

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη και Εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτόματης
ρύθμισης γραμμών παραγωγής SMED
(Single Minute Exchange of Dies)**



ΑΓΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

6589

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Καμπουρίδης, Καθηγητής

Πάτρα 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην μεθοδολογία SMED. Η μεθοδολογία SMED αντιπροσωπεύει ένα ταξίδι που δεν θα πρέπει ποτέ να τελειώσει, αφού περιλαμβάνει την αναγνώριση και την εξάλειψη του χαμένου χρόνου και των μη αποτελεσματικών τρόπων περάτωσης μίας εργασίας. Είναι η συνεχής βελτίωση όλων των λειτουργιών και διαδικασιών που εμπλέκονται στην κατασκευή. Η εφαρμογή των συστημάτων «λιπής» παραγωγής έσωσε πολλές εταιρείες από σπατάλες εκατομμυρίων δολαρίων τα τελευταία 20 χρόνια. Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Γεώργιο Καμπουρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Αγρογιάννης Στυλιανός Φεβρουάριος 2014

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λόγω της παγκοσμιοποίησης, οι εταιρείες αντιμετωπίζουν τεράστια πίεση, ώστε να μειώσουν το κόστος παραγωγής, προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητά τους και να αντιμετωπιστεί ο έντονος ανταγωνισμός των αναδυόμενων χωρών. Το SMED (Single Minute Exchange of Dies) συνιστά ένα εργαλείο, του οποίου ο στόχος είναι η μείωση της σπατάλης χρόνου στην παραγωγική διαδικασία μέσω του ελέγχου της γραμμής παραγωγής σε πραγματικό χρόνο και της εύρεσης λύσεων.

Η μεθοδολογία SMED δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του '50 και έκτοτε έχει εξαπλωθεί σε πληθώρα τομέων με αποκορύφωμα αυτού της αυτοκινητοβιομηχανίας. Επί του παρόντος, η μείωση του κόστους αποκτά ιδιαίτερη δυναμική σε τομείς με αδύναμη τεχνολογική συνιστώσα το προϊόν και όπου συνήθως ο βασικός παράγοντας αγοράς (του προϊόντος) είναι η τιμή. Σε μια τέτοια περίπτωση, η παραγωγική αποδοτικότητα αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας για την εταιρεία. Η ελαχιστοποίηση του χρόνου εγκατάστασης, επιτρέπει στις εταιρείες να αποκτήσουν δύο μεγάλα πλεονεκτήματα:

- Μείωση του κόστους ακινητοποίησης του εξοπλισμού.
- Δημιουργία μικρών παρτίδων, εξαλείφοντας έτσι το κόστος που συνδέει το απόθεμα.

ABSTRACT

Due to globalization, companies face enormous pressure to cut production costs in order to increase their productivity and to tackle the intense competition of emerging countries. SMED (Single Minute Exchange of Dies) is a tool whose goal is to reduce the waste of time in the production process through real-time production control and finding solutions.

The SMED methodology was developed and implemented for the first time in the late 1950s and since then it has spread to a number of areas culminating in the automobile industry. Currently, the cost reduction is gaining momentum in sectors with a weak technological component of the product and where usually the main factor of purchase (product) is the price. In such a case, the production efficiency is a critical success factor for the company. Minimizing installation time allows companies to acquire two great benefits:

- Reduce the cost of immobilizing the equipment.

- Create small batches, eliminating the cost associated with the stock.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	11
1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	12
1.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΣ.....	13
2.1 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	13
2.1.2 Επιλογή διαδικασίας.....	14
2.1.3 Προετοιμασία και συλλογή δεδομένων.....	14
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SMED.....	16
3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SMED.....	16
3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ SMED:.....	18
3.3 ΟΡΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ SMED:.....	20
3.4 ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΒΑΣΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SMED.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ.....	25
4.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	25
4.1.1 Προσέγγιση της SMED.....	25
4.1.2 Φάση 1: Χάρτης διαδικασίας εγκατάστασης.....	27
4.1.3 Φάση 2: Ταξινόμηση δραστηριοτήτων ως εξωτερικές ή εσωτερικές ρυθμίσεις.....	28
4.1.4 Φάση 3: Μετατροπή εσωτερικών ρυθμίσεων σε εξωτερικές, οπουδήποτε είναι δυνατόν.....	28
4.1.5 Φάση 4: Εξομάλυνση όλων των εσωτερικών και εξωτερικών δραστηριοτήτων.....	29
4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING (MCDM).....	30
4.2.1 Η προτεινόμενη προσέγγιση για την τρίτη φάση υλοποίησης.....	32
για ένα μόνο μηχάνημα.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: CASE STUDY «ΑΛΛΑΓΗΣ» ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ FARASON	38
5.1.ΦΑΣΕΙΣ SMED	39
5.1.1 SMED φάση 1: Χαρτογράφηση της τρέχουσας κατάστασης.....	39
5.1.2 SMED φάση 2: Διαχωρισμός της εσωτερικής και εξωτερικής ρύθμισης	39
5.1.3 SMED φάση 3: Μεταφορά εσωτερικών σε εξωτερικές δραστηριότητες	42
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	45
5.3 ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΩΝ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ SMED, Η «ΛΙΤΗ» ΠΑΡΑΓΩΓΗ	54
6.0.1 Ορισμός «Λιτής» Παραγωγής	56
6.1 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΤΙ ΕΣΤΙ «ΧΑΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ(ΑΠΟΒΛΗΤΑ)»	62
6.1.1Kaizen	70
6.1.2 Συνολική παραγωγική συντήρηση (TPM).....	72
6.1.3 Βοηθητικά «λιτά» εργαλεία	74
6.1.4 Χρόνος ανάληψης	75
6.2 «ΛΙΤΗ» ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	77
6.2.1 Just-in-Time	78
6.2.2 Jidoka	81
6.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ «ΛΙΤΗΣ» ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	82
6.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ «ΛΙΤΗΣ» ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	84
6.5 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΙΛΟΓΟΣ	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Γενικά κριτήρια και επιμέρους κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο <u>AHP</u>	34
Πίνακας 5.1 : Χρόνος εργασιών.....	41
Πίνακας 5.2: Συγκριτικός πίνακας σύγκρισης των διαφορετικών κριτηρίων για την τεχνολογία θέρμανσης μητρών σε σχέση με το γενικό στόχο.....	45
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα των τεστ AHP, TOPSIS, PSI.....	47
Πίνακας 5.4: Τελικά αποτελέσματα.....	48
Πίνακας 5.5: Σενάριο αύξησης κριτηρίου <u>χρόνου</u> κατά 15%.....	48
Πίνακας 5.6: Σενάριο αύξησης κριτηρίου <u>κόστους</u> κατά 15%.....	49
Πίνακας 5.7: Σενάριο αύξησης κριτηρίου <u>ενέργειας</u> κατά 15%.....	49
Πίνακας 5.8: Σενάριο αύξηση κριτηρίου <u>εύρους ζωής</u> κατά 15%.....	49
Πίνακας 5.9: Σενάριο αύξηση κριτηρίου <u>ασφαλείας</u> κατά 15%.....	50
Πίνακας 5.10: Όλα τα κριτήρια έχουν το ίδιο «ειδικό βάρος».....	50
Πίνακας 5.11: Διαφορές μετά την εφαρμογή SMED.....	52
Πίνακας 6.1: Βασικά στοιχεία του LPDS («λιτή» παραγωγή προϊόντων).....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 3.1: Ολοκληρωμένη διαδικασία εγκατάστασης της γραμμής παραγωγής.....	19
Σχήμα 4.1: Συμβατικό πλαίσιο προσέγγισης μεθοδολογίας SMED.....	30
Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ιεραρχίας αποφάσεων AHP.....	36
Σχήμα 6.1: Κατάσταση στόχου «λιτού» συστήματος.....	60
Σχήμα 6.2: Η «κατοικία» TPS.....	78
Σχήμα 6.3: Εννοιολογικό διάγραμμα του συστήματος Kanban.....	80
Εικόνα 6.1: Τα 7 «απόβλητα».....	63
Εικόνα 6.2: Υπερπαραγωγή.....	64
Εικόνα 6.3: «Υπερβολικά» αποθέματα.....	65
Εικόνα 6.4: Υπερβολική κίνηση.....	67
Εικόνα 6.5: Υπερβολική επεξεργασία.....	69
Εικόνα 6.6: Διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης.....	75
Εικόνα 6.7: Στοιχεία συστήματος «λιτού» τροχού.....	84
Εικόνα 6.8: Τα δύο λουλούδια δεν είναι ίδια, παρότι είναι και τα δύο λουλούδια.....	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο 1 της εργασίας θα περιγράψει τις βασικές αρχές του έργου και τη συνεργασία με ένα εργοστάσιο για την περάτωση αυτού. Αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψει επίσης το πρόβλημα το οποίο έπρεπε να αντιμετωπιστεί, τους στόχους και τις οριοθετήσεις του σχεδίου.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μείωση του χρόνου παραγωγής σε μία γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου παραγωγής με τη βοήθεια της επιλεγμένης μεθόδου. Η μείωση του χρόνου παραγωγής θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε χρόνο μηχανής, δηλαδή το μηχάνημα θα λειτουργεί περισσότερο και η παραγωγή προϊόντων θα αυξηθεί. Ο στόχος αυτής της διατριβής είναι να βρεθεί μια λύση με τη βοήθεια μιας επιλεγμένης μεθοδολογίας να μειωθεί ο προαναφερθείς χρόνος. Μετά τον επαναπροσδιορισμό του προβλήματος (1.2.), η διατριβή θα οδηγήσει σε τυποποιημένη ρύθμιση για όλες τις μηχανές της εταιρείας, με τη βοήθεια ενός εγχειριδίου εγκατάστασης. Έπειτα από την επαρκή κατανόηση της μεθόδου SMED, θα υπάρξει αναφορά και στην ολοκληρωμένη εξέλιξη της εν λόγω μεθοδολογίας.

1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όταν ο συγγραφέας ήρθε για πρώτη φορά σε επαφή με την το εργοστάσιο, του έδωσαν το καθήκον να συντομεύσει τους χρόνους λειτουργίας και αλλαγής μια μηχανής με τη βοήθεια εύρεσης ενός σχεδίου αναδιάταξης της εγκατάστασης ώστε να είναι περισσότερο προσανατολισμένη προς τη παραγωγή σε σύγκριση με το πώς είναι σήμερα. Κατά το σχεδιασμό αυτού του έργου, ο συντάκτης και οι υπεύθυνοι παραγωγής προσδιόρισαν την ανάγκη να συζητηθεί ένα συγκεκριμένο ζήτημα πίσω από τους απαραίδεκτους χρόνους παράδοσης. Αυτό που ήταν ξεκάθαρο από τη συζήτηση ήταν ότι υπάρχει πρόβλημα απώλειας χρόνου στην εγκατάσταση-αλλαγή των μηχανών στις γραμμές παραγωγής.

1.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο συγγραφέας εργάστηκε για αυτή τη διατριβή σε διάφορες τοποθεσίες. Το πρακτικό μέρος αυτής της πτυχιακής εργασίας έλαβε χώρα στο εργοστάσιο παραγωγής. Το γραπτό κομμάτι για αυτή την εργασία έγινε στο αναγνωστήριο της εταιρίας καθώς και στην οικία του συγγραφέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΣ

Αυτό το κεφάλαιο ασχολείται με τη μεθοδολογία πίσω από την εργασία. Θέματα όπως άλλες μέθοδοι και συζήτηση πίσω από την εγκεκριμένη μέθοδο θα μελετηθούν επίσης εδώ. Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος της εργασίας μας είναι η SMED(Single Minute Exchange of Dies)

2.1 Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1.1 Ποσοτική και ποιοτική μεθοδολογία

Κατά την εκτέλεση μιας ανάλυσης χρόνου εγκατάστασης, το προτιμώμενο είδος λήψης δεδομένων υποτίθεται ότι είναι ποσοτικό, για παράδειγμα διαγράμματα μέτρησης χρόνου και σπαγγέτι διαγράμματα σχετικά με τις κινήσεις που έγιναν. Μετά από περαιτέρω διερεύνηση της διαδικασίας εγκατάστασης, ο συγγραφέας μπόρεσε να παρατηρήσει ότι τόσο η διαδικασία ρύθμισης όσο και η εμφάνιση ποικίλλουν πάρα πολύ για μια ποσοτική μελέτη που πρέπει να γίνει μέσα στο δεδομένο χρονικό πλαίσιο. Ο συγγραφέας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι έπρεπε να γίνει μια ποιοτική μελέτη.

Τα είδη ποιοτικών μελετών που έγιναν σε αυτή την εργασία είναι τα εξής:

- Παρατηρήσεις

- Συνεντεύξεις
- Προγραμματισμένες συναντήσεις

2.1.2 Επιλογή διαδικασίας

Με τη λήψη του αρχικού ορισμού του προβλήματος για το συγκεκριμένο έργο, ο συγγραφέας αναφέρει τη λύση και τη μεθοδολογία ως ζήτημα προσανατολισμένο στη παραγωγή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο 1.2., το πρόβλημα επαναπροσδιορίστηκε σε μια μείωση χρόνου στην εγκατάσταση. Συμφωνήθηκε με τους υπεύθυνους παραγωγής ότι η SMED είναι η κατάλληλη μεθοδολογία για την επίλυση του συγκεκριμένου ορισμού του προβλήματος.

Ο συγγραφέας πραγματοποίησε ευρεία αναζήτηση τόσο στις βιβλιοθήκες όσο και στον Παγκόσμιο Ιστό για διαφορετικές μεθόδους, αλλά κατέληξε στο ίδιο συμπέρασμα με το καταρτισμένο προσωπικό της εταιρίας. Η SMED ήταν η μόνη πραγματική μέθοδος για τη μείωση του χρόνου εγκατάστασης. Υπάρχουν διάφορα ποιοτικά εργαλεία που θα μπορούσαν να επικεντρωθούν σε μεμονωμένα θέματα στη μείωση χρόνου της εγκατάστασης. Μόνο το SMED χειρίζεται το πλήρες φάσμα της μείωσης της εγκατάστασης. Άλλες μέθοδοι, όπως το Lean Switchover και το One Touch Exchange Die, είναι άλλες μέθοδοι που βασίζονται στο SMED του Shigeo Shingo (HenryJohn R (2013) Achieving Lean Switchover).

