης και αυξάνει την ευελιξία παραγωγής.

Τυπική Εργασία (Standard Work)

Εργασία που προσθέτει περισσότερη αξία στη διαδικασία ακολουθώντας τους τυπικούς κανόνες κάθε φορά ονομάζεται "Τυπική εργασία". Ο κύριος στόχος της λιτής διαχείρισης είναι να μειωθεί η μεταβλητότητα σε κάθε ευκαιρία. Υπάρχουν διάφορα είδη μεταβλητότητας σε έναν οργανισμό: μεταβλητότητα ζήτησης, μεταβλητότητα κατασκευής και μεταβλητότητα προμηθευτή. Η μεταβλητότητα της κατασκευής περιλαμβάνει παραλλαγές στα χαρακτηριστικά ποιότητας του προϊόντος, παραλλαγές χρόνου εργασίας (π.χ. διακοπή λειτουργίας, απουσία και επίπεδο δεξιοτήτων χειριστή). Τυποποιημένες διαδικασίες εργασίας, όπως χαρτογράφηση διαδικασιών, φόρτωση χειριστή, κ.λπ., προσπαθούν να μειώσουν αυτές τις πηγές μεταβλητότητας (Arnheiter & Maleyeff, 2005). Η τυπική εργασία μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν υπάρχει μια περίπλοκη διαδικασία εργασίας, ακόμη και εάν πρόκειται για απλή εργασία

Οπτικός έλεγχος/ Οπτική διαχείριση συστήματος

Ο (Hill, 2011) όρισε τον οπτικό έλεγχο ως «ένα σύνολο πρακτικών που στοχεύει στο σχεδιασμό συστημάτων με απλούς δείκτες και μετρήσεις που μπορούν να δουν και να κατανοήσουν σχεδόν αμέσως». Ο οπτικός έλεγχος επιτρέπει σε οποιονδήποτε να καταλάβει πιο εύκολα τί συμβαίνει στο πάτωμα του καταστήματος και υποδεικνύει επίσης τις γραμμές ασφαλείας και τη θέση για κάθε εργαλείο. Οι δραστηριότητες σε εταιρείες σήμερα έγιναν πιο περίπλοκες, με παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού και

διεσπαρμένες δραστηριότητες. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί "πίνακες εργαλείων" για προβολή πληροφοριών για την αναφορά της τρέχουσας κατάστασης της παραγωγής, της παροχής υπηρεσιών ή των διαδικασιών της εταιρείας. Οι γραφικές έξοδοι των μετρήσεων που εμφανίζονται από υπολογιστή, δηλαδή βασικοί δείκτες απόδοσης, είναι μερικά από τα παραδείγματα εργαλείων οπτικού ελέγχου. Τα εργαλεία οπτικού ελέγχου διασφαλίζουν ένα αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας πληροφοριών, όπως απαιτήσεις πελατών, χρονοδιαγράμματα παραγωγής, και τους σκοπούς και τους στόχους που καθορίζονται από τη διοίκηση σε όλη την επιχείρηση (Parry & Turner, 2006)

Πρόγραμμα βελτίωσης ασφάλειας

Τα προγράμματα ασφάλειας στις περισσότερες εταιρείες βασίζονται στη συμμόρφωση - πρέπει να ακολουθούν τους κανονισμούς για την Ασφάλεια και την Υγεία της Εργασίας (OSHA). Ωστόσο, ακολουθώντας μια συνεχή προσέγγιση βελτίωσης της ασφάλειας, το πρόγραμμα καθίσταται περισσότερο προληπτικό, και δεν αναφέρει απλώς αρνητικές μετρήσεις όπως τραυματισμούς ή ατυχήματα. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές μπορούν να ακολουθήσουν μια προσέγγιση βελτίωσης της ασφάλειας. Οι εργαζόμενοι μπορούν να υποβάλουν μια βελτίωση της ασφάλειας και το πρόγραμμα αυτό καθίσταται κάτι περισσότερο από πρόγραμμα απλών προτάσεων. Ουσιαστικά επιβάλει την εφαρμογή των προτάσεων αυτών.

Σύστημα διαχείρισης πληροφορίας

Το Σύστημα Διαχείρισης Πληροφοριών βελτιστοποιεί και αυτοματοποιεί όλες τις ροές πληροφοριών σε ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής, όπως δεδομένα ποιότητας προϊόντος, διαθεσιμότητα υλικού και εργαλείων, δεδομένα κατάστασης διαδικασίας, δεδομένα χειριστή και οδηγίες εργασίας, που σχετίζονται με την παραγωγή και την υποστήριξη της παραγωγής (Mejabi, 2003). Στόχος είναι να εξαιρεθούν οι χρόνοι αναμονής για πληροφορίες και να αποφευχθούν σφάλματα διαδικασίας λόγω της κοινοποίησης λανθασμένων δεδομένων.

Μέθοδος-Μέτρησης χρόνου (Method-Time Measurement-MTM)

Η MTM χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας κι εξαρτάται από τη μέθοδο που εκτελείται για αυτήν τη δραστηριότητα. Είναι ένα σύγχρονο όργανο για την περιγραφή, τη δομή, και τον σχεδιασμό συστημάτων εργασίας μέσω καθορισμένων δομικών στοιχείων διαδικασίας. Η MTM παρουσιάζει ένα διεθνώς έγκυρο πρότυπο απόδοσης για

χειροκίνητες εργασίες. Σήμερα, είναι το πιο κοινό προκαθορισμένο σύστημα χρόνου στον κόσμο, δημιουργώντας έτσι ένα παγκόσμιο ομοιόμορφο πρότυπο σχεδιασμού και απόδοσης. Ένα δομικό στοιχείο διαδικασίας αντιπροσωπεύει ένα βήμα διαδικασίας με καθορισμένο περιεχόμενο εργασίας και έναν ξεχωριστό σκοπό για τον οποίο ισχύει ένας τυπικός χρόνος. Ένα σύστημα δομικών μονάδων διαδικασίας αποτελείται από μια καθορισμένη ποσότητα δομικών μονάδων διαδικασίας. Αναπτύχθηκε ένα σύστημα MTM δομικών στοιχείων διαδικασίας για μια συγκεκριμένη, σαφώς καθορισμένη τυπολογία διεργασιών, μια συγκεκριμένη πολυπλοκότητα διαδικασιών και καθορισμένα χαρακτηριστικά διεργασίας (Karim, et al., 2011; Kuhlman, et al., 2011).

Επίλυση του προβλήματος

Με τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να διατυπώσουμε ένα κλασσικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου η λύση είναι ένα διάνυσμα της μορφής $L_i = \{0,1\}$, $i=1,2..12$ αν επιλέγουμε ή όχι μια στρατηγική.

Η αντικειμενική συνάρτηση F που πρέπει να μεγιστοποιηθεί είναι:

$$\max F = \sum_{j=1}^{10} W_j$$

όπου W_j το όφελος επίλυσης του προβλήματος j .

Για τους περιορισμούς έχουμε:

$$\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{10} L_i C_{ij} \leq T_k$$

όπου $k = 1,2..7$ και C_{ij} οι συντελεστές που ορίζονται στον πίνακα 4.

Στην αρχική εργασία έγινε δοκιμή του κάθε δυνατού συνδυασμού, υπολογίστηκε το κόστος και αν αυτό δεν υπερέβαινε κάποιον περιορισμό, κρατάγαμε το συνδυασμό. Στο τέλος, ταξινομήθηκαν οι συνδυασμοί με βάση το όφελος (η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης) και έτσι βρέθηκε η καλύτερη λύση.

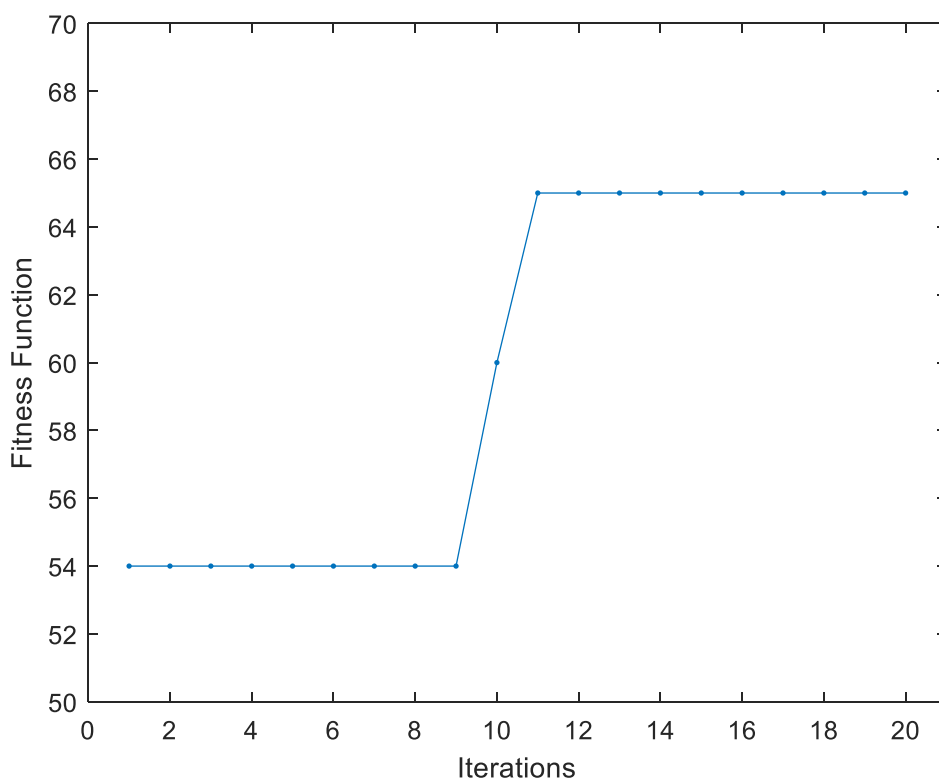
Στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι συνδυασμοί είναι σχετικά λίγοι ($2^{12} = 4096$), ωστόσο σε πιο πολύπλοκα πραγματικά προβλήματα αυτό δεν είναι πάντα εφικτό ή θα απαιτηθεί πολύ μεγάλος χρόνος για να βρεθεί η λύση. Αρχικά, δοκιμάζουμε την “Brute force” τεχνική και βρίσκουμε ότι η καλύτερη λύση είναι η:

[0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1]

με τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης 65, δηλαδή έχοντας καλύψει όλα τα προβλήματα.

Στη συνέχεια θα λύσουμε το πρόβλημα βελτιστοποίησης με χρήση του αλγορίθμου PSO. Ο κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB δίνεται στο παράρτημα. Στις βασικές παραμέτρους θέτουμε σμήνος μεγέθους 200 σωματιδίων, 20 επαναλήψεις, αδράνεια $w = 0.9$, συντελεστές $c1 = 2$, $c2 = 2$ και $magnitude = 1$.