2.1.3 Προετοιμασία και συλλογή δεδομένων

- Σχέδια για προγραμματισμένες συναντήσεις με καταρτισμένο προσωπικό. Σκοπός αυτού ήταν η κατανόηση της εταιρείας, όσον αφορά τη διαδικασία εγκατάστασης, τη διαδικασία αλλαγής μίας μηχανής στη γραμμή παραγωγής και την εταιρική κουλτούρα

- Σχετική βιβλιογραφία και επιστημονικές εκθέσεις σχετικά με τη μέθοδο SMED
- Σχετικά έγγραφα για την παρακολούθηση της διαδικασίας εγκατάστασης
- Φωτογραφική μηχανή για σωστή τεκμηρίωση

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Με την επιλογή της μεθόδου SMED ως μεθόδου για τη μείωση των τρεχουσών χρόνων αλλαγής και ρύθμισης των μηχανών, ο συγγραφέας επέλεξε να χρησιμοποιήσουν αυτή τη μεθοδολογία ως ακρογωνιαίιο λίθο σε ολόκληρο το διάστημα της έρευνας. Για αυτό το λόγο, μια ενδελεχής εξήγηση της επιλεγμένης μεθοδολογίας λαμβάνει χώρα στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ SMED

Η κύρια στόχευση της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της εφαρμογής της μεθοδολογίας SMED. Στο πλαίσιο της εκπόνησής της θα παρουσιαστούν τα πορίσματα από την μελέτη και την ανάλυση του παραγωγικού συστήματος μίας διακριτής γραμμής παραγωγής, μίας σειράς παραγωγής χλωρινών. Εν συνεχεία τα αποτελέσματα του διαγνωστικού ελέγχου θα αποτελέσουν την αιτιολογική βάση ανάπτυξης των προσφερόμενων λύσεων και των πιθανών επιπτώσεων, οι οποίες έχουν άμεσο αντίκτυπο στην παραγωγικότητα της εταιρίας.

3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ SMED

Ο Taiichi Ohno, Ιάπωνας μηχανικός γνωστός και ως «πατέρας» της βιομηχανίας Toyota, ανέπτυξε το SMED το 1950. Η ιδέα του Ohno ήταν να αναπτύξει ένα σύστημα που θα μπορούσε να μεταβάλει τη γραμμή παραγωγής με ταχύτερο ρυθμό. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1950 ο Ohno κατάφερε να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για την αλλαγή της γραμμής από μία μέρα σε τρία μόλις λεπτά. Η βασική ιδέα του SMED είναι να μειώσει τον χρόνο εγκατάστασης σε ένα μηχάνημα. Υπάρχουν δύο τύποι ρυθμίσεων: εσωτερικές και εξωτερικές. Οι δραστηριότητες εσωτερικής εγκατάστασης είναι αυτές που μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο κατά τη διάρκεια που το μηχάνημα διακόπτεται, ενώ οι εξωτερικές ρυθμίσεις είναι εκείνες που μπορούν να γίνουν ενώ λειτουργεί το μηχάνημα. Η βασική ιδέα είναι να μετατραπούν όσο το

δυνατόν περισσότερες δραστηριότητες από εσωτερικές σε εξωτερικές και επίσης να καταλήξουμε ότι η κάθε μελέτη είναι προσβάσιμη και παγκόσμια υλοποιήσιμη.

Η εποχή της παγκοσμιοποίησης της αγοράς ενισχύει τις ανταγωνιστικές οικονομικές καταστάσεις και απαιτεί ταχύτερη προσφορά νέων προϊόντων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η καινοτομία των προϊόντων και η ευελιξία της παραγωγής αποτελούν τον βασικό οδηγό στη παραγωγική βιομηχανία. Στην προσπάθειά τους να παραμείνουν ανταγωνιστικές, οι έννοιες του SMED έχουν χρησιμοποιηθεί εξαιρετικά στο σύστημα παραγωγής. [11].

Το Single Minute Exchange of Dies (SMED) είναι μία από τις πολλές μεθόδους παραγωγής για τη μείωση του χρόνου μετάβασης σε μια παραγωγική διαδικασία. Παρέχει έναν γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο μετατροπής μιας διαδικασίας κατασκευής από τη λειτουργία του τρέχοντος προϊόντος σε λειτουργία του επόμενου προϊόντος. Αυτή η γρήγορη μετάβαση είναι το κλειδί για τη μείωση του χρόνου παραγωγής και για τη βελτίωση της ροής. Η φράση "single minute" δεν σημαίνει ότι όλες οι αλλαγές και οι εγκαταστάσεις μιας γραμμής παραγωγής θα πρέπει να διαρκέσουν μόνο ένα λεπτό, αλλά ότι θα πρέπει να διαρκέσουν λιγότερο από 10 λεπτά (με άλλα λόγια, "μονοψήφιο λεπτό"). Ο SMED είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει το χρόνο αλλαγής των ρυθμίσεων που μπορεί να μετρηθεί σε ένα μόνο ψηφίο. Το SMED χρησιμοποιείται συχνά με την εναλλακτική του έννοια: "γρήγορη μετάβαση". Το SMED και η γρήγορη μετάβαση είναι η πρακτική της μείωσης του χρόνου που χρειάζεται για να αλλάξει μια γραμμή ή ένα μηχάνημα από την εκτέλεση ενός προϊόντος στο επόμενο. Η ανάγκη για προγράμματα SMED και γρήγορης μετάβασης είναι πλέον πιο δημοφιλής από ποτέ, λόγω της αυξημένης ζήτησης για μεταβλητότητα των προϊόντων, των μειωμένων κύκλων ζωής των προϊόντων και της ανάγκης σημαντικής μείωσης των αποθεμάτων [12].

Έχει πραγματοποιηθεί αρκετή δουλειά πάνω στη μεθοδολογία SMED σε μια βιομηχανία μεταποίησης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, στην οποία υποδεικνύεται επίσης ότι η αποτελεσματική εφαρμογή της SMED απαιτεί μια σειρά θεμελιωδών απαιτήσεων, οι οποίες είναι:

- Η ομαδική εργασία,

- Ο επαρκής οπτικός εργοστασιακός έλεγχος
- Η μέτρηση των επιδόσεων της γραμμής παραγωγής
- Το περιβάλλον στο οποίο η μεθοδολογία SMED λαμβάνει χώρα.

Η σχέση αλλαγής γραμμής παραγωγής – απόδοσης παραγωγής έχει επίσης μελετηθεί και έχει ληφθεί το συμπέρασμα. Αυτό οδηγεί σε υψηλό κόστος κατασκευής όταν οι χρόνοι αλλαγής είναι ακόμα μεγάλοι καθώς η μηχανή πρέπει να έχει καθορισμένο βαθμό ελευθερίας σε όλα τα επίπεδα.

Το SMED χρησιμοποιείται επίσης ως εργαλείο για τη βελτίωση της ευελιξίας και του μέγιστου οφέλους από τη μείωση του χρόνου αλλαγής με κύριο σκοπό την ικανότητα παραγωγής προϊόντων σε μικρότερες παρτίδες. Ο σχεδιασμός του εξοπλισμού συσχετίζεται επίσης με το SMED καθώς είναι κατάλληλο όχι μόνο για την κατασκευή αλλά και για την ανάπτυξη εξοπλισμού.

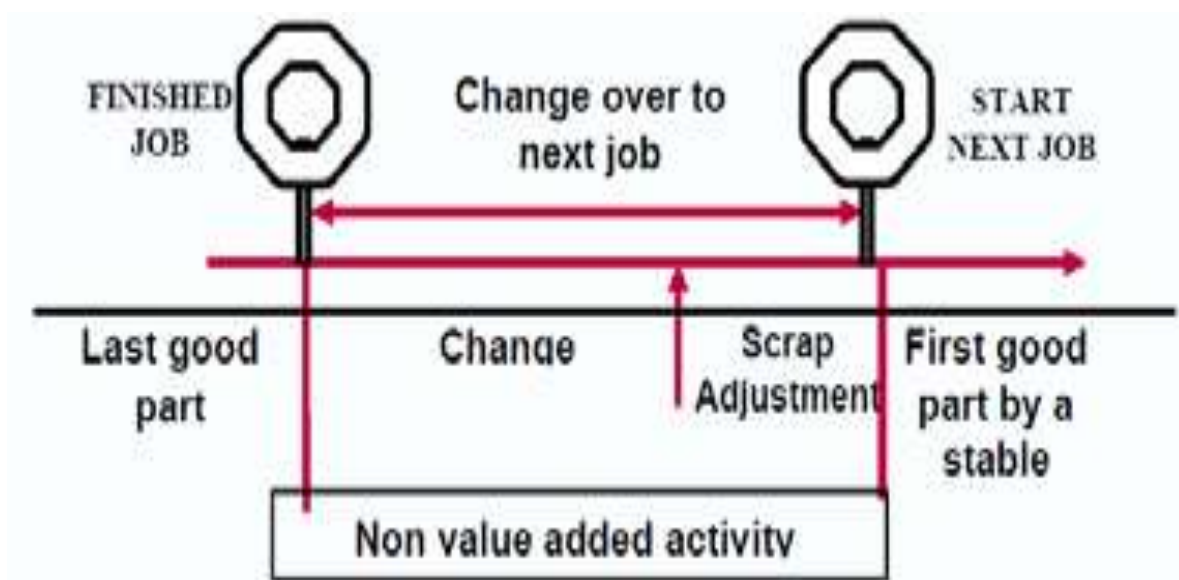
Το εργαλείο SMED έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ένα εργοστάσιο πεύκων(1) και εμπειρικά το αποτέλεσμα ήταν μείωση του χρόνου εγκατάστασης από 45 λεπτά σε 15 λεπτά. Αυτό μας υπογραμμίζει τη σημασία της εφαρμογής της μεθοδολογίας, ανεξαρτήτως της μειωμένης εφαρμογής της πληροφορικής στην κατασκευή.

Ο Shingo, lead engineer της Toyota, αναφέρει ότι "το SMED μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε εργοστάσιο και σε οποιαδήποτε μηχανή(2) .Οι εργασίες σχετικά με την εφαρμογή αλλαγών σχεδιασμού στη μεταβατική διαδικασία και την εξισορρόπηση των γραμμών παραγωγής με πραγματοποιούνται με χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων ρυθμίσεων.

3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ SMED:

1. Τήρηση της τρέχουσας μεθοδολογίας: Οι τρέχουσες διαδικασίες όλης της μεταβατικής διαδικασίας καταγράφονται σε Με αυτό τον τρόπο καλύπτεται η πλήρης μετάβαση από ένα μοντέλο σε ένα άλλο μοντέλο.

2. Διαχωρισμός των εσωτερικών και εξωτερικών δραστηριοτήτων: Εσωτερικές δραστηριότητες είναι εκείνες που μπορούν να εκτελεστούν μόνο όταν η διαδικασία σταματά, ενώ οι εξωτερικές δραστηριότητες μπορούν να γίνουν κατά την παραγωγή της τελευταίας παρτίδας, ή μόλις ξεκινήσει η επόμενη παρτίδα.
3. Επαναληψιμότητα της διαδικασίας της μετάβασης: Για κάθε επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας, θα πρέπει να αναμένεται μια σημαντική βελτίωση στον χρόνο ρύθμισης, οπότε ενδέχεται να χρειαστούν αρκετές επαναλήψεις για να περάσει το όριο των δέκα λεπτών (στόχος της μεθοδολογίας).
4. Συνεχής Εκπαίδευση: Μετά την επιτυχή πρώτη επανάληψη της εφαρμογής SMED, πρωταρχική απαίτηση γίνεται η εκπαίδευση του συνόλου του χειριστών του εργοστασίου. Η εκπαίδευση γίνεται από τον «πρωτοπόρο» μηχανικό (Master of Switchover). (Βλέπε Σχήμα 3.1)



Σχήμα 3.1: Ολοκληρωμένη διαδικασία εγκατάστασης της γραμμής παραγωγής(3)(Πηγή: Berna Ulutas, 2011)

3.3 ΟΡΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ SMED:

Απορρίμματα προσαρμογής (Adjustment Waste): «Οποιοσδήποτε δραστηριότητες που θα προκαλούσαν το μηχάνημα να λειτουργήσει δοκιμαστικά, δηλαδή με ένα προϊόν το οποίο θα επιθεωρηθεί και στη συνέχεια θα διαλυθεί» (4).

Παρτίδα (Batch): Μια ποσότητα στοιχείων που επεξεργάζονται μαζί (5).

Μετάβαση(Changeover): Η διαδικασία αλλαγής από την παραγωγή ενός προϊόντος ή ενός αριθμού εξαρτημάτων σε ένα άλλο, σε μια μηχανή ή σε μια σειρά συνδεδεμένων μηχανών, αλλάζοντας εξαρτήματα, μήτρες, καλούπια ή εξαρτήματα. Αυτό μπορεί επίσης να ονομαστεί και ρύθμιση. Ο χρόνος αλλαγής μετράται ως ο χρόνος που έχει περάσει μεταξύ της παραγωγής του τελευταίου προϊόντος της εκάστοτε παραγωγής μέχρι το πρώτο καλό προϊόν της νέας παραγωγής (5).

Die Set (Ομάδα μητρών) : Αυτά είναι τα εξαρτήματα που αφαιρούνται και αντικαθίστανται σε μια μηχανή ή μία γραμμή παραγωγής κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής.

Χαμένος χρόνος (Downtime): Χρόνος παραγωγής που χάθηκε λόγω προγραμματισμένων και μη προγραμματισμένων διακοπών. Ο σχεδιασμένος χρόνος διακοπής λειτουργίας περιλαμβάνει προγραμματισμένες διακοπές για συγκεκριμένες δραστηριότητες όπως εκκίνηση βάρδιας, συναντήσεις παραγωγής, μετεγκαταστάσεις για την παραγωγή άλλων προϊόντων και προγραμματισμένη συντήρηση. Ο μη προγραμματισμένος χρόνος διακοπής περιλαμβάνει παύσεις για βλάβες, προσαρμογές μηχανών, ελλείψεις υλικών και απουσίες (5).

Εξωτερική ρύθμιση(External setup): Το μέρος της ρύθμισης που πραγματοποιείται ενώ το μηχάνημα είναι ακόμα σε λειτουργία. Για παράδειγμα,

την προετοιμασία μίας μήτρας που θα χρησιμοποιηθεί για την επόμενη δοκιμή (4).

Εσωτερική ρύθμιση (Internal setup): Το τμήμα της ρύθμισης που πρέπει να γίνει κατά τη διάρκεια λειτουργίας του μηχανήματος για παράδειγμα, την αφαίρεση ή την προσάρτηση μίας μήτρας(4).

Λιτή παραγωγή (Lean Production): Ένα σύστημα παραγωγής που παράγει και παραδίδει ακριβώς αυτό που χρειάζεται, ακριβώς όταν χρειάζεται και ακριβώς στο ποσό που χρειάζεται. Το Lean manufacturing στοχεύει στη συνολική εξάλειψη όλων των αποβλήτων, για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής ποιότητας, του χαμηλότερου δυνατού κόστους και της ισχνότερης χρησιμοποίησης πόρων. Επιπρόσθετα, στόχος του είναι να παρέχει τους χαμηλότερους δυνατούς χρόνους παραγωγής και παράδοσης (5).

Παρτίδα (Lot): Μια ποσότητα στοιχείων που επεξεργάζονται μαζί (6).

Δραστηριότητες μη προστιθέμενης αξίας (Non-Value Added Activities): Ο χρόνος που αφιερώνεται σε δραστηριότητες που προσθέτουν κόστος αλλά δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο από την πλευρά του πελάτη. Αυτές είναι δραστηριότητες για τις οποίες ο πελάτης γενικά δεν είναι πρόθυμος να πληρώσει. (5).