Όντως, βρίσκουμε την ίδια λύση με την ίδια τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Η εξέλιξη της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης φαίνεται στο Διάγραμμα 1. Ήδη με το τέλος της πρώτης επανάληψης είχαμε λύση με τιμή 54, ενώ στην 11^η επανάληψη βρέθηκε το ολικό μέγιστο με τιμή 65.



Διάγραμμα 1 Εξέλιξη τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

Η λύση που βρέθηκε περιλαμβάνει την υιοθέτηση κάποιων από τις στρατηγικές λιτής παραγωγής που εισήχθησαν στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Πιο ειδικά επιλέγονται: η συνολική διαχείριση ποιότητας (Total Quality Management-TQM, η εξομάλυνση της παραγωγής, η τυπική εργασία, η κατασκευή κελιών παραγωγής, το Single Minute Exchange of Die (SMED), το πρόγραμμα – πλάνο βελτίωσης της ασφάλειας και τέλος το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών.

Η παραπάνω μεθοδολογία που ακολουθήθηκε θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε οργανισμό, με την προϋπόθεση ότι θα εισαχθούν τα «υποκειμενικά» δεδομένα των προβλημάτων καθώς και οι περιορισμοί κόστους και χρόνου υιοθέτησης λιτών στρατηγικών.

6 Συμπεράσματα

Στη παρούσα εργασία περιγράφουμε την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων και τη μεθοδολογία της εύρεσης του βέλτιστου αριθμού λιτών στρατηγικών. Επίσης, αφού προσεγγίσαμε το πρόβλημα μέσα από μια συνάρτηση αξιολόγησης, παρουσιάσαμε δύο αλγορίθμους βελτιστοποίησης οι οποίοι θα μπορέσουν να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα, αναζητώντας για τις παραμέτρους εκείνες που θα βρίσκουν το ολικό ελάχιστο της συνάρτησης, δηλαδή την βέλτιστη λύση.

Με τον όρο «λιτή παραγωγή» ο οποίος επικυρώθηκε από μια εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τις λιτές πρακτικές στις μεταποιητικές βιομηχανίες, παρέχεται μια εξήγηση των βασικών αρχών και ένα σαφές ορισμό για τη λιτή παραγωγή σε μια κοινωνικο-τεχνική προσέγγιση. Αυτό το μοντέλο των 10 στοιχείων περιλαμβάνει πρόσωπα και στοιχεία της διαδικασίας, καθώς και εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, για τους οποίους υπήρχε περιορισμένη εστίαση σε παλαιότερες έρευνες (Dora et al., 2013). Ως εκ τούτου αυτές οι ευρέως αποδεκτές δέκα διαστάσεις της λιτής παραγωγής χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη έρευνα και επικυρώνονται για την εφικτότητα μέσω τεχνολογιών INDUSTRY 4.

Αυτές οι δέκα διαστάσεις χωρίζονται σε τέσσερις μεγάλους παράγοντες, ανάλογα με τις οντότητες που εμπεριέχονται σε κάθε διάσταση

- Παράγοντας προμηθευτών
- Παράγοντας πελατών
- Παράγοντες διαδικασιών
- Παράγοντες ελέγχου και ανθρώπων.

Οι παράγοντες προμηθευτών ανησυχούν για την ενσωμάτωσή τους με τους προμηθευτές στην επιχείρηση, και περιλαμβάνουν την ανατροφοδότηση του προμηθευτή, την ανάπτυξη του προμηθευτή και την παράδοση JIT. Ο παράγοντας των πελατών επικεντρώνεται στη συμμετοχή των πελατών στις επιχειρηματικές διαδικασίες. Οι παράγοντες διαδικασιών επικεντρώνουν στην λειτουργία και τη σειρά των διαδικασιών, και αποτελούνται από τις διαστάσεις προσέλευσης στην παραγωγή, συνεχούς ροής και μείωσης του χρόνου εγκατάστασης. Οι παράγοντες ελέγχου και οι ανθρωπίνι παράγοντες ασχολούνται με το σύστημα ελέγχου και τους εργαζόμενους. Η συνολική παραγωγική/προληπτική συντήρηση, στατιστικές διαδικασίες ελέγχου και η ενασχόληση με το προσωπικό εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία.

Η Industry 4.0 αποτελεί την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση εφαρμόζοντας τις αρχές των κυβερνο-φυσικών συστημάτων (cyber-physical systems, CPS), διαδίκτυο και τεχνολογίες προσανατολισμένες στο μέλλον, καθώς και έξυπνα συστήματα με

βελτιωμένα πρότυπα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής. Αυτό επιτρέπει την ταυτότητα και την επικοινωνία σε κάθε οντότητα στη ροή τιμών και οδηγεί σε μαζική προσαρμογή με δυνατότητα IT, στην κατασκευή (Lasi, Fettke, Kemper, Feld & Hoffmann, 2014; Posada et al., 2015; Valdez, Brauner, Schaar, Holzinger & Ziefle, 2015). Ο όρος επινοήθηκε για πρώτη φορά το 2011 στην έκθεση του Ανόβερο και ακολουθήθηκε από τη σύσταση ομάδας εργασίας υπό τους Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) και Henning Kagermann (Acatech).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων και των υπηρεσιών επιτρέπει τη δικτύωση ολόκληρου του εργοστασίου για τη διαμόρφωση ενός έξυπνου περιβάλλοντος. Τα ψηφιακά αναπτυγμένα έξυπνα μηχανήματα, τα συστήματα αποθήκευσης και οι εγκαταστάσεις παραγωγής επιτρέπουν την ολοκλήρωση βασισμένων σε συστήματα πληροφοριών και επικοινωνιών που βασίζονται στην αλυσίδα εφοδιασμού από τα εισερχόμενα “logistics” έως την παραγωγή, το μάρκετινγκ, τα εξερχόμενα “logistics” και την υπηρεσία (Kagermann, Helbig, Hellinger & Wahlster, 2013).