Ρύθμιση (Setup): Η διαδικασία μετάβασης από την παραγωγή ενός προϊόντος ή ενός αριθμού εξαρτημάτων σε ένα άλλο, σε μια μηχανή ή σε μια σειρά συνδεδεμένων μηχανών, αλλάζοντας εξαρτήματα, μήτρες, καλούπια ή εξαρτήματα. Ο χρόνος αλλαγής μετράται ως ο χρόνος που έχει περάσει μεταξύ της παραγωγής του τελευταίου προϊόντος της εκάστοτε παραγωγής μέχρι το πρώτο καλό προϊόν της νέας παραγωγής (5).

Μείωση χρόνου αλλαγής (Setup Reduction): Η διαδικασία μείωσης του χρόνου που απαιτείται για τη μετάβαση μεταξύ της παραγωγής του τελευταίου προϊόντος της εκάστοτε διαδικασίας μέχρι το πρώτο καλό προϊόν της νέας παραγωγής (5).

Ρύθμιση χαμένου χρόνου εξωτερικών ρυθμίσεων (Setup Waste, External): Δραστηριότητες όπως αναζήτηση, εντοπισμός ή μετακίνηση εργαλείων, βιδών, σφιγκτήρων, συνδετήρων, μετρητών.

Ρύθμιση χαμένου χρόνου εσωτερικών ρυθμίσεων, (Setup Waste, Internal): Ευθυγραμμισμένες ενέργειες που απαιτούνται για την αφαίρεση και εγκατάσταση εργαλείων. Για παράδειγμα, ο χρόνος που σχετίζεται με τη χρήση ενός κλαρκ για την απομάκρυνση του παλιού εργαλείου και την εγκατάσταση νέου εργαλείου κατά τη λειτουργία της μηχανής (4).

Shingo, Shigeo (1909-1990): Σύμβουλος της Toyota, ο οποίος συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη του συστήματος παραγωγής της Toyota, ιδιαίτερα των γρήγορων αλλαγών, της SMED και της τυποποίησης(5). Κύριος στόχος του ήταν η μείωση των χρόνων μετάβασης σε λιγότερο από 10 λεπτά (5).

Δραστηριότητες με προστιθέμενη αξία (Value Added Activities): Ο χρόνος που αφιερώνεται σε δραστηριότητες που προσθέτουν αξία σε ένα στοιχείο, όπου έχει αντίκτυπο στον πελάτη. Αυτές είναι δραστηριότητες που αλλάζουν αποτελεσματικά τη μορφή και τη λειτουργία ενός ακατέργαστου υλικού σε αγαθό ή υπηρεσία όπου ο πελάτης είναι πρόθυμος να πληρώσει για αυτή (5).

Χάρτης ροής αξίας (Value Stream Map): Ένα διάγραμμα που ορίζει στο κάθε βήμα του υλικού μια ροή πληροφοριών που απαιτείται από την αρχική παραγγελία ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας μέχρι και την παράδοση της.(5).

Κατανάλωση χωρίς αντίκρισμα (Waste): Κάθε δραστηριότητα που καταναλώνει πόρους αλλά δεν δημιουργεί αξία για τον πελάτη (5).

3.4 ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΒΑΣΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΠΑΝΩ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ SMED

ΧΡΟΝΙΑ	ΒΑΣΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ & ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ
1951-1955	Ο Shigeo Shingo πραγματοποίησε «Πρόγραμμα αποτελεσματικότητας» και ανέπτυξε τη γένεση της SMED.
1956-1960	Πραγματοποιήθηκε δραματική βελτίωση στη λειτουργία εγκατάστασης της Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
1961-1965	Στο εργοστάσιο σφράγισης Motomachi, ο μέσος χρόνος αλλαγής της Toyota μειώνεται από τη μία ώρα σε περίπου 15 λεπτά το 1962.
1966-1970	Βελτιωμένη αλλαγή ρύθμισης για πιεστήριο 1000 τόνων στο κεντρικό εργοστάσιο κινητήρων της Toyota από 4 ώρες σε 1,5 ώρα. Γεννιέται η συστηματική τεχνική για την επίτευξη SMED.
1971-1975	Στο M Electric της Ιαπωνίας, ο χρόνος εγκατάστασης των 150 τόνων προοδευτικής πρέσας μειώθηκε από 90 λεπτά στα 9 λεπτά.
1976-1980	Οι ευρωπαϊκές βιομηχανίες άρχισαν να εφαρμόζουν το σύστημα SMED
1981-1985	1. Στην Toyota Gosei, ο χρόνος ρύθμισης του μηχανήματος σφυρηλάτησης μειώθηκε από 1 ώρα και 40 λεπτά στα 31 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα. 2. Ο Shigeo Shingo δημοσίευσε ένα διάσημο βιβλίο με τίτλο «Μια επανάσταση στον τομέα της μεταποίησης: Το Σύστημα SMED», από την Ένωση Διαχείρισης της Ιαπωνίας το 1983.
1986-1990	Ο Mito, ο Setsuo και ο Ohno Taiichi δημοσίευσαν το «Γιατί να μην παράγουμε στο σωστό μέρος το σωστό ποσό την

	κατάλληλη στιγμή (Why not produce the right part in the right amount at the right time»)το 1986.
1991-1995	Ο Sekine. K. & K. Arai εκδίδει το «Αλλαγή προς το καλύτερο για γρήγορη μετάβαση: Πηγαίνοντας πέρα από το SMED (Kaizen for Quick Changeover: Going Beyond SMED»)το 1992.
1996-2000	Ο Satake, Hiroaki δημοσίευει το «Σύνθεση συστήματος παραγωγής της Toyota, Ανάπτυξη και Μετασχηματισμός(Toyota Production System's Formulation, Development, and Transformation») το 1998.
2001-2005	Εκδίδεται μια ολοκληρωμένη εργασία από τον McIntosh που ακούει στο όνομα «Βελτίωση της αλλαγής μιας γραμμής παραγωγής: Μια στρατηγική για να γίνεις λιτός και καλός κατασκευαστής (Improving changeover performance: A strategy for becoming a lean, responsive manufacturer»)το 2001.
2006-2010	Ο Buket Boztinaztepe και ο Fatih Canan τεκμηριώνουν το «Λιτά εργαλεία για τη μείωση του χρόνου παραγωγής και για ικανοποίηση εργαζομένων (Lean Tools for Reducing Production Time and Satisfying Employees»). Ένα Case Study από το Πανεπιστήμιο Växjö το 2008.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας είναι μια γενική μέθοδος για την ανάλυση διαφορετικών πτυχών του θέματος. Αυτό το εργασία ακολουθεί τα εξής βήματα:

- **Βήμα 1:** Επισκόπηση βιβλιογραφίας του SMED
- **Βήμα2:** Ανάπτυξη πλαισίου ταξινόμησης για να συνοψίσουμε την ανασκόπηση
- **Βήμα 3:** Αναλύστε την ανασκόπηση

4.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

4.1.1 Προσέγγιση της SMED

Παρόλο που η μεθοδολογία SMED είναι πολύ χρήσιμη για την εξάλειψη του «νεκρού» χρόνου, δεν είναι πολύ διαδεδομένη. Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται μερικές μελέτες περιπτώσεων που απευθύνονται σε αυτό. Οι McIntosh, Owen, Cullely και Mileham(7) αξιολόγησαν τις πιθανές βελτιώσεις σε μία «αλλαγή» μηχανής, οι οποίες μπορούν να συμβούν είτε με τη μεταβολή της ακολουθίας διεξαγωγής, χωρίς να αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο τα ίδια τα καθήκοντα διεξάγονται ή μεταβάλλοντας τις υπάρχουσες εργασίες

έτσι ώστε να μπορούν να ολοκληρωθούν με μεγαλύτερη ταχύτητα. Πολλοί ερευνητές γνωρίζουν τα αποτελέσματα και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής SMED και προσπαθούν να αποκτήσουν γνώσεις στα αναμενόμενα οφέλη της και την εξοικονόμηση πόρων, μέσω της εξάλειψης δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη γενική σπατάλη και τη μη προστιθέμενη αξία χρησιμοποιώντας τη μέθοδο SMED (8). Για παράδειγμα, το αναμενόμενο αντίκτυπο της εφαρμογής «λιτών» εργαλείων, συμπεριλαμβανομένων των SMED, σχετικά με το κόστος-χρόνο (CTP) και την επένδυση κόστους-χρόνου (CTI) μελετήθηκε από τους Rivera και Chen (9). Οι Moreira και Pais (10) υπέδειξαν ότι με τη την εφαρμογή της SMED μπορεί να εξοικονομηθεί περίπου το 2% των πωλήσεων της εταιρείας (360.000 €). Ο Ulutas (3) παρατήρησε ότι η εξοικονόμηση χρόνου και η ασφάλεια των εργαζομένων ενισχύεται μέσω της εφαρμογής της SMED. Οι Kušar, Berlec, Zefran και Starbek (11) εισήγαγαν την οργάνωση και την εφαρμογή διαδικασιών για την εφαρμογή της τεχνικής SMED σε μηχανή αεριωθουμένων με σκοπό να μειωθεί χρόνος εγκατάστασης σε λιγότερο από 10 λεπτά. Οι Abraham, Ganapathi, and Kailash Motwani (12) έδειξαν ότι μια μεγάλη μείωση χρόνου ρύθμισης στο σημείο συμφόρησης ενός μηχανήματος μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή της συμβατικής SMED για τη γραμμή παραγωγής σφράγισης. Ο χρόνος εγκατάστασης της μηχανής συμφόρησης μειώθηκε κατά 75%, με αποτέλεσμα να σημειωθεί σημαντική βελτίωση στην παραγωγικότητα της γραμμής παραγωγής. Οι Kumar και Abuthakeer (13) εξήγησαν την αύξηση της παραγωγικότητας σε μια αυτοκινητοβιομηχανία, λόγω της εφαρμογής SMED, όπου ο χρόνος εγκατάστασης μειώνεται κατά 28 λεπτά.

Η χρήση της μεθοδολογίας SMED δεν περιορίστηκε σε έναν τύπο βιομηχανίας, αλλά εφαρμόζεται στη διαδικασία παραγωγής, τις υπηρεσίες διοίκησης και τις εργασίες συναρμολόγησης. Κάθε φορά που προτείνεται μία νέα τεχνολογία για τη διαδικασία εγκατάστασης, την όφελος αυτής πρέπει να συγκριθεί με το κόστος της. Για παράδειγμα, στην εγκατάσταση μίας πλακέτας υψηλής ταχύτητας, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν σύγχρονες συσκευές τεχνολογίας πληροφοριών (ασύρματα τερματικά και τους γραμμωτούς κώδικες)(barcodes)) για τη διευκόλυνση της διαδικασίας. Η σύγκριση του

άμεσου οφέλους από τη χρήση αυτών των συσκευών ήταν υψηλότερη από το κόστος τους (14).

Η συμβατική προσέγγιση της SMED είναι κατάλληλη σε συστήματα που αποτελούνται από ένα μόνο μηχάνημα και ένα άτομο. Δεδομένου ότι τα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα έχουν περισσότερες από μία μηχανές με μια ομάδα χειριστών, η αποτελεσματικότητα της συμβατικής προσέγγισης SMED στην απλή της μορφή δεν είναι αρκετή. Έτσι, μια τροποποιημένη προσέγγιση γνωστή ως Multi Machine Setup Reduction (MMSUR) έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσει αυτές τις καταστάσεις, από τον Goubergen (15).

Το συμβατικό SMED - όπως προτείνεται από το Shingo(2)– περιγράφεται από το πλαίσιο που φαίνεται στο σχήμα 4.1 (16) (θα το δούμε στο επόμενο υποκεφάλαιο ώστε να υπάρξει αρτιότερη κατανόηση). Εφαρμόζεται μέσω τεσσάρων διαφορετικών φάσεων (2):

4.1.2 Φάση 1: Χάρτης διαδικασίας εγκατάστασης

Ο στόχος αυτής της φάσης είναι να υπάρχει μια συνολική εικόνα για όλες τις ρυθμίσεις δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στη διαδικασία αλλαγής μιας μηχανής ή μίας γραμμής παραγωγής. Αυτό μπορεί να γίνει με τη συλλογή δεδομένων, σχετικά με τις τρέχουσες διαδικασίες εγκατάστασης, μέσω συνεντεύξεων με τους χειριστές των μηχανημάτων και τους επόπτες γραμμών. Στη συνέχεια οι λειτουργίες ρύθμισης διασπώνται σε μια σειρά ενεργειών. Αυτό ακολουθείται από μελέτη χρόνου και κίνησης για τον προσδιορισμό του προτύπου της κάθε λειτουργίας. Ένα ειδικό φύλλο (φόρμα κανονικής ρύθμισης λειτουργίας ελέγχου) χρησιμοποιείται για να απαριθμήσει όλες τις λειτουργίες ρύθμισης ώστε να τις συνδέσει με τους πόρους που καταναλώνονται.

4.1.3 Φάση 2: Ταξινόμηση δραστηριοτήτων ως εξωτερικές ή εσωτερικές ρυθμίσεις

Μετά την εξέταση του χάρτη διαδικασίας εγκατάστασης, οι δραστηριότητες ταξινομούνται σε δύο ομάδες: εσωτερική (γίνεται όταν το μηχάνημα είναι εκτός σύνδεσης ή σταματημένο) και εξωτερικές (εκτελούνται καθώς λειτουργεί το μηχάνημα). Ως προς τον διαχωρισμό το εσωτερικών ρυθμίσεων από τις εξωτερικές, ο Shingo (2) συνιστά τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών εργαλείων:

- **Λίστα ελέγχου:** λίστα με όλους τους βασικούς πόρους (εργαλείο, εργασία, διαδικασίες) που απαιτούνται για την εκτέλεση των ρυθμίσεων.
- **Έλεγχοι λειτουργίας:** παρουσιάζει τη διαθεσιμότητα και την κατάσταση όλων των εργαλείων που απαιτούνται για τη ρύθμιση.
- Να γίνεται προετοιμασία των εργαλείων και εξαρτημάτων αρκετό χρόνο πριν την εκκίνηση της εργασίας εγκατάστασης.

4.1.4 Φάση 3: Μετατροπή εσωτερικών ρυθμίσεων σε εξωτερικές, οπουδήποτε είναι δυνατόν

Η βελτίωση σε αυτό το στάδιο μπορεί να επιτευχθεί μέσω τροποποίησης του εξοπλισμού και απόρριψη κάποιας ρύθμιση. Προτείνονται αρκετές τεχνικές, οι οποίες προτείνουν την ενίσχυση της διαδικασίας μετατροπής:

- Έγκαιρη προετοιμασία του μηχανήματος, ώστε να βρίσκεται στην απαιτούμενη κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή προθέρμανση των εξαρτημάτων μηχανής, προθέρμανση της πρώτης ύλης, τροφοδοσία του μηχανήματος κτλ.

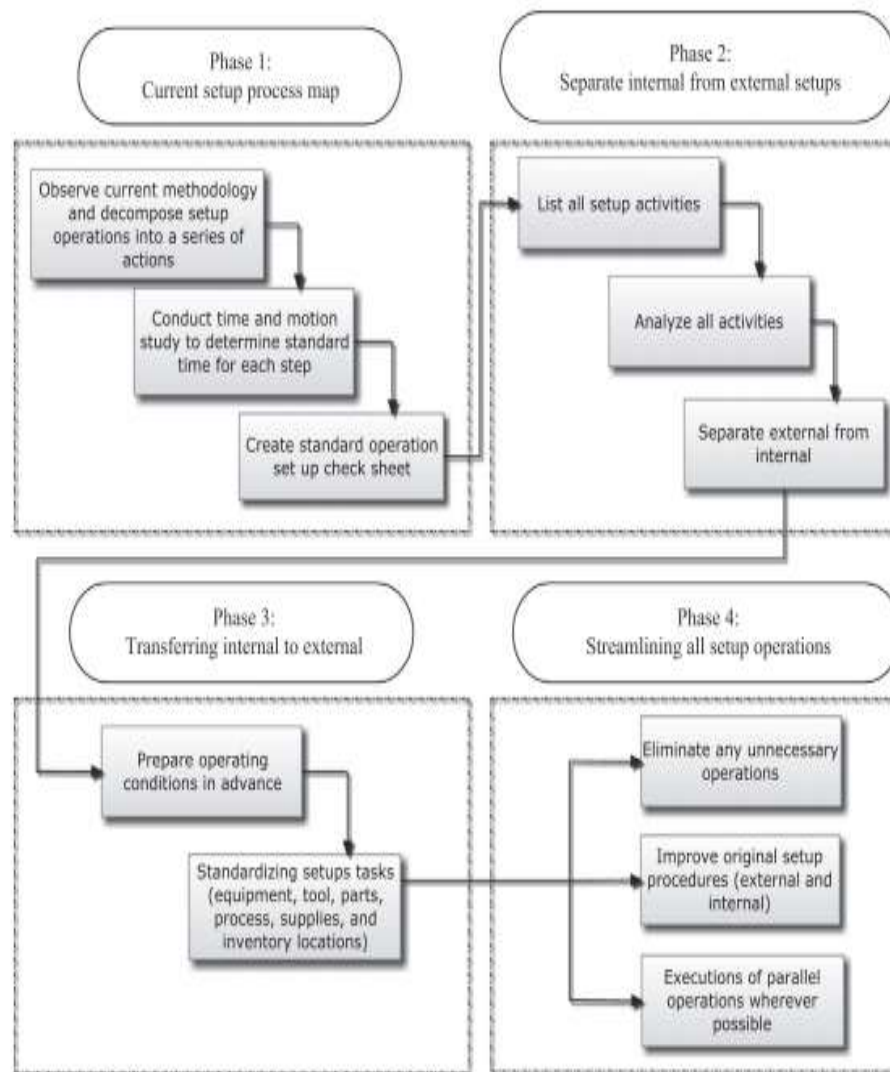
- Χρησιμοποίηση τυποποιημένων διαδικασιών, όπου είναι δυνατόν, για την πραγματοποίηση της ρύθμισης. Είναι επίσης σημαντικό να χρησιμοποιούνται τα τυπικά μεγέθη εργαλείων.

4.1.5 Φάση 4: Εξομάλυνση όλων των εσωτερικών και εξωτερικών δραστηριοτήτων

Σύμφωνα με το Shingo(2), η βελτίωση σε αυτή τη φάση μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο βημάτων:

- Βελτίωση της εξωτερικής ρύθμισης: περιλαμβάνει δραστηριότητες που βοηθούν τον εργαζόμενο να εκτελεί τις εργασίες εγκατάστασης με καλύτερο τρόπο, δηλαδή, να εξαλείφει το «νεκρό» χρόνο που συνδέεται με την εύρεση, τη μετακίνηση και την αντικατάσταση υλικών και εργαλείων. Επίσης, να πραγματοποιείται έγκαιρη επιθεώρηση εργαλείων, για να εξασφαλιστεί ότι λειτουργούν σωστά.
- Βελτίωση της εσωτερικής ρύθμισης: η βελτίωση σε αυτό το βήμα μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές, δηλ. εκτέλεση περισσότερων από μία ρυθμίσεων στον ίδιο χρόνο, όπου είναι δυνατόν, αποφεύγοντας τη χρήση χειροκίνητης σύσφιξης. Αυτές οι δραστηριότητες αναμένεται να έχουν σημαντική επίδραση μείωση του χρόνου εγκατάστασης.

Μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερη κατανόηση επί των 4 φάσεων παρατηρώντας το σχήμα 4.1 που παραθέτετε παρακάτω.



Σχήμα 4.1: Συμβατικό πλαίσιο προσέγγισης μεθοδολογίας SMED.

Πηγή: M.A. Almomani et al. / Computers & Industrial Engineering 66 (2013) 461–469

4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING (MCDM)

Το **MCDM** είναι ένα κοινό «εργαλείο» λήψης αποφάσεων, το οποίο χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει διάφορες εναλλακτικές λύσεις που

βασίζονται σε πολλά χαρακτηριστικά, μέσω μίας συστηματικής προσέγγισης, για να επιλέξει την καλύτερη εναλλακτική λύση που ικανοποιεί τον κύριο στόχο του προβλήματος (17). Οι εφαρμογές των MCDM δεν περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο, αλλά εφαρμόζονται με επιτυχία σε πολλούς τομείς που απαιτούν decision-making, δηλαδή τη βιομηχανία, την οικονομία κλπ. Σε αυτή τη μελέτη θα χρησιμοποιηθούν τρεις τεχνικές MCDM οι οποίες είναι: AHP, TOPSIS και PSI. Αναλύεται η λεπτομερής διαδικασία εφαρμογής αυτών των τεχνικών στη βιβλιογραφία, αλλά δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του παρόντος εγγράφου.

Το **AHP** είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές λήψης αποφάσεων. Αυτή η τεχνική παρέχει μια αποτελεσματική, γρήγορη και απλή διαδικασία για να επιλέξετε μια εναλλακτική λύση μεταξύ μιας ομάδας επιλογών που μπορεί ικανοποιούν τον κύριο στόχο του προβλήματος (18). Τα βήματα για την εφαρμογή του AHP περιγράφονται στη βιβλιογραφία (19), (20),(21).

Η μέθοδος **PSI** παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τους Mania και Bhatt για ένα πρόβλημα επιλογής υλικού (22). Μετέπειτα ,αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για πρόβλημα επιλογής σχεδίασης διάταξης εγκατάστασης (23) και προβλήματα λήψης αποφάσεων στο στάδιο του σχεδιασμού της ζωής του συστήματος παραγωγής(24). Στη μέθοδο PSI, τα συνολικά βάρη των κριτηρίων καθορίζονται βάσει στατιστικών υπολογισμών. Εν τω μεταξύ, πολλές τεχνικές λήψης αποφάσεων στη βιβλιογραφία απαιτούν ανάθεση προτίμησης μεταξύ χαρακτηριστικών που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας εκτεταμένους υπολογισμούς (22). Υποστηρίζεται ότι η μέθοδος PSI είναι η πιο αποτελεσματική και κατάλληλη για χρήση, για προβλήματα λήψης αποφάσεων με διάφορα αντικρουόμενα χαρακτηριστικά.

Το **TOPSIS** αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τους Hwang και Yoon (25). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει εναλλακτικές λύσεις με βάση την ομοιότητα των θετικών ιδανικών καταστάσεων με τις αρνητικές. Η τεχνική TOPSIS περιγράφει την καλύτερη εναλλακτική λύση μεταξύ μερικών συγκεκριμένων εναλλακτικών ως την πλησιέστερη στην υποθετικά θετική ιδανική κατάσταση και στη χειρότερη εναλλακτική λύση είναι η πλησιέστερη στην υποθετικά αρνητική ιδανική κατάσταση, πράγμα που σημαίνει ότι όλες οι τιμές των καλύτερων ιδιοτήτων μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας αυτή την εναλλακτική λύση (26). Σε ορισμένες περιπτώσεις, μία εναλλακτική

λύση μπορεί να έχει ελάχιστη απόσταση από την ιδανική κατάσταση και ταυτόχρονα να έχει επίσης μικρή απόσταση από τη χειρότερη κατάσταση. Επομένως, το TOPSIS εξετάζει τέτοιες περιπτώσεις και επιλέγει την εναλλακτική που έχει ταυτόχρονα μια ελάχιστη απόσταση από τη καλύτερη λύση και μέγιστη απόσταση από τη χειρότερη λύση(27). Η τεχνική TOPSIS έχει εφαρμοστεί σε πολλά προβλήματα λήψης αποφάσεων είτε ως μοναδική του (28) είτε ως συνδυαζόμενη με άλλες τεχνικές (29). Οι Salomon και Montevichi (30) παρουσίασαν μια σύγκριση μεταξύ πολλών τεχνικών λήψης αποφάσεων, όπως: AHP, TOPSIS, ELECTRE, και ANP. Τα αποτελέσματα των διαφόρων τεχνικών MCDM είναι σχεδόν παρόμοια. Ωστόσο, οι συγγραφείς πρότειναν τη χρήση του AHP προκειμένου να πετύχουν την επίτευξη εξαιρετικών και μερικές φορές των βέλτιστων αποτελεσμάτων. Τα βήματα του TOPSIS παρουσιάζονται σε Shanian και Savadogo (31).

4.2.1 Η προτεινόμενη προσέγγιση για την τρίτη φάση υλοποίησης για ένα μόνο μηχάνημα

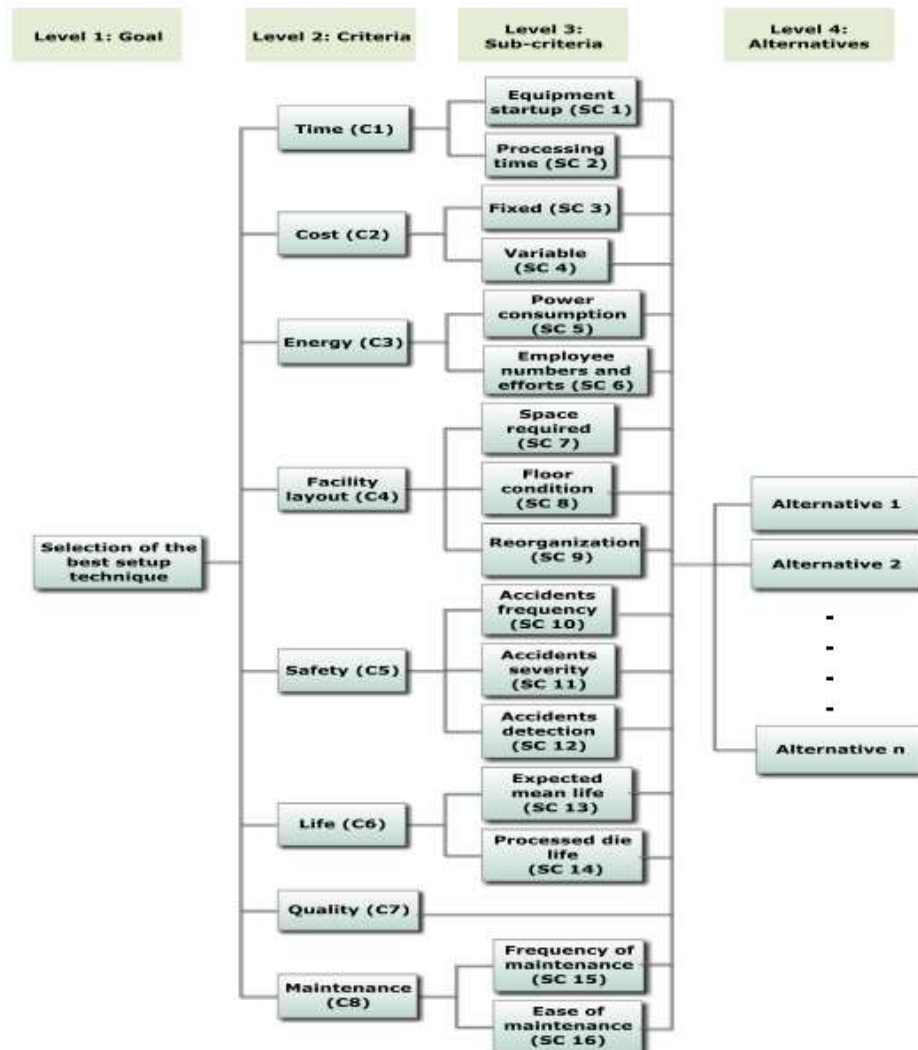
Η προτεινόμενη προσέγγιση προτείνει την ενσωμάτωση τεχνικών MCDM στην τρίτη φάση υλοποίησης των συμβατικών SMED. Αυτή η προσέγγιση παρέχει μια συστηματική διαδικασία επιλογής της καλύτερης τεχνικής ρύθμισης μεταξύ των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων. Αναγνωρίζοντας ότι η μείωση χρόνου δεν είναι το μόνο στοιχείο που διέπει την επιλογή διαδικασίας ρύθμισης, η προτεινόμενη προσέγγιση πρέπει να λάβει υπόψη άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων: κόστους, ενέργειας, διάταξης εγκατάστασης, ασφάλειας, ποιότητας και συντήρησης. Ο πίνακας 4.1 απαριθμεί όλα τα γενικά κριτήρια και τα επιμέρους κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μέθοδο AHP, με τους ορισμούς τους. Τα επιμέρους κριτήρια αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή του PSI και του TOPSIS.

Πίνακας 4.1: Γενικά κριτήρια και επιμέρους κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο AHP.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΥΠΟ-ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Χρόνος	Έναρξη λειτουργίας εξοπλισμού	Ο χρόνος που χρειάζεται ο εξοπλισμός για να φτάσει σε σταθερή κατάσταση
	Χρόνος επεξεργασίας	Ο χρόνος που απαιτείται για να αλλάξει η κατάσταση της πρώτης ύλης σε μια νέα συνιστώμενη κατάσταση
Κόστος	Σταθερό	Αναφέρεται στο κόστος αγοράς και εγκατάστασης
	Μεταβλητό	Αναφέρεται στο λειτουργικό κόστος (υλικό, εργασία, επιβάρυνση και κόστος συντήρησης)
Ενέργεια	Κατανάλωση ενέργειας	Η ισχύς που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας
	Αριθμός εργαζομένων	Ο αριθμός των εργαζομένων και οι προσπάθειες που καταβλήθηκαν για την αποτελεσματική λειτουργία του εξοπλισμού. Βασίζεται στον βαθμό αυτοματισμού του εξοπλισμού.