Η Industry 4.0 εξασφαλίζει επίσης τη δημιουργία καλύτερης συνεργασίας μεταξύ υπαλλήλων και επιχειρηματικών εταίρων ενώ επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον παραγωγής με ριζικές αλλαγές στην εκτέλεση της λειτουργίας. Σε αντίθεση με τον συμβατικό προγραμματισμό παραγωγής βάσει προβλέψεων, το Industry 4.0 επιτρέπει τον προγραμματισμό των σχεδίων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τη δυναμική αυτο-βελτιστοποίηση. Αν και είναι ενσωματωμένο με τις τελευταίες τεχνολογίες και έξυπνους αλγόριθμους, το έξυπνο εργοστάσιο επιτρέπει την κατασκευή του στα θεμέλια του κλασικού συστήματος παραγωγής Toyota (Bauernhansl, Hompel & Vogel-Heuser, 2014).

Η εισαγωγή συστημάτων πληροφοριών και επικοινωνιών στο βιομηχανικό δίκτυο οδηγεί επίσης σε απότομη αύξηση του βαθμού αυτοματοποίησης. Έξυπνα και αυτο-βελτιστοποιημένα μηχανήματα στη γραμμή παραγωγής συγχρονίζονται με ολόκληρη την αλυσίδα τιμών, ήδη από την παραγγελία ή υλικά από προμηθευτές έως την παράδοση των αγαθών σε πελάτες (Spath, Ganschar, Gerlach, Hämmerle, Krause & Schlund, 2013). Η προσομοίωση αποθέματος, «logistics» και μεταφοράς, καθώς και το ιστορικό χρήσης των προϊόντων βοηθούν επίσης να επηρεαστούν θετικά οι διαδικασίες παραγωγής (Wan, Cai & Zhou, 2015).

Η ενσωμάτωση τόσο των χαρακτηριστικών της λιτής παραγωγής όσο και του Industry 4.0 είναι ένας σημαντικός τομέας έρευνας που πρέπει να διερευνηθεί εκτενώς. Με την έλευση της ολοκληρωμένης κατασκευής υπολογιστών, υπήρχε η εικασία ότι τα εργοστάσια του μέλλοντος θα λειτουργούσαν αυτόνομα χωρίς την απαίτηση ανθρώπινων

χειριστών. Παρόλο που μια τέτοια δήλωση αποδείχτηκε ανέφικτη σε πραγματικό σενάριο, βοήθησε στην ανάπτυξη της ιδέας του λιτού αυτοματισμού, όπου χρησιμοποιούνται ρομποτικές και αυτοματοποιημένες τεχνολογίες για την επίτευξη λιτής κατασκευής. Το σύστημα παραγωγής Toyota της Taichii Ohno βασίζεται σε δύο πυλώνες: έγκαιρα και αυτόνομα (Ohno, 1988). Η αυτονομία αναφέρεται στην αυτοματοποίηση των μη αυτόματων διαδικασιών ώστε να συμπεριληφθεί η επιθεώρηση, δηλ. όταν παρουσιαστεί πρόβλημα, ο εξοπλισμός θα πρέπει να σταματήσει αυτόματα και να μην επιτρέψει στα ελαττωματικά προϊόντα να προχωρήσουν περαιτέρω στη γραμμή. Μόνο όταν το ελαττωματικό προϊόν ανιχνευθεί, τότε απαιτείται η ανθρώπινη επέμβαση. Ως εκ τούτου, η αυτοματοποίηση στην παραγωγή έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο από την αρχή της λιτής κατασκευής, και η Industry 4.0 μπορεί να θεωρηθεί ως πρόοδος σε αυτόν τον τομέα.

Η λιτή βιομηχανία έχει σχεδιαστεί για να ελαχιστοποιεί το χρόνο και τους πόρους που χρησιμοποιούνται κατά τις διαδικασίες παραγωγής καθώς και κατά τις υπόλοιπες δραστηριότητες μιας επιχείρησης με έμφαση στην εξάλειψη όλων των μορφών απωλειών. Παρόλο που οι στρατηγικές λιτής παραγωγής γίνονται δημοφιλείς ως τεχνικές μείωσης των απωλειών και βελτίωσης της απόδοσης, οι κατασκευαστές ανησυχούν για το απαιτούμενο κόστος και το χρόνο της εφαρμογής τους. Οι περισσότερες βιομηχανίες ανησυχούν ότι η εφαρμογή των λιτών κατασκευών καταναλώνει χρόνο και χρήμα (Papadopoulou & Ozbayrak, 2005b), (Achanga, et al., 2006; Browning & Heath, 2009). Η πλειοψηφία των ερευνητών αναγνώρισε ότι η διαδικασία μετατροπής σε ένα λιτό σύστημα παραγωγής απαιτεί μεγάλη προσπάθεια, συμμετοχή όλων των επιπέδων στην ιεραρχία, εισαγωγή νέων αρχών όχι μόνο στο επίπεδο του καταστήματος αλλά και στην εταιρική κουλτούρα και οργανωτική δομή. Η πραγματικότητα είναι ότι η λιτή παραγωγή συχνά επιφέρει μία ή περισσότερες ανεπιθύμητες καταστάσεις όπως: ανάγκη για περεταίρω δέσμευση χρόνου και χρήματος, για επενδύσεις στις εγκαταστάσεις παραγωγής και συναρμολόγησης, για αλλαγές στη συντήρηση και σε τμήματα της διοίκησης και κάποιες φορές increased quality risk. Επομένως, είναι σημαντική η λήψη αποτελεσματικής απόφασης κατά την επιλογή και την εφαρμογή οποιουδήποτε έργου συμπεριλαμβανομένης και της λιτής παραγωγής

Διαφορετικά, εξαιτίας της επιλογής λάθους εργαλείου, αλλαγές που προκύπτουν από νέες πρωτοβουλίες παραγωγικότητας όπως η λιτή παραγωγή, μπορεί να προκαλέσουν διαταραχές στην ίδια τη διαδικασία που προορίζονταν να βελτιώσουν.