Διάταξη εγκατάστασης	Απαιτούμενος χώρος	Ο χώρος που καταλαμβάνει ο εξοπλισμός
	Κατάσταση δαπέδου	Αναφέρεται στο αν ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός χρειάζεται κάποια ενίσχυση δαπέδου ή όχι
	Αναδιοργάνωση	Η ανάγκη αναδιάταξης της εγκατάστασης για να επιταχυνθεί η αλλαγή
Ασφάλεια	Συχνότητα ατυχημάτων	Μέσος αριθμός ατυχημάτων εντός χρονικού διαστήματος
	Σοβαρότητα ατυχημάτων	Το ποσό της ζημίας που προκαλείται από ένα ατύχημα
	Ανίχνευση ατυχημάτων	Η ικανότητα πρόβλεψης ατυχημάτων προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση τους
Χρόνος ζωής	Αναμενόμενη μέση ζωή	Αναμενόμενο χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο εξοπλισμός (δηλαδή το σύστημα σύσφιξης, η τεχνική προθέρμανσης μήτρας κλπ.) αναμένεται να λειτουργήσει καλά
	Ζωή επεξεργασμένων αντικειμένων	Η μέση αναμενόμενη διάρκεια ζωής οποιωνδήποτε συμπληρωματικών μονάδων (δηλ. μήτρα)

Ποιότητα	-	Επίπεδο στο οποίο ο εξοπλισμός παράγει ελαττωματικά αντικείμενα που πληρούν τις προδιαγραφές
Συντήρηση	Συχνότητα συντήρησης	Το ποσοστό των εργασιών συντήρησης που πρέπει να χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό για να διατηρείται η καλή λειτουργία του
	Ευκολία συντήρησης	Περιγράφει εάν οι εργασίες συντήρησης μπορούν να εκτελεστούν εύκολα, χωρίς να χρειάζονται εργαζόμενοι υψηλής ειδίκευσης και ειδικά εργαλεία



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ιεραρχίας αποφάσεων AHP

Πηγή: M.A. Almomani et al. / Computers & Industrial Engineering 66 (2013) 461–469

Στην αρχή, τα μέλη της ομάδας MCDM (μηχανικοί επεξεργασίας, μηχανικοί γραμμών παραγωγής και διοικητικοί υπάλληλοι) εργάζονται για να δημιουργήσουν ζεύγη σύγκρισης για AHP και ζεύγη αποφάσεων για τις τεχνικές TOPSIS και PSI. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του προβλήματος (χρόνος και κόστος ανάλυσης), ο αριθμός των κριτηρίων μπορεί να μειωθεί εξαλείφοντας τα λιγότερο σημαντικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται δεν σημαίνει αναγκαστικά

πιο ακριβή ανάλυση. Αντίθετα, το πρόβλημα καθίσταται πολύ πιο κουραστικό όσον αφορά τα απαιτούμενα δεδομένα. Στην προσέγγιση AHP, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάθεση μιας κατώτατης τιμής και στη συνέχεια την εξάλειψη τυχόν κριτηρίων που έχουν μικρότερο αντίκτυπο από αυτήν την τιμή. Αυτό θα μειώσει τις διαστάσεις των ζευγαριών σύγκρισης και θα βελτιώσει τη συνέπεια των κρίσεων των εμπειρογνομώνων. Τα ίδια χαρακτηριστικά που εξετάζονται στην προσέγγιση AHP θα ληφθούν επίσης υπόψη στις τεχνικές TOPSIS και PSI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: CASE STUDY «ΑΛΛΑΓΗΣ» ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ FARASON

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης που δείχνει πώς μπορεί να εφαρμοστεί η δική μας περίπτωση η "Ολοκληρωμένη προσέγγιση SMED / MCDM". Στην εξεταζόμενη μελέτη, το σύστημα παραγωγής έχει δύο γραμμές, το πρώτο είναι να παράγει έτοιμα μπουκάλια και το άλλο να παράγει χαρτόκουτα. Οι δύο γραμμές χρησιμοποιούν την ίδια μηχανή εξωθητήρων, με αποτέλεσμα τη λειτουργία της συμφόρησης. Έχουν ανατεθεί δύο εργασίες για να φροντίζουν τον εξωθητήρα και να διεξάγουν όλες τις απαιτούμενες δραστηριότητες εγκατάστασης. Ο χειριστής A (βασικός χειριστής) προετοιμάζει τις τυπικές λειτουργικές ρυθμίσεις του εξωθητήρα και παρακολουθεί τη λειτουργία του, ώστε να μπορεί να αντιδράσει σε τυχόν απροσδόκητες συνθήκες, ενώ ο χειριστής B (βοηθός βασικού χειριστή) παρακολουθεί το προϊόν καθώς εξέρχεται από τον εξωθητήρα και βοηθά στην φόρτωση της μήτρας στο μηχάνημα και στη μετακίνηση της μήτρας ανάμεσα στην αποθήκευση και τον εξωθητήρα. Η κοινή χρήση μιας μηχανής εξωθήσεως και από τις δύο γραμμές παραγωγής αποτελεί μια αποτελεσματική λύση που προτείνεται για τη μείωση του συνολικού επενδυτικού κόστους κεφαλαίου για την επιχείρηση που μελετήθηκε. Από την άλλη πλευρά, ο μακρύς χρόνος ρύθμισης θα περιορίσει την παραγωγικότητα και την ευελιξία των γραμμών παραγωγής και έτσι η προτεινόμενη λύση αποτυγχάνει. Συνεπώς, η μείωση του χρόνου εγκατάστασης θα καταστήσει την λύση αυτή πιο αποτελεσματική, επιτρέποντας τη γρήγορη αλλαγή της παραγωγής από την παραγωγή

μπουκαλιών σε χαρτόκουτα και αντίστροφα, αλλά και τη συχνή αλλαγή των μητρών της μηχανής εξωθητήρων για να αυξηθεί η ποικιλία προϊόντων και των δύο γραμμών παραγωγής, επιτρέποντας στην επιχείρηση να ανταποκριθεί καλύτερα στη ζήτηση των πελατών.

Αρχικά, παρουσιάζονται οι δύο πρώτες φάσεις της συμβατικής προσέγγισης SMED (χαρτογράφηση της τρέχουσας εγκατάστασης και διαχωρισμός εσωτερικών και εξωτερικών δραστηριοτήτων). Στη συνέχεια, οι τεχνικές MCDM ενσωματώνονται στην τρίτη φάση υλοποίησης της SMED.

5.1.ΦΑΣΕΙΣ SMED

5.1.1 SMED φάση 1: Χαρτογράφηση της τρέχουσας κατάστασης

Η διαδικασία αλλαγής της μήτρας εξώθησης αποσυντίθεται σε μια σειρά ενεργειών. Η μελέτη χρόνου και κίνησης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου για κάθε βήμα. Ο Πίνακας 5.1 δείχνει τα επόμενα βήματα που περιλαμβάνονται στην τρέχουσα μεθοδολογία για την εγκατάσταση αλλαγής μήτρας εξωθητήρα. Οι δραστηριότητες εγκατάστασης που εκτελούνται ταυτόχρονα υποδεικνύονται παρακάτω.

5.1.2 SMED φάση 2: Διαχωρισμός της εσωτερικής και εξωτερικής ρύθμισης

Σε αυτό το βήμα, οι δραστηριότητες ρύθμισης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 ταξινομούνται σε δύο ομάδες: εσωτερική ρύθμιση και εξωτερική ρύθμιση.

Πίνακας 5.1 : Χρόνος εργασιών

Νούμερο	Λεπτομέρειες σχετικά με την εργασία εγκατάστασης	Αριθμός Εργαζομένων	Χρόνος (δευτερόλεπτα)	Τύπος εργασίας
a*	Μετακίνηση του χρήστη προς το μέρος αποθήκευσης μητρών	1	300	Εξωτερική
B	Φόρτωση της μήτρας στο μηχανισμό χειρισμού	2	30	Εξωτερική
C	Μετακίνηση μήτρας στην τοποθεσία του εξωθητήρα.	1	420	Εξωτερική
D	Σταμάτημα της μηχανής και θέρμανση του εξωθητήρα	1	30	Εξωτερική
E	Μετακίνηση και ευθυγράμμιση του εξωθητήρα από τη γραμμή παραγωγής μπουκαλιών στη γραμμή παραγωγής	3	900	Εσωτερική

	χαρτόκουτων ή αντίστροφα			
f*	Προετοιμασία του γεμιστήρα εργαλείων	1	180	Εσωτερική
G	Αφαίρεση της μήτρας από τον εξωθητήρα	2	600	Εσωτερική
H	Τοποθέτηση νέας μήτρας	2	900	Εσωτερική
I	Ξεκίνημα του θερμαντήρα εξώθησης	1	600	Εσωτερική
J	Θέρμανση της μήτρας πριν από την έναρξη της εξώθησης	1	6300	Εσωτερική
K	Επεξεργασία και έλεγχος του εξωθητήρα	1	120	Εσωτερική
L	Ξεκίνημα της μηχανής εξώθησης και αναμονή έως ότου σταθεροποιηθεί	1	30	Εσωτερική
M	Μετακίνηση των αποσυναρμολογημένων μητρών στο	1	420	Εσωτερική

	χώρο αποθήκευσης			
Σύνολο εξωτερικών εργασιών (δευ/λεπτα)			1200	
Σύνολο εσωτερικών εργασιών (δευ/λεπτα)			9630	
Συνολική ώρα (δευ/λεπτα)			10.830	

Οι εργασίες (a&f) εκτελούνται ταυτόχρονα*

5.1.3 SMED φάση 3: Μεταφορά εσωτερικών σε εξωτερικές δραστηριότητες

Σε αυτή τη φάση, εφαρμόζεται η ολοκληρωμένη προσέγγιση SMED / MCDM. Για την εξεταζόμενη περιπτώσιολογική μελέτη, πολλές εσωτερικές δραστηριότητες έχουν τη δυνατότητα να μεταφερθούν σε εξωτερικές δραστηριότητες. συμπεριλαμβανομένων: χειρισμός μητρών, τεχνική σύσφιξης, κίνηση μηχανουργικής εξώθησης και διαδικασία προθέρμανσης μήτρας. Για κάθε μια από αυτές τις δραστηριότητες δημιουργείται μια σειρά εναλλακτικών λύσεων. Όλες οι τεχνολογίες ρύθμισης που παρουσιάζονται εδώ προτείνονται έτσι ώστε να μπορούν να προετοιμάσουν την τυπική ρύθμιση της μηχανής. Επομένως, το μηχάνημα μπορεί να ολοκληρώσει τη λειτουργία του χωρίς να επηρεάσει την ποιότητα του προϊόντος. Στη συνέχεια εφαρμόζονται τεχνικές MCDM για την κατάταξη αυτών των εναλλακτικών λύσεων. Η περιγραφή

καθεμιάς από αυτές τις δραστηριότητες και οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις συνοψίζονται παρακάτω:

Σύστημα χειρισμού μητρών: Στο τρέχον σύστημα, η τοποθέτηση των μητρών γίνεται με το χέρι, ενώ το μηχάνημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Για να μειωθεί σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος για τις εργασίες (g) και (h) σημαντικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές χειρισμού στη διαδικασία τοποθέτησης της μήτρας στον εξωθητήρα.

Τεχνική σύσφιξης: Για να επιτευχθεί γρήγορη τοποθέτηση και αποσυναρμολόγηση μητρών, οι χειροκίνητοι σφιγκτήρες μπορούν να αντικατασταθούν με άλλες τεχνικές σύσφιξης, οι οποίες θα μειώσουν το χρόνο των εργασιών (g) και (h). Οι προτεινόμενες τεχνικές σύσφιξης είναι: υδραυλικό σύστημα σύσφιξης, πνευματικό σύστημα σύσφιξης και σύστημα μαγνητικής σύσφιξης.

Κίνηση μηχανουργικής εξώθησης: Είναι απαραίτητη μια κατάλληλη μετακίνηση μηχανισμού για τον εξωθητήρα για την ταχεία αλλαγή της παραγωγής μεταξύ χαρτόκουτων και μπουκαλιών, οπότε ο χρόνος για την εργασία (ε) θα μειωθεί. Οι προτεινόμενες τεχνικές ως εξής: χειροκίνητη κίνηση με τροχούς, καθοδηγούμενη από σιδηροτροχιές και γερανογέφυρα.

Τεχνικές προθέρμανσης μητρών: Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, η θέρμανση της μήτρας στη θερμοκρασία εξώθησης αντιπροσωπεύει τη δραστηριότητα συμφόρησης(bottleneck) όπου καταναλώνεται το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου ρύθμισης της μήτρας (περίπου 105 λεπτά). Η μεταφορά της εργασίας (j) από εσωτερική σε εξωτερική δραστηριότητα με προθέρμανση θα μειώσει σημαντικά τον χρόνο ρύθμισης. Οι ακόλουθες μέθοδοι προθέρμανσης είναι: χρήση υπερθύρων, ηλεκτρικός κλίβανος μεταφοράς, θέρμανση με φλόγα, θέρμανση με ακτινοβολία αερίου και ηλεκτρική θερμάστρα.

Για λόγους διευκρίνισης, προβλήθηκε το πρόβλημα της λήψης αποφάσεων προθέρμανσης ως παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία και το άλλο επαγγελματικό προσωπικό αναφέρθηκε και τέθηκε στην ομάδα κρίσεων εμπειρογνομώνων, για να κατανοήσει μια ευρύτερη εικόνα των εναλλακτικών λύσεων και, στη

συνέχεια, η σχετική σημασία των διαφόρων κριτηρίων και υπό-κριτηρίων, οι εναλλακτικές λύσεις να προσδιοριστούν προσεκτικά. Όπως παρουσιάζεται στο τμήμα 3, θα καθοριστεί μια κατώτατη τιμή προκειμένου να μειωθεί η διαστασιοποίηση του ζεύγους σύγκρισης μήκους AHP και παρομοίως οι πίνακες απόφασης του TOPSIS και του PSI, καθώς τα ίδια χαρακτηριστικά θα χρησιμοποιηθούν σε όλες τις τεχνικές MCDM. Στην πρώτη φάση της εφαρμογής του AHP, κάθε εναλλακτική λύση συγκρίνεται με άλλες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με το ίδιο υπό-κριτήριο. Στη δεύτερη φάση, όλα τα υπό-κριτήρια συγκρίνονται σε σχέση με τα κριτήρια ανώτερου επιπέδου. Τέλος, η σχετική σημασία ενός κριτηρίου έναντι άλλων κριτηρίων σε σχέση με τον συνολικό στόχο προσδιορίζεται όπως φαίνεται στον πίνακα ζευγών σύγκρισης του Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Συγκριτικός πίνακας σύγκρισης των διαφορετικών κριτηρίων για την τεχνολογία θέρμανσης μητρών σε σχέση με το γενικό στόχο.