Ο στόχος του κατασκευαστή είναι να μεγιστοποιήσει την αντιληπτή αξία της αλλαγής, φέρνοντας τη φυσική αλλαγή στη διαδικασία με το ελάχιστο κόστος σε χρήμα και χρόνο

για να υλοποιήσει αυτές τις αλλαγές. Στη μελέτη αυτή το επίκεντρο δεν ήταν οι εξωτερικοί παράγοντες. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για αποτελεσματική διαδικασία παραγωγής στο πλαίσιο εσωτερικών περιορισμών όπως όπως ο προϋπολογισμός ανάπτυξης και επενδύσεων και ο χρόνος.

Σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της επίδρασης των αλλαγών με όρους αντιληπτής αξίας κατασκευαστών μέσα σε δεδομένους εσωτερικούς περιορισμούς. Οι επιθυμητές αντιληπτές αξίες είναι οι αντιλήψεις των κατασκευαστών για το τί θέλουν να επιτύχουν από μια διαδικασία με τη βοήθεια της εφαρμογής των λιτών στρατηγικών και με τον τρόπο αυτό να επιτύχουν τον επιθυμητό σκοπό ή στόχο όπως την μείωση ή εξουδετέρωση των απωλειών.

Τα προβλήματα στην επιλογή της λιτής στρατηγικής μπορεί να γίνουν κατανοητά με το ακόλουθο παράδειγμα:

Έστω ένας κατασκευαστικός οργανισμός ο οποίος εξετάζει την εφαρμογή λιτών στρατηγικών.

Υπάρχει n αριθμός λιτών στρατηγικών διαθέσιμων προς επίτευξη των στόχων του κατασκευαστή. Κάθε λιτή στρατηγική μπορεί να έχει διαφορετικούς επιμέρους στόχους, προϋπολογισμό και απαιτήσεις πόρων. Ταυτόχρονα οι κατασκευαστές έχουν το δικό τους σκοπό (μείωση διαφόρων απωλειών, ή ανεπάρκειες των διαδικασιών) καθώς και περιορισμούς στους πόρους (περιορισμένο προϋπολογισμό, περιορισμένο χρόνο ή ανθρώπινους πόρους, ή σύνθετη διαδικασία παραγωγής για την εφαρμογή μιας στρατηγικής). Προκειμένου να πετύχουν το στόχο τους, οι κατασκευαστές θα πρέπει να επιλέξουν ένα σύνολο στρατηγικών στα πλαίσια των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό, οι στόχοι του κατασκευαστή μεταφράζονται σε βελτίωση της απόδοσης, της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας μειώνοντας τους διάφορους τύπους απωλειών.

Στην ενότητα που ακολουθεί, τα μαθηματικά μοντέλα αναπτύχθηκαν για να υποστηρίξουν την λήψη αποφάσεων στην επιλογή λιτών στρατηγικών ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιούν την αξία της μείωσης των απωλειών στα πλαίσια των περιορισμών των πόρων.

Η λιτή παραγωγή είναι μια προσέγγιση συνεχούς βελτίωσης που στοχεύει στην εξάλειψη των απωλειών και μείωση της μεταβλητότητας στις διαδικασίες παραγωγής. Επί του παρόντος, οι κατασκευαστές αντιμετωπίζουν μια σημαντική πρόκληση, τον εντοπισμό των απωλειών στις διεργασίες τους και την επιλογή μιας σωστής λιτής στρατηγικής για την αντιμετώπιση αυτών των απωλειών. Η πιο κρίσιμη πρόκληση είναι να επιτευχθούν

τα μέγιστα οφέλη από τη λιτή εφαρμογή εντός των περιορισμών των πόρων του κατασκευαστή.

Η λιτότητα είναι ένα μέτρο απόδοσης μιας διαδικασίας παραγωγής λόγω της εφαρμογής λιτών στρατηγικών. Είναι απαραίτητο να μετρηθεί το επίπεδο λιτότητας του κατασκευαστή προκειμένου να αξιολογήσει και να παρακολουθήσει τις πρωτοβουλίες βελτίωσης. Ένα συγκεκριμένο σύνολο μετρήσεων λιτής απόδοσης θα συμβάλει εν μέρει στην αξιολόγηση του συνόλου του επιπέδου λιτότητας του κατασκευαστή.

Ανάπτυξη ενός τέτοιου ολοκληρωμένου λιτού μέτρου (λαμβάνοντας υπόψη ποσοτικούς και ποιοτικούς πίνακες) δεν έχει παρουσιαστεί στην βιβλιογραφία. Η συγκεκριμένη εργασία προάγει την τρέχουσα βάση γνώσεων αναπτύσσοντας μαθηματικά μοντέλα και μεθοδολογίες για να ξεπεραστεί η επιλογή λιτών στρατηγικών και η εκτίμηση των προβλημάτων λιτότητας.

Με την επιλογή κατάλληλων λιτών στρατηγικών, ο κατασκευαστής μπορεί να θέσει καλύτερα τις προτεραιότητες του όσον αφορά τις προσπάθειες εφαρμογής και πόρων, ώστε να μεγιστοποιήσει τα οφέλη από την εφαρμογή των στρατηγικών αυτών. Η αξία της λιτότητας χρησιμεύει στο να αξιολογηθεί η τρέχουσα κατάσταση λιτότητας της επιχείρησης (π.χ. πριν ή μετά την εφαρμογή των στρατηγικών αυτών) και να εκτιμηθεί μια βέλτιστη κατάσταση λιτότητας (π.χ. συγκριτική αξιολόγηση).

6.1 Αποτελέσματα της έρευνας

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της έρευνας μας ήταν:

- Ένα μαθηματικό μοντέλο και μια δομημένη μεθοδολογία για την σωστή επιλογή της λιτής στρατηγικής με σκοπό την μείωση του παραγόμενου αποβλήτου στα πλαίσια της του περιορισμού των πόρων από την πλευρά του κατασκευαστή.
- Μια μέθοδος προσδιορισμού ενός κατάλληλου αριθμού λιτών στρατηγικών. Παρέχει μια λίστα από, παραγόμενες κατά την παραγωγή, απώλειες οι οποίες μπορούν να αντιμετωπισθούν με την εφαρμογή των επιλεγμένων λιτών στρατηγικών και εντός φυσικά των περιορισμών των πόρων από την μεριά του κατασκευαστή.

Υπάρχουν πολλές επιτυχημένες στρατηγικές για τις λιτές στρατηγικές καθώς και πολλές αποτυχίες εξαιτίας της σύγχυσης εκ μέρους των κατασκευαστών για το ποια στρατηγική να επιλέξουν και πώς να ενσωματώσουν τη στρατηγική αυτή στο δικό τους πρόβλημα (Tiwary, et al., 2007). Η εφαρμογή της κάθε λιτής στρατηγικής απαιτεί επενδύσεις για

λεπτομερή σχεδιασμό, εκπαίδευση προσωπικού και ανάπτυξη υποστηρικτικών τεχνολογιών, καθώς και πλήρη συστήματα συντήρησης (Mejabi, 2003).

Από τις υπάρχουσες μεθοδολογίες για την σωστή επιλογή κάποιας λιτής στρατηγικής λείπει μια συστηματική προσέγγιση και ένα μοντέλο ανάλυσης το οποίο θα είναι αυτό που θα μπορεί να αποφασίσει για την επιλογή της κατάλληλης λιτής στρατηγικής για τις παραγόμενες απώλειες, πάντα μέσα στο πλαίσιο των περιορισμών που προκύπτουν από τους πόρους του εκάστοτε κατασκευαστή. Ένα μαθηματικό μοντέλο έχει αναπτυχθεί προκειμένου να καθορίσει την κατάλληλη λιτή στρατηγική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων των κατασκευαστών μέσα στα περιοριστικά όρια που έχουν ήδη αναφερθεί. Η προτεινόμενη λιτή μέθοδος εκτίμησης έχει το πλεονέκτημα να μπορεί να καθορίσει τη συνολική λιτότητα ενός κατασκευαστικού συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά γνωρίσματα. Ο δείκτης λιτότητας βοηθάει στο να καθοριστεί το κενό ανάμεσα στην τρέχουσα κατάσταση λιτότητας, την κατάσταση λιτότητας μετά την εφαρμογή κάποιας λιτής στρατηγικής και την ιδανική κατάσταση λιτότητας. Τα παραπάνω λοιπόν δείχνουν πώς το επίπεδο λιτότητας ενός κατασκευαστικού συστήματος με δύο διαφορετικές καταστάσεις μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να συγκριθεί. Η μέθοδος αυτή έχει ένα ακόμη πλεονέκτημα, το να μετράει την λιτότητα κάθε κατηγορίας, κάτι το οποίο είναι χρήσιμο για την ανάλυση των ατομικών μετρήσεων απόδοσης και για τον εντοπισμό των προβληματικών περιοχών που σχετίζονται με αυτήν την κατηγορία. Αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική για managers και γι' αυτούς που παίρνουν αποφάσεις να εντοπίσουν και να διαγνώσουν τα προβλήματα στη συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία.

6.2 Περιορισμοί στην έρευνα και μελλοντικές κατευθύνσεις

Αυτή η εργασία έχει κάνει ένα σημαντικό βήμα προς μια βαθύτερη κατανόηση της φιλοσοφίας της λιτής παραγωγής, ειδικά στην επιλογή λιτών στρατηγικών και της αξιολόγησης της λιτότητας. Ωστόσο, παρατηρούνται ορισμένοι ερευνητικοί περιορισμοί:

- Η χαρτογράφηση ανάμεσα στα λιτά εργαλεία και τις απώλειες βασίζεται σε γενικές σχέσεις, στη βιβλιογραφία και μπορεί να μην εφαρμόζεται σε κάθε βιομηχανία ενώ μπορεί να επικυρωθεί με περαιτέρω εμπειρική ή αναλυτική έρευνα
- Η αντιληπτή αξία της εφαρμογής μιας λιτής στρατηγικής είναι δύσκολο να καθοριστεί πριν την εφαρμογή της. Αυτή η μεθοδολογία προλέγει το αναμενόμενο αποτέλεσμα της εφαρμογής της λιτής στρατηγικής βασιζόμενη στη

συσχέτιση της λιτής στρατηγικής/μήτρα απωλειών και θεωρώντας την αντιληπτή αξία της μείωσης της απώλειας που δίνεται από τον κατασκευαστή. Ωστόσο οι οδηγίες του παραρτήματος Α καθορίζουν την αντιληπτή αξία της αποτελεσματικότητας. Αυτές οι οδηγίες μπορούν να βελτιωθούν σε μελλοντική έρευνα.