Κριτήρια	Χρόνος	Κόστος	Εύρος ζωής	Ενέργεια που καταναλώνεται	Ασφάλεια
Χρόνος	1	2.67	1.39	1.25	1.65
Κόστος	0.375	1	2.15	2.64	1.25
Εύρος ζωής	0.719	0.465	1	1.09	1.43
Ενέργεια που καταναλώνεται	0.800	0.379	0.917	1	2.13
Ασφάλεια	0.606	0.800	0.699	0.469	1

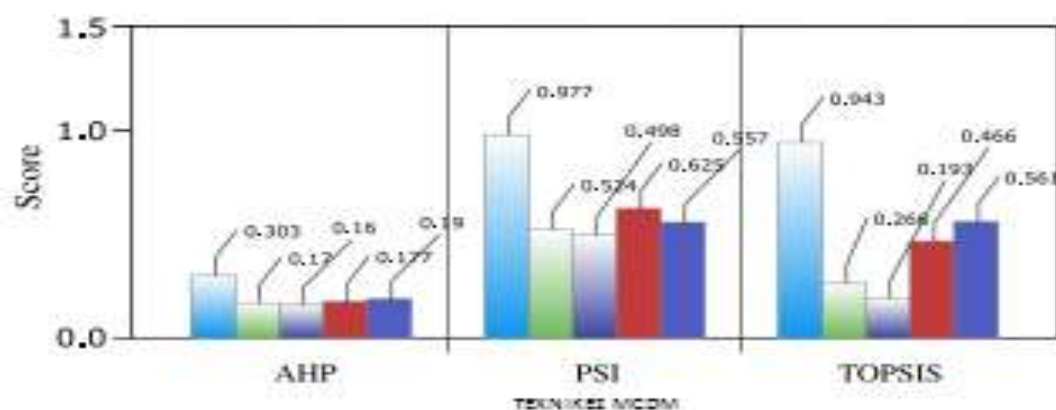
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Το επιτυχημένο και αξιόπιστο μοντέλο AHP της μεθοδολογίας SMED είναι εκείνο που μπορεί να παράγει σταθερές αποφάσεις. Έχει αναπτυχθεί τυπική ανάλυση ευαισθησίας για τη διερεύνηση της σταθερότητας της κατάταξης των εναλλακτικών λύσεων, όταν αλλάζουν οι αριθμοί των κριτηρίων. Η ευρωστία του μοντέλου διερευνάται από την ικανότητά του να αποφεύγει μεγάλες μεταβολές της παραγωγής ως συνέπεια των μικρών αλλαγών στην εισροή («βάρος» των κριτηρίων). Το λογισμικό Expert Choice είναι εξοπλισμένο με λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιήσουν μια τέτοια ανάλυση και το γράφημα δυναμικής ευαισθησίας είναι ένα από αυτά τα εργαλεία που μπορούν να διερευνήσουν τα αποτελέσματα με έναν εύκολο τρόπο. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, προσομοιώθηκαν έξι σενάρια. Στην αρχή παρουσιάζονται οι ποσότητες που αποδίδονται από τους ειδικούς κριτές προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα του αναπτυγμένου σεναρίου με αυτό. Προφανώς, η υπέρυθρη τεχνολογία έχει τα καλύτερα αποτελέσματα με προτεραιότητα κατά 30,3%, όπως θα φανεί στα γραφήματα που παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο. Στη συνέχεια, το σενάριο αυτό χρησιμοποιείται ως βάση για τα επόμενα έξι σενάρια, το καθένα από αυτά δημιουργείται απλά αυξάνοντας τους αριθμούς ενός μόνο κριτηρίου κατά 15% σε σχέση με το αρχικό του βάρος στη γραμμή βάσης, η αύξηση αυτή αντισταθμίζεται αυτόματα με μια ίση μείωση από τα βάρη άλλων κριτηρίων. Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφώς ότι το μοντέλο εξακολουθεί να είναι υπέρ της υπέρυθρης τεχνολογίας, τα σενάρια αυτά φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα. Στο τελευταίο σενάριο, όλα τα κριτήρια έχουν σχεδόν ισοδύναμα βάρη σε σχέση με το συνολικό στόχο και η υπέρυθρη τεχνολογία παραμένει η καλύτερη επιλογή με βαθμολογία 30,5%. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν την αξιοπιστία της απόφασης, δεδομένου ότι η κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις αλλαγές

των κριτηρίων στάθμισης. Οι πίνακες αποφάσεων της TOPSIS και της PSI θεσπίστηκαν με βάση την απόφαση AHP.

Από τα τεστ χρήσης AHP, TOPSIS και PSI που έλαβαν χώρα στο χώρο του εργοστασίου, υπήρξαν τα εξής αποτελέσματα:

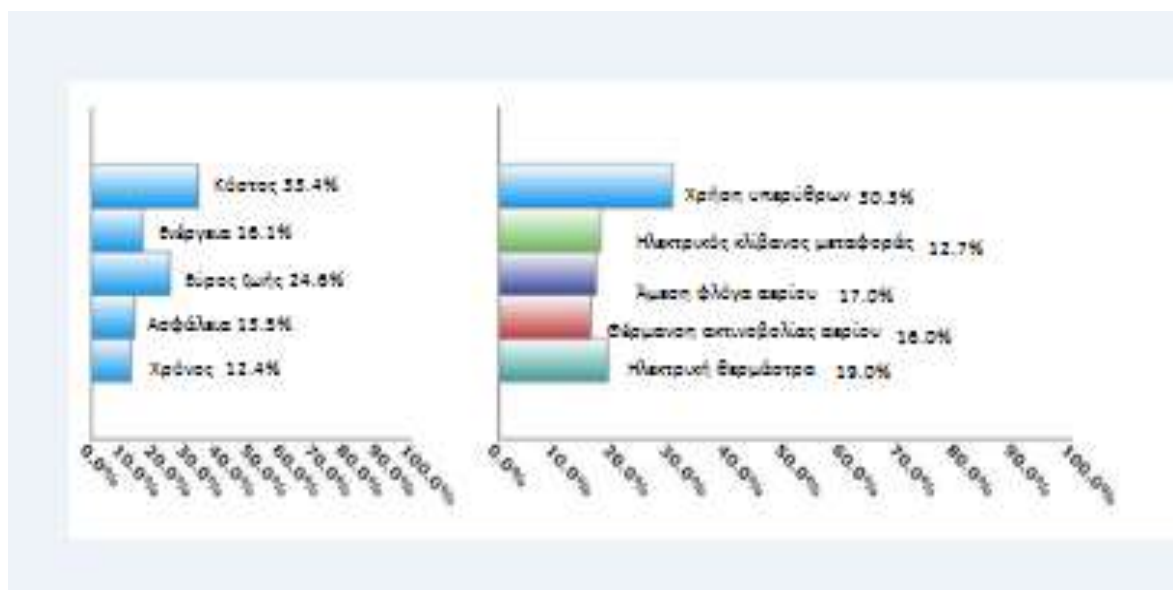
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα των τεστ AHP, TOPSIS, PSI



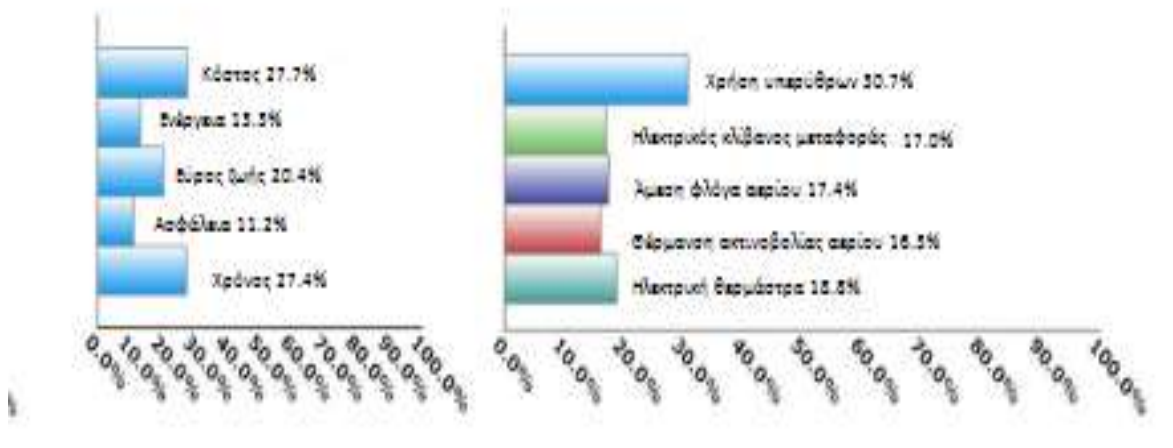
- Με το γαλάζιο χρώμα παρουσιάζεται η χρήση των υπερθύρων
- Με το πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η χρήση ηλεκτρικού κλιβάνου μεταφοράς
- Με το μωβ χρώμα παρουσιάζεται η χρήση άμεσης φλόγας αερίου
- Με το κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η χρήση της θέρμανσης από ακτινοβολία αερίου
- Με το μπλέ χρώμα παρουσιάζεται η χρήση της ηλεκτρικής θερμάστρας

5.3 ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΕ ΚΡΙΣΕΙΣ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΝΩΝ

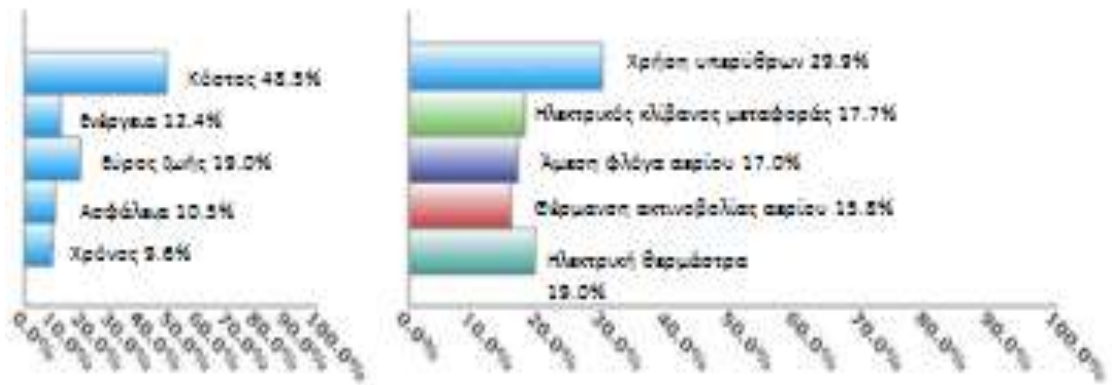
Πίνακας 5.4: Τελικά αποτελέσματα



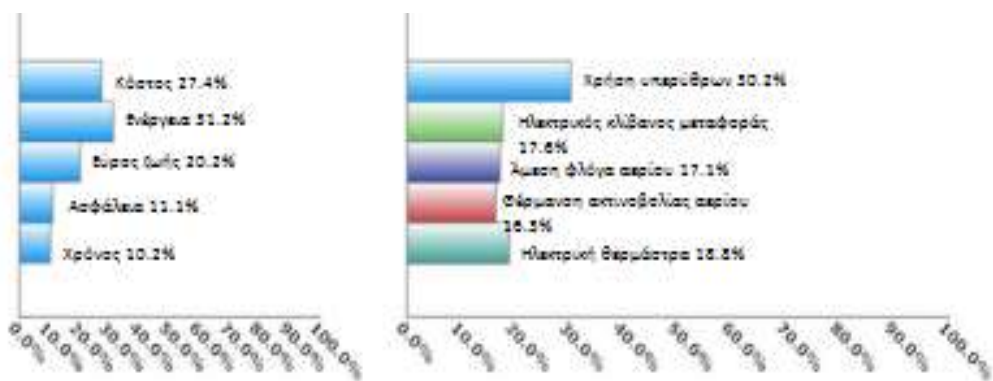
Πίνακας 5.5: Σενάριο αύξησης κριτηρίου χρόνου κατά 15%



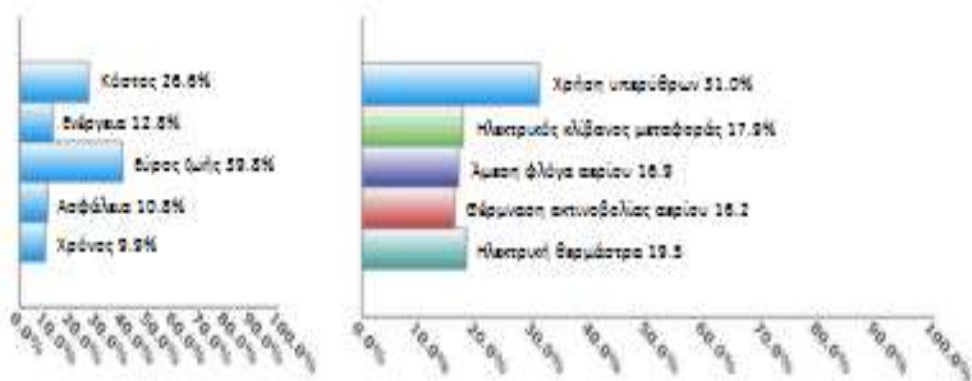
Πίνακας 5.6: Σενάριο αύξησης κριτηρίου κόστους κατά 15%



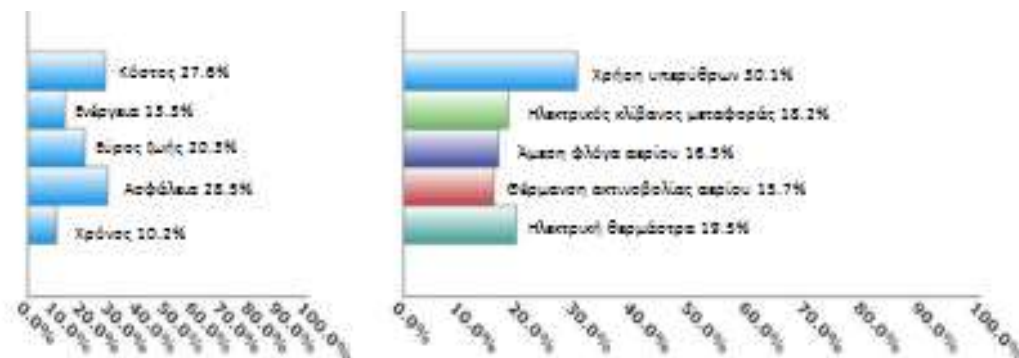
Πίνακας 5.7: Σενάριο αύξησης κριτηρίου ενέργειας κατά 15%



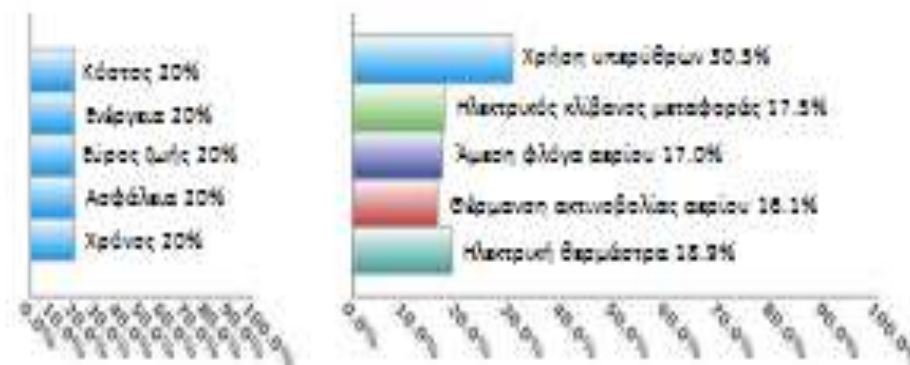
Πίνακας 5.8: Σενάριο αύξησης κριτηρίου εύρους ζωής κατά 15%



Πίνακας 5.9: Σενάριο αύξηση κριτηρίου ασφαλείας κατά 15%



Πίνακας 5.10: Όλα τα κριτήρια έχουν το ίδιο «ειδικό βάρος»



Στο συγκεκριμένο case study, η εφαρμογή τριών τεχνικών MCDM αποδεικνύεται ότι εγγυάται πως οι αποφάσεις σχετικά με τις εναλλακτικές επιλογές είναι δικαιολογημένες. Όσον αφορά την απλότητα, το PSI είναι απλούστερο σε σύγκριση με το TOPSIS, καθώς δεν απαιτεί υπολογισμό των συντελεστών βάθους, αλλά το TOPSIS θεωρείται απλούστερο σε σύγκριση με το AHP. Όπως φαίνεται, οι εναλλακτικές λύσεις που έχουν επιτευχθεί από τα

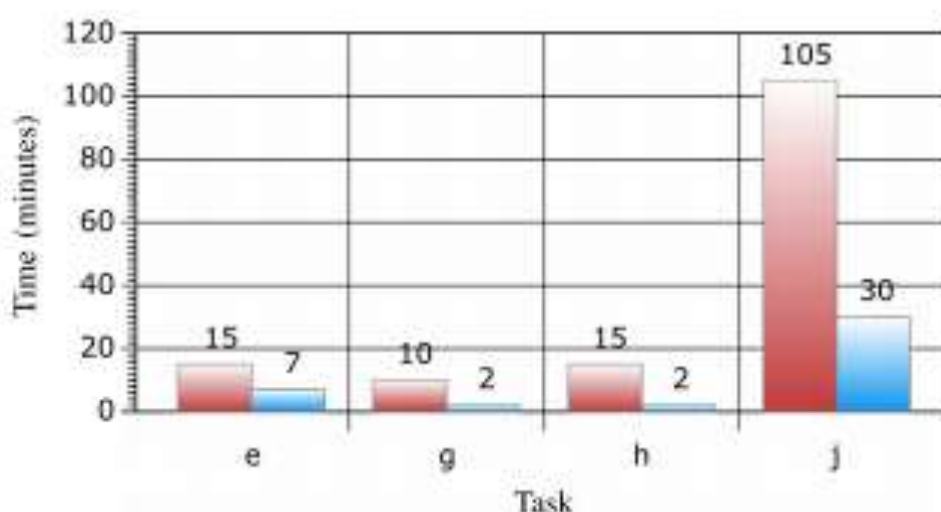
AHP, PSI και TOPSIS για το παρουσιαζόμενο case study είναι παρόμοιες. Οι τρεις τεχνικές κατατάσσουν την υπέρυθρη τεχνολογία ως την καλύτερη λύση και κατατάσσουν την άμεση φλόγα αερίου και την θέρμανση με ακτινοβολία αερίου ως 4 και 5 αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, ο PSI ταξινόμησε τον ηλεκτρικό κλίβανο μεταφοράς και τον ηλεκτρικό θερμαντήρα κασέτας ως 2 και 3, αντίστοιχα, ενώ τα AHP και TOPSIS τα κατέταξαν ως 3 και 2 αντίστοιχα. Αυτή η διαφορά προτεραιότητας δεν αποτελεί ανησυχία στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, επειδή ο στόχος είναι να επιλεγεί η καλύτερη λύση μεταξύ των συγκεκριμένων εναλλακτικών λύσεων οι οποίες σύμφωνα με τα αποτελέσματα είναι η υπέρυθρη τεχνολογία. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η συνεκτικότητα των κρίσεων διασφαλίζεται στην AHP έτσι ώστε να μπορεί να θεωρηθεί πιο ισχυρή από την PSI και την TOPSIS. Αναφέρθηκε από τους Salomon και Montevichi το 2001(30) ,πως το AHP θεωρείται πιο ισχυρό από το TOPSIS και άλλες τεχνικές MCDM όπως το ELECTRE. Επομένως, η ενσωμάτωση της AHP στην τρίτη φάση υλοποίησης της SMED μπορεί να είναι αρκετή σε ορισμένες περιπτώσεις.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των προτεινόμενων τεχνολογιών και τις διαθέσιμες γνώσεις σχετικά με τη χρήση παρόμοιων τεχνολογιών σε άλλες εφαρμογές, αναμένεται να επιτευχθεί μια μεγάλη μείωση χρόνου εγκατάστασης. Με βάση τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας, η διαδικασία εγκατάστασης της εξεταζόμενης περιπτώσιολογικής μελέτης μετά τη χρήση ολοκληρωμένου SMED / MCDM γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Προθερμάνετε τη μήτρα με χρήση υπερθύρων
- Μετακινήστε τη θερμαινόμενη μήτρα στον εξωθητήρα χειροκίνητα
- Τοποθετήστε τη θερμαινόμενη μήτρα στην πρέσα του εξωθητήρα με υδραυλική σύσφιξη.
- Σε περίπτωση αλλαγής της παραγωγής από γραμμή χαρτόκουτων σε γραμμή μπουκαλιών, ο εξωθητήρας θα μετακινηθεί στην αρχή της γραμμής παραγωγής, σε κυλίνδρους με καθοδηγούμενη από σιδηροτροχιές, και τέλεια ευθυγραμμισμένη με την επόμενη μηχανή της γραμμής.

Όπως φαίνεται στο πίνακα 5.11, τα καθήκοντα g, h και j μπορούν να ολοκληρωθούν μέσα σε 34 λεπτά μόνο μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης, ενώ χρειαζόντουσαν 130 λεπτά πριν την εφαρμογή αυτής. Έτσι, ο χρόνος εγκατάστασης για αυτές τις εργασίες μειώνεται κατά 73,8% (εξοικονόμηση 96 λεπτών). Επιπλέον, η αλλαγή προϊόντων από χαρτόκουτα σε μπουκάλια και αντίστροφα (έργο e) χρειάζεται μόνο 7 λεπτά με την προτεινόμενη προσέγγιση αντί για 15 λεπτά πριν εφαρμοστεί την ολοκληρωμένη προσέγγιση SMED / MCDM.

Πίνακας 5.11: Διαφορές μετά την εφαρμογή SMED



*Κόκκινη στήλη: Πριν την εφαρμογή SMED

*Μπλε στήλη: Μετά την εφαρμογή SMED

Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ικανότητα της προτεινόμενης προσέγγισης στη μείωση του χρόνου εγκατάστασης που οδηγεί σε βελτίωση της χρησιμοποίησης της μηχανής εξωθητήρων και έτσι στην αύξηση της παραγωγικότητας ολόκληρης της εγκατάστασης. Η εκτίμηση οικονομικής σκοπιμότητας στη χρήση των προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων σε αυτή την επιχείρηση ως αποτέλεσμα της εφαρμογής ολοκληρωμένης προσέγγισης SMED / MCDM μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της εισαγωγής μιας

αριθμητικής σύγκρισης μεταξύ του κόστους των επενδύσεων και της βελτίωσης της παραγωγικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εξοικονόμηση χρόνου που αποκτήθηκε με την εφαρμογή της ολοκληρωμένης προσέγγισης SMED / MCDM (96 λεπτά) σε κάθε διαδικασία ανταλλαγής μπορεί να επενδυθεί στην παραγωγή, γεγονός που θα αυξήσει την παραγωγικότητα.

Η βελτίωση της παραγωγικότητας (PI) μπορεί απλά να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας αυτές τις εξισώσεις:

$$PI = \frac{EG}{OC} \quad (5.1)$$

$$OC = (DPR) \times (WH) \quad (5.2)$$

όπου:

- EG = είναι το αναμενόμενο κέρδος ή το ποσό που αναμένεται να προκύψει από την εξοικονόμηση χρόνου που αποκτήθηκε με την εφαρμογή της ολοκληρωμένης προσέγγισης SMED / AHP
- OC = είναι η αρχική χωρητικότητα του εξωθητήρα ανά ημέρα.
- DPR = είναι ο σχεδιασμένος ρυθμός παραγωγής του εξωθητήρα (kg / h).
- WH = είναι ο αριθμός των ωρών εργασίας την ημέρα

Επιπλέον, η υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών εγκατάστασης απαιτεί οικονομική και χρηματοοικονομική αιτιολόγηση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη σύγκριση του κέρδους που επιτυγχάνεται με το κόστος των επενδύσεων. Ωστόσο, η αιτιολόγηση δεν πρέπει να περιορίζεται μόνο στον οικονομικό παράγοντα. Πρέπει να ληφθούν υπόψη άλλα άυλα οφέλη για τη μείωση του χρόνου εγκατάστασης. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν την ενίσχυση της ευελιξίας της γραμμής παραγωγής και τη βελτίωση της ικανότητας της επιχείρησης να ανταλλάσσει τις μήτρες ή να αλλάζει την παραγωγή από μπουκάλια σε χαρτόκουτα και αντίστροφα δύο φορές την ημέρα αντί μόνο μία φορά την ημέρα χωρίς μείωση του επιπέδου παραγωγής και αύξηση του ωραρίου εργασίας ή του αριθμού των εργαζομένων.

Από αυτή τη μελέτη μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στο παρόν έγγραφο προτείνεται νέα προσέγγιση για τη μείωση του χρόνου εγκατάστασης για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα της συμβατικής αλλαγής μιας μηχανής στη γραμμή παραγωγής και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά της.
- Οι τεχνικές MCDM είναι αποτελεσματικές μεθοδολογίες για την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας εγκατάστασης μεταξύ των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων.
- Η προτεινόμενη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων συμπεριλαμβανομένων: κόστους, ενέργειας, διάταξης εγκατάστασης, ασφάλειας, ζωής, ποιότητας και συντήρησης.
- Η προτεινόμενη προσέγγιση παρέχει μια συστηματική διαδικασία για την επιλογή της καλύτερης τεχνικής ρύθμισης μεταξύ των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεις.
- Η ολοκληρωμένη προσέγγιση SMED / MCDM αποτελεί χρήσιμη τροποποίηση της προσέγγιση Shingo με συστηματική διαδικασία για την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας εγκατάστασης.
- Τα αποτελέσματα απεικονίζουν τα οφέλη από την εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης που περιλαμβάνει τη σημαντική μείωση του χρόνου εγκατάστασης, αυξάνοντας την αξιοποίηση της μηχανής και βελτιώνοντας την παραγωγικότητα.
- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι εναλλακτικές βαθμίδες όπου επιτυγχάνονται από την AHP, PSI και το TOPSIS είναι σχεδόν παρόμοιες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ SMED, Η «ΛΙΤΗ» ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Στο σημείο αυτό, θα αναφερθούμε στην μελλοντική εξέλιξη της μεθοδολογίας SMED, τη «λιτή» παραγωγή (lean production). Στη δεκαετία του 1950, οι Eiji Toyoda, Shigeo Shingo και Taiichi Ohno στην Toyota Motor Company στην Ιαπωνία, ανέπτυξαν το σύστημα παραγωγής Toyota (TPS). Το TPS, το οποίο οι περισσότεροι άνθρωποι συσχετίζουν πλέον με τον όρο Lean, ή περισσότερο με την αρχή Just-in-Time (JIT), γεννήθηκε όταν η ιαπωνική αυτοκινητοβιομηχανία είχε κολλήσει σε μια σοβαρή κρίση. Εκείνη την εποχή, κατέστη σαφές ότι ο μόνος τρόπος για να ξεφύγει από την πιθανή επικείμενη καταστροφή αυτού του κλάδου ήταν οι δραστικές αλλαγές στην αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα. Αυτή η αλλαγή έγινε μέσω της «λιτής» σκέψης (ή της φιλοσοφίας), που σημαίνει ότι η Toyota Motor Company έπρεπε να εργαστεί διεξοδικά για τη μείωση των «αποβλήτων», ενώ παράλληλα να εγγυάται τη δημιουργία αξίας. Η «λιτή» φιλοσοφία παρουσιάστηκε στον υπόλοιπο κόσμο από τα αποτελέσματα του Διεθνούς Προγράμματος Μηχανοκίνητων Οχημάτων (IMVP) του MIT, στόχος του οποίου ήταν να συγκριθούν οι διαφορές απόδοσης μεταξύ των εταιρειών αυτοκινήτων που λειτουργούν με τα παραδοσιακά μαζικά συστήματα παραγωγής και εκείνων που χρησιμοποιούν το TPS (32). Εκτός από τη βέλτιστη ροή (μείωση του «νεκρού» χρόνου), η «λιτή» φιλοσοφία επικεντρώνεται στην αναγνώριση της αξίας και την παράδοση της αξίας στον πελάτη.

Η παραγωγική βιομηχανία των ΗΠΑ αναζητεί πάντα στρατηγικές αποδοτικότητας που συμβάλλουν στη μείωση του κόστους, στη βελτίωση της

παραγωγής, στην εδραίωση ανταγωνιστικής θέσης και στην αύξηση του μεριδίου αγοράς. Οι μέθοδοι μαζικής παραγωγής που βασίζονται σε πρώιμες διαδικασίες είναι κοινές πριν από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο μετατοπίζονται μετά το αποτέλεσμα, προσανατολισμένο προς το αποτέλεσμα, σύστημα παραγωγής που επικεντρώνεται στην παραγωγή και ελέγχει τα περισσότερα από τα σημερινά εργοστάσια παραγωγής (42).

Κατά τη διάρκεια του 2ου παγκόσμιου πολέμου, η οικονομία της Ιαπωνίας καταστράφηκε. Λόγω αυτού, υπήρξε έλλειψη κεφαλαίων με αποτέλεσμα να περιορίζεται η πρόσβαση στην εταιρική χρηματοδότηση. Σε αυτήν την κατάσταση, ούτε η Toyota ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα σύστημα μαζικής παραγωγής όπως οι Αμερικανοί ομόλογοι τους, ούτε ήταν δυνατό να απολύσουν τους υπαλλήλους τους για να μειώσουν τα κόστη τους λόγω της νομοθεσίας. Εν πάση περιπτώσει, η Toyota έπρεπε να σχεδιάσει ένα νέο σύστημα για τη μείωση του κόστους για να διατηρηθεί στην αγορά. Έτσι αποφάσισαν να παράγουν μια μικρή παρτίδα προϊόντων, η οποία θα μειώσει τα αποθέματα. Αυτό σημαίνει ότι θα χρειαστούν λιγότερα κεφάλαια για να παράγουν το ίδιο προϊόν. Αλλά αυτό παρεμποδίζεται από την πρακτική δυσκολία αλλαγής εργαλείων και γραμμών παραγωγής συχνά. Για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, άρχισαν να κατασκευάζουν πολυλειτουργικά συστήματα εργαλείων στις μηχανές τους και εκπαίδευσαν τους υπαλλήλους τους στις μεθόδους μείωσης του χρόνου αλλαγής. Ταυτόχρονα, η Toyota συνειδητοποίησε ότι η επένδυση σε ανθρώπους είναι πιο σημαντική από την επένδυση σε μηχανήματα μεγαλύτερου μεγέθους και συνεχίζει την εκπαίδευση των εργαζομένων σε ολόκληρο τον οργανισμό. Αυτό παρακινεί όλους τους εργαζόμενους να είναι πιο ανοιχτοί στη διαδικασία βελτίωσης και έτσι, όλοι άρχισαν να δίνουν τη συμβολή τους στην εταιρεία.