- Σε μία πρακτική περίπτωση, είναι πολύ δύσκολο να διακρίνει κανείς την επίδραση των αναγκαστικών αλλαγών της λιτής εφαρμογής. Οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να ερευνήσουν την επίδραση των αναγκαστικών αλλαγών στη συνολική παρουσία του κατασκευαστικού συστήματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of production economics*, 107(1), 223-236.
- Agustin, R. O., & Santiago, F. (1996, November). Single-minute exchange of die. In *IEEE/SEMI 1996 Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop. Theme-Innovative Approaches to Growth in the Semiconductor Industry. ASMC 96 Proceedings* (pp. 214-217). IEEE.
- Ahuja, I. S. (2011). Total productive maintenance practices in manufacturing organisations: literature review. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 11(2), 117-138.
- Amin, M. A. (2013). *A systematic approach for selecting lean strategies and assessing leanness in manufacturing organizations* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
- Amin, M. A., & Karim, A. (2011). Maximising the manufacturer performance value through lean initiatives using cost based model. In *Proceedings of the First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing* (pp. 332-337). Queensland University of Technology.
- Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM magazine*.
- Bachamada, C. (1999). *Development of an empirical model for the planning and implementation of lean manufacturing*. M.S., The University of Texas at El Paso, United States -- Texas.
- Bayazit, O., & Karpak, B. (2007). An analytical network process-based framework for successful total quality management (TQM): An assessment of Turkish manufacturing industry readiness. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 79-96.
- Chen, R. S., Tu, M. A., & Jwo, J. S. (2010). An RFID-based enterprise application integration framework for real-time management of dynamic manufacturing processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(9-12), 1217-1234.
- Cheng, T. C., & Podolsky, S. (1996). *Just-in-time manufacturing: an introduction*. Springer Science & Business Media.

- Clearwater, S. H., Hogg, T., & Huberman, B. A. (1992). Cooperative problem solving. In *Computation: The micro and the macro view* (pp. 33-70).
- Colin, D. (2001). *Management Accounting for Business Decisions*. Thompson Learning, 2nd edition, London.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of the IEEE international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). Citeseer.
- EBRAHTMPOUR, M., & Schonberger, R. J. (1984). The Japanese just-in-time/total quality control production system: potential for developing countries. *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 22(3), 421-430.
- Fiedler, K., Galletly, J. E., & Bicheno, J. (1993). Expert advice for JIT implementation. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Gautam, N., & Singh, N. (2008). Lean product development: Maximizing the customer perceived value through design change (redesign). *International Journal of Production Economics*, 114(1), 313-332.
- Geerts, G. L., & O'Leary, D. E. (2014). A supply chain of things: The EAGLET ontology for highly visible supply chains. *Decision Support Systems*, 63, 3-22.
- Guo, Z., Ngai, E., Yang, C., & Liang, X. (2015). An RFID-based intelligent decision support system architecture for production monitoring and scheduling in a distributed manufacturing environment. *International journal of production economics*, 159, 16-28.
- Hall, R. (1983). *Zero inventories*. Homewood, IL: Dow Jones-Irwin. *HallZero Inventories1983*.
- Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2006). *Cost Management: Accounting and Control*. 5th edition. Thomson South Western. 984p.
- Inman, R. R., & Bulfin, R. L. (1991). Note—Sequencing JIT Mixed-Model Assembly Lines. *Management Science*, 37(7), 901-904.
- Kumar, V. (2010). JIT based quality management: concepts and implications in Indian context. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(1), 40-50.
- Ngai, E. W. T., Cheng, T. C. E., Lai, K. H., Chai, P. Y. F., Choi, Y. S., & Sin, R. K. Y. (2007). Development of an RFID-based traceability system: experiences and

- lessons learned from an aircraft engineering company. *Production and operations management*, 16(5), 554-568.
- Padukone, H., & Subba, R. H. (1993). Global status of JIT-Implication for developing countries. *Prod J*, 34(3), 419-429.
- Poon, T. C., Choy, K. L., & Lau, H. C. W. (2007). A real-time shop floor control system: an integrated RFID approach. *International Journal of Enterprise Network Management*, 1(4), 331-349.
- Shim, J. K., & Siegel, J. G. (2000). *Modern cost management & analysis*. Barron's Educational Series.
- Van den Bergh, F., & Engelbrecht, A. P. (2006). A study of particle swarm optimization particle trajectories. *Information sciences*, 176(8), 937-971.
- Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., ... & Doody, P. (2011). Internet of things strategic research roadmap. *Internet of things-global technological and societal trends*, 1(2011), 9-52.
- Wang, B., Cao, Z., Yan, Y., Liu, W., & Wang, Z. (2011). Fundamental technology for RFID-based supervisory control of shop floor production system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57(9-12), 1123-1141.
- Wolpert, D. H., & Macready, W. G. (1995). *No free lunch theorems for search* (Vol. 10). Technical Report SFI-TR-95-02-010, Santa Fe Institute.
- Zhang, Y., Huang, G. Q., Sun, S., & Yang, T. (2014). Multi-agent based real-time production scheduling method for radio frequency identification enabled ubiquitous shopfloor environment. *Computers & Industrial Engineering*, 76, 89-97.
- Zhong, R. Y., Huang, G. Q., Lan, S., Dai, Q. Y., Zhang, T., & Xu, C. (2015). A two-level advanced production planning and scheduling model for RFID-enabled ubiquitous manufacturing. *Advanced Engineering Informatics*, 29(4), 799-812.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ps0.m

```
rng(2021);

LW = [
    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
    0    0    0    0    1    0    0    1    1    0
    0    0    1    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    1    0    0    1    1    0
    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    1    0    0    1    0    0    0    1    1    0
    0    1    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
];

C=[2  2  0  3  2  2  2
    8  8  2  8  5  4  5
    7  5  3  7  5  8  4
    8  5  4  5  5  6  5
    7  6  4  7  8  5  4
    4  2  0  4  4  4  4
    3  0  2  3  4  5  3
    5  6  3  6  6  4  3
    6  5  2  8  7  4  5
    7  5  2  7  7  4  4
    4  2  2  4  3  5  2
    7  9  3  9  8  7  4];
max_cost=[40 30 30 45 55 35 35];
perval=[9  8  7  6  5  7  8  4  5  6]; %Perceived values
```

PSO PARAMETERS

```
dims = 12;

particles = 200;

% Velocity multiplier
magnitude = 1.0;
% # particles
% iterations
max_iter = 20;
% Recommended values for c1, c2, r1, r2
c1 = 2.0;
c2 = 2.0;
r1 = rand(1);
r2 = rand(1);
% Inertia weight
w = 0.9;
% % % % % % % % % %
gbest_error = 0;
g_best_particle=1;
```

```

pbest_error = zeros(1,particles);
% % % % % % % % % %

% ftiaxnoyme to arxiko sminos
swarm = rand(particles, dims);
pbest = zeros(particles, dims);
pbest_fit = zeros(particles,1);
fit = zeros(particles,1);

best_val = zeros(max_iter,1);

for iters = 1:max_iter
    for i = 1:particles

        selected_L = round(swarm(i,:)); %metatropi lysis se akeraious (0 h 1) gia
        ypologismo kostous

        %vriskoyme kostos lysis
        matr = zeros(12,10); %poia apo ta w problhmata lynontai apo tis epilegmenes L
        stratigikes
        matr(selected_L>0,:) = LW(selected_L>0,:);

        selected_L = selected_L';
        total_cost = zeros(1,7);
        for j=1:7
            total_cost(j)= sum(selected_L .* C(:,j));
        end

        %elegxoume an thrountai kai oi 7 periorismoι kostous
        checks = total_cost <= max_cost;
        check=sum(checks);
        feasible = (check == 7);

        if (~feasible)
            fit(i,1) = 0;
        else
            %ypologismos fitness function
            selected_w = sum(matr);
            selected_w = selected_w > 0;

            benefit = sum(selected_w .* perval);

            fit(i,1) = benefit;
        end
        %update best position of particle
        if fit(i,1)>pbest_fit(i,1)
            pbest_fit(i,1) = fit(i,1);
            pbest(i,:) = swarm(i,:);
        end
    end
end
%global best
[mv, mi] = max(pbest_fit);
best_val(iters) = mv;
gbest = pbest(mi,:);
%update speed
v = zeros(particles,dims);
for k = 1:particles
    v(k,:) = rescale(magnitude*(w * v(k,:) + c1*r1*(pbest(k,:) - swarm(k,:)) +
c2*r2*(gbest - swarm(k,:))),0,1);
end

```

```

% Update the position matrix for each particle
swarm = rescale(swarm + v, 0, 1);
end

best_L = round(gbest);
disp(best_L)
disp(best_val)

plot(best_val, '-.')
xlim([0 (max_iter+1)])
ylim([50 70])
xlabel('Iterations')
ylabel('Fitness Function')

```

Brute_Force.m

```

LW = [
    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
    0    0    0    0    1    0    0    1    1    0
    0    0    1    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    1    0    0    1    1    0
    0    0    0    0    1    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    1    0    0    0    0
    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0
    1    0    0    1    0    0    0    1    1    0
    0    1    0    0    0    0    0    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    1    0    0    0
    0    0    0    0    0    0    0    0    0    1
];

c=[2  2  0  3  2  2  2
    8  8  2  8  5  4  5
    7  5  3  7  5  8  4
    8  5  4  5  5  6  5
    7  6  4  7  8  5  4
    4  2  0  4  4  4  4
    3  0  2  3  4  5  3
    5  6  3  6  6  4  3
    6  5  2  8  7  4  5
    7  5  2  7  7  4  4
    4  2  2  4  3  5  2
    7  9  3  9  8  7  4];
max_cost=[40 30 30 45 55 35 35];
perval=[9  8  7  6  5  7  8  4  5  6];

k_max=4095;

combi=zeros(k_max,13);

f_val = zeros(k_max,1);
feasible = zeros(k_max,1);

for k=1:k_max
    selected_L=dec2binvec(k,12);

```

```

matr = zeros(12,10);
matr(selected_L>0,:) = LW(selected_L>0,:);

selected_L = selected_L';
total_cost = zeros(1,7);
for j=1:7
    total_cost(j)= sum(selected_L .* C(:,j));
end

checks = total_cost <= max_cost;

check=sum(checks);

feasible(k) = (check == 7);
f_val(k) = sum((sum(matr)>0) .* perval);

if check==7
    maty=sum(matr); %Perceived value sum
    maty = maty > 0;

    benefit = sum(maty .* perval);

    combi(k,1)= benefit;
    combi(k,2:13) = selected_L;
end

end

figure()
plot(f_val,'.-')
hold on
plot(find(feasible==0),f_val(feasible==0),'r.')

figure()
plot(find(feasible==1),f_val(feasible==1),'b.')

[maxval,maxloc]=max(combi);
maxcomb=combi(maxloc(1,1),:);

```