Με αυτόν τον τρόπο, οι μικρές σειρές παραγωγής που ξεκίνησε η Toyota έγιναν πλεονέκτημα και όχι επιβάρυνση, καθώς ήταν σε θέση να ανταποκριθεί πολύ πιο γρήγορα στις μεταβολές της ζήτησης μεταβάλλοντας γρήγορα την παραγωγή από το ένα μοντέλο στο άλλο. Η Toyota δεν εξαρτάται από τις οικονομίες κλίμακας παραγωγής όπως οι αμερικανικές εταιρείες. Μάλλον ανέπτυξε ένα πολιτισμό, ένα οργανισμό και ένα λειτουργικό σύστημα που επιδίωκε αδιάλειπτα την εξάλειψη των χαμένου χρόνου, τη μεταβλητότητα και

την ακαμψία. Για να επιτευχθεί αυτό, επικεντρώθηκε το λειτουργικό της σύστημα στην ανταπόκριση στη ζήτηση και τίποτα άλλο. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι πρέπει να είναι ευέλικτο. όταν υπάρχουν αλλαγές στη ζήτηση, το λειτουργικό σύστημα είναι ένα σταθερό εργατικό δυναμικό που απαιτείται να είναι πολύ πιο εξειδικευμένο και πολύ πιο ευέλικτο από εκείνο των περισσότερων συστημάτων μαζικής παραγωγής. Με την πάροδο του χρόνου, όλα αυτά τα στοιχεία ενοποιήθηκαν σε μια νέα προσέγγιση στις πράξεις που αποτέλεσαν τη βάση του άπαχου ή του συστήματος παραγωγής της Toyota ή της «Λιτής» Παραγωγής (Lean Production) (43).

Η ιδέα της «λιτής» παραγωγής έγινε γνωστή στα αμερικανικά εργοστάσια. Μια από τις σπουδαιότερες μελέτες του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης είναι αυτή σχετικά με τη μετακίνηση από τη μαζική παραγωγή προς την παραγωγή όπως περιγράφεται στο *The Machine That Changed The World* (49). Εκεί, συζητήθηκε το σημαντικό χάσμα απόδοσης μεταξύ των δυτικών και ιαπωνικών αυτοκινητοβιομηχανιών. Αυτό το βιβλίο περιγράφει τα σημαντικά στοιχεία που αντιπροσωπεύουν ανώτερες επιδόσεις ως «λιτή» παραγωγή. Ο όρος "λιτή" χρησιμοποιήθηκε επειδή οι ιαπωνικές επιχειρηματικές μέθοδοι χρησιμοποίησαν λιγότερη ανθρώπινη προσπάθεια, υλικά επενδύσεων κεφαλαίων και χρόνο σε όλες τις πτυχές των λειτουργιών. Ο ανταγωνισμός που προέκυψε μεταξύ αμερικανικών και ιαπωνικών αυτοκινητοβιομηχανιών τα τελευταία 25 χρόνια οδήγησε στην υιοθέτηση αυτών των αρχών σε όλες τις επιχειρήσεις κατασκευής των ΗΠΑ (44).

6.0.1 Ορισμός «Λιτής» Παραγωγής

Η «λιτή» παραγωγή είναι μια συστηματική προσέγγιση για τον εντοπισμό και την εξάλειψη των «αποβλήτων» (δραστηριότητες χωρίς προστιθέμενη αξία) μέσω της συνεχούς βελτίωσης του προϊόντος με την ώθηση του πελάτη για την επιδίωξη της τελειότητας (45). Η διαδικασία «λιτής» παραγωγής είναι ένας πλήρης τρόπος για τη μείωση των «αποβλήτων» όλων των τύπων (χάσιμο χρόνου ή υλικού)(45).

Είναι μια προσέγγιση βελτίωσης για τη βελτίωση της ροής και την εξάλειψη των αποβλήτων που αναπτύχθηκε από την Toyota. «Λιτό»(Lean) είναι βασικά η δυνατότητα της εκάστοτε επιχείρησης να έχει τα σωστά πράγματα στο σωστό μέρος, την κατάλληλη στιγμή, στις σωστές ποσότητες, ελαχιστοποιώντας τα «απόβλητα», όντας ευέλικτο και ανοιχτό στην αλλαγή. Το επίκεντρο της είναι η βελτίωση των χρόνων παράδοσης, του κόστους και του κόστους λειτουργίας μιας και η επιτυχής συμμετοχή των εργαζομένων. Οι «λιτές» αρχές είναι τρόποι σκέψης και δράσης για ολόκληρο τον οργανισμό, όχι για τακτική ή πρόγραμμα μείωσης του κόστους. Το Lean είναι μια φιλοσοφία κατασκευής που μειώνει το χρόνο μεταξύ της παραγγελίας του πελάτη και της κατασκευής του προϊόντος, εξαλείφοντας την πηγή αποβλήτων.

Πέντε βασικοί κανόνες του Lean:

1. Καθορίστε την αξία από την άποψη του τελικού πελάτη ανά οικογένεια προϊόντων.
2. Προσδιορίστε όλα τα βήματα της ροής των τιμών για κάθε οικογένεια προϊόντων, εξαλείφοντας κάθε φορά τα βήματα που δεν δημιουργούν αξία.
3. Κάντε τα βήματα δημιουργίας αξίας να εμφανίζονται με αυστηρή σειρά, ώστε το προϊόν να κυκλοφορεί ομαλά προς τον πελάτη.
4. Καθώς εισάγεται ροή, αφήστε τους πελάτες να αντλήσουν αξία από την επόμενη δραστηριότητα της παραγωγής
5. Καθώς προσδιορίζεται η τιμή, προσδιορίζονται οι ροές αξίας, αφαιρούνται τα χαμένα βήματα και εισάγεται η ροή. Έτσι αρχίζει εκ νέου η διαδικασία και συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί τελειότητα, στην οποία δημιουργείται άριστη τιμή χωρίς «απόβλητα».

Οι 14 αρχές της Toyota

Οι 14 αρχές της Toyota οργανώνονται σε τέσσερις ευρείες κατηγορίες (46)

Τμήμα I: Μακροπρόθεσμη Φιλοσοφία

- Αρχή 1: Βασιστείτε στις διαχειριστικές σας αποφάσεις σε μια μακροπρόθεσμη φιλοσοφία, ακόμη και εις βάρος των βραχυπρόθεσμων οικονομικών στόχων.

Τμήμα II: Η σωστή διαδικασία θα παράγει τα σωστά αποτελέσματα

- Αρχή 2: Δημιουργήστε μια συνεχή διαδικασία ροής για να αποφευχθούν διάφορα προβλήματα.
- Αρχή 3: Να χρησιμοποιούνται συστήματα "έλξης(pull)" για να αποφευχθεί η υπερπαραγωγή.
- Αρχή 4: Κατανομή του φόρτου εργασίας (Heijunka). (Εργαστείτε σαν τη χελώνα, όχι το λαγό.)
- Αρχή 5: Δημιουργήστε μια κουλτούρα διακοπής για να διορθώσετε προβλήματα, για να πάρετε την ποιότητα σωστά την πρώτη φορά.
- Αρχή 6: Τα τυποποιημένα καθήκοντα και διαδικασίες αποτελούν τη βάση για συνεχή βελτίωση και «ενδυνάμωση» των εργαζομένων.
- Αρχή 7: Χρησιμοποιήστε οπτικό έλεγχο, ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα.
- Αρχή 8: Χρησιμοποιήστε μόνο αξιόπιστη, διεξοδικά δοκιμασμένη τεχνολογία που εξυπηρετεί τους ανθρώπους και τις διαδικασίες σας.

Τμήμα III: Προσθέστε αξία στον οργανισμό αναπτύσσοντας τους ανθρώπους σας

- Αρχή 9: Αυξήστε τους ηγέτες που καταλαβαίνουν καλά το έργο, πραγματοποιείτε τη φιλοσοφία και διδάξτε τη στους άλλους.

- Αρχή 10: Αναπτύξτε εξαιρετικούς ανθρώπους και ομάδες που ακολουθούν τη φιλοσοφία της εταιρείας σας.
- Αρχή 11: Σεβαστείτε το εκτεταμένο δίκτυο συνεργατών και προμηθευτών, βοηθώντας τους να βελτιωθούν.

Τμήμα IV: Η συνεχής επίλυση των ριζικών προβλημάτων οδηγεί στην οργανωτική μάθηση

- Αρχή 12: Πρέπει να γίνεται αυτούσιος οπτικός έλεγχος, ώστε να κατανοηθεί πλήρως μία κατάσταση (Genchi Genbutsu).
- Αρχή 13: Λάβετε αποφάσεις αργά με συναίνεση, εξετάζοντας διεξοδικά όλες τις επιλογές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εφαρμόζονται γρήγορα οι αποφάσεις (Nemawashi).
- Αρχή 14: Γίνετε εκπαιδευτικός οργανισμός μέσω αδιάκοπης αντανάκλασης (Hansei) και συνεχούς βελτίωσης (kaizen).

Είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία εργαλείων TPS και να ακολουθούνται μόνο μερικές από τις αρχές της Toyota Way. Το αποτέλεσμα θα είναι βραχυπρόθεσμα άλματα στα μέτρα απόδοσης που δεν είναι βιώσιμα. Από την άλλη πλευρά, ένας οργανισμός που εφαρμόζει πραγματικά το σύνολο των αρχών της Toyota Way, θα ακολουθήσει την TPS και στην πορεία προς ένα βιώσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα

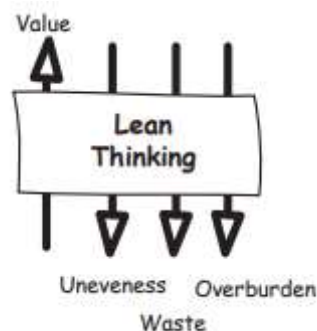
Ο στόχος της «λιτής» σκέψης ή της φιλοσοφίας είναι να προσεγγίσει περισσότερο τις επιθυμίες των πελατών. Για να γίνει αυτό, πρέπει να ακολουθηθεί ένα απλό και συνάμα δύσκολο σύνολο αρχών (33):

- **Καθορισμός της αξίας:** Η αξία, όπως ορίζεται από τον τελικό πελάτη, είναι η βάση της «λιτής» σκέψης και καθοδηγεί όλες τις διαδικασίες στην εταιρεία. Χωρίς τον προσδιορισμό της αξίας, δεν μπορεί κανείς να διακρίνει τις δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας και τις δαπάνες που πραγματοποιήθηκαν για αυτές.
- **Προσδιορισμός της ροής αξιών:** Η ροή αξιών είναι μια θεωρητική και ιδανική ακολουθία εργασιών με προστιθέμενη αξία, όπου μια δραστηριότητα προστιθέμενης αξίας μετατρέπει τα παραδοτέα προϊόντα με τέτοιο τρόπο ώστε ο πελάτης να αναγνωρίζει τη μετατροπή και να

είναι πρόθυμος να πληρώσει γι 'αυτό. Με την «ευθυγράμμιση» των δραστηριοτήτων παράδοσης αξίας οι δραστηριότητες «νεκρού» χρόνου μειώνονται ,αν δεν εξαλείφονται. Επομένως έχουμε περισσότερο χρόνο, χρήματα, ανθρώπινους πόρους κ.λπ. τα οποία μπορούν να αναπροσανατολιστούν σε αυτό που πραγματικά έχει σημασία.

- **Εγγύηση της ροής:** Όλες οι δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας πρέπει να διεξάγονται χωρίς διακοπή.
- **Επιδιώξτε την τελειότητα:** Η αδιάκοπη συνεχής βελτίωση είναι ο «κινητήρας» που διατηρεί και εξελίσσει τη «λιτή» φιλοσοφία

Ενώ οι δύο πρώτες «αρχές» εγγυώνται την κατανόηση της αξίας από τον καταναλωτή, οι υπόλοιπες δύο εργασίες πραγματοποιούνται για τη μείωση του «νεκρού» χρόνου. Πράγματι, η αναζήτηση της τελειότητας, που είναι ο λόγος για συνεχή βελτίωση, σημαίνει συνεχή μείωση του χαμένου χρόνου.



Σχήμα 6.1: Κατάσταση στόχου «λιτού» συστήματος

Πηγή (Project Management Institute, PMI (2013) A Guide to Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 5th edn. Project Management Institute, Newton Square 4. Bonnal P, De Jonghe J, Ferguson J (2006) March) A deliverable-oriented EVM system suited to a large-scale project. Project Manage J 37)

Ως προϋπόθεση, κάθε σύστημα Lean πρέπει να παρέχει τη μέγιστη αξία, μειώνοντας παράλληλα το «νεκρό» χρόνο. Ο όρος "μείωση των νεκρού

χρόνου", ωστόσο, δεν περιορίζεται στον ίδιο το χρόνο αλλά περιλαμβάνει και τις ανωμαλίες και τις υπερπίεσεις (σχήμα 6.1) όπου:

Αξία (value): Η αξία σε έναν ενδιαφερόμενο είναι η συνολική και ισορροπημένη αντίληψη από όλα τα οφέλη που παρέχουν τα αποτελέσματα των διαδικασιών του κύκλου ζωής. Η "συνολική αντίληψη" θεωρείται ότι δεν είναι μόνο αποτελέσματα που σχετίζονται άμεσα με το προϊόν, αλλά και προσδοκίες σχετικά με το κόστος, την χρονική παράδοση, το επίπεδο κινδύνου κ.τ.λ. (34).

Απόβλητα («νεκρός» χρόνος,Waste): Τα απόβλητα αναφέρονται σε όλα τα στοιχεία μιας διαδικασίας που αυξάνουν μόνο το κόστος χωρίς να δίνουν προστιθέμενη αξία ή οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα που απορροφά τους πόρους αλλά δεν δημιουργεί αξία· οποιεσδήποτε δραστηριότητες που επιμηκύνουν τους χρόνους παράδοσης και προσθέτουν επιπλέον κόστος στο προϊόν για το οποίο ο πελάτης δεν είναι πρόθυμος να πληρώσει. (33, 35).

Υπερπίεση (overburden): Η υπερπίεση θεωρείται η ώθηση μιας μηχανής πάνω από τις δυνατότητες της ή μια διαδικασία που πιέζει τον άνθρωπο πέρα από τα φυσικά του όρια (35).

Ανομοιομορφία (unevenness): Τα αποτελέσματα από ένα ακανόνιστο πρόγραμμα παραγωγής ή από κυμαινόμενους όγκους προϊόντων που προκαλούνται από εσωτερικά προβλήματα (35).

Τα απόβλητα μπορούν να εκδηλωθούν ως υπερβολικό απόθεμα, υπερβολική παραγωγή, εξωγενή βήματα επεξεργασίας, περιττή μετακίνηση και ελαττωματικά προϊόντα κ.λπ. Όλοι αυτοί οι οδηγοί «σπαταλών» αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν περισσότερα απόβλητα (36,37), επηρεάζοντας τελικά πέραν της συγκεκριμένης περιοχής όπου οι ρίζες τους εμφανίζονται και κλιμακώνονται ακόμη και στη διοίκηση της ίδιας της εταιρείας.

Η επιτυχία της λιτής σκέψης όμως, δεν περιορίζεται στην κατασκευή. Μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλες διαδικασίες με υψηλό δυναμικό μείωσης του κόστους και βελτίωσης της ποιότητας, όπως είναι η ανάπτυξη προϊόντων. Στην

πραγματικότητα, η επιτυχία της Toyota βασίζεται στην εφαρμογή της λιτής φιλοσοφίας στην ανάπτυξη προϊόντων και όχι στην κατασκευή.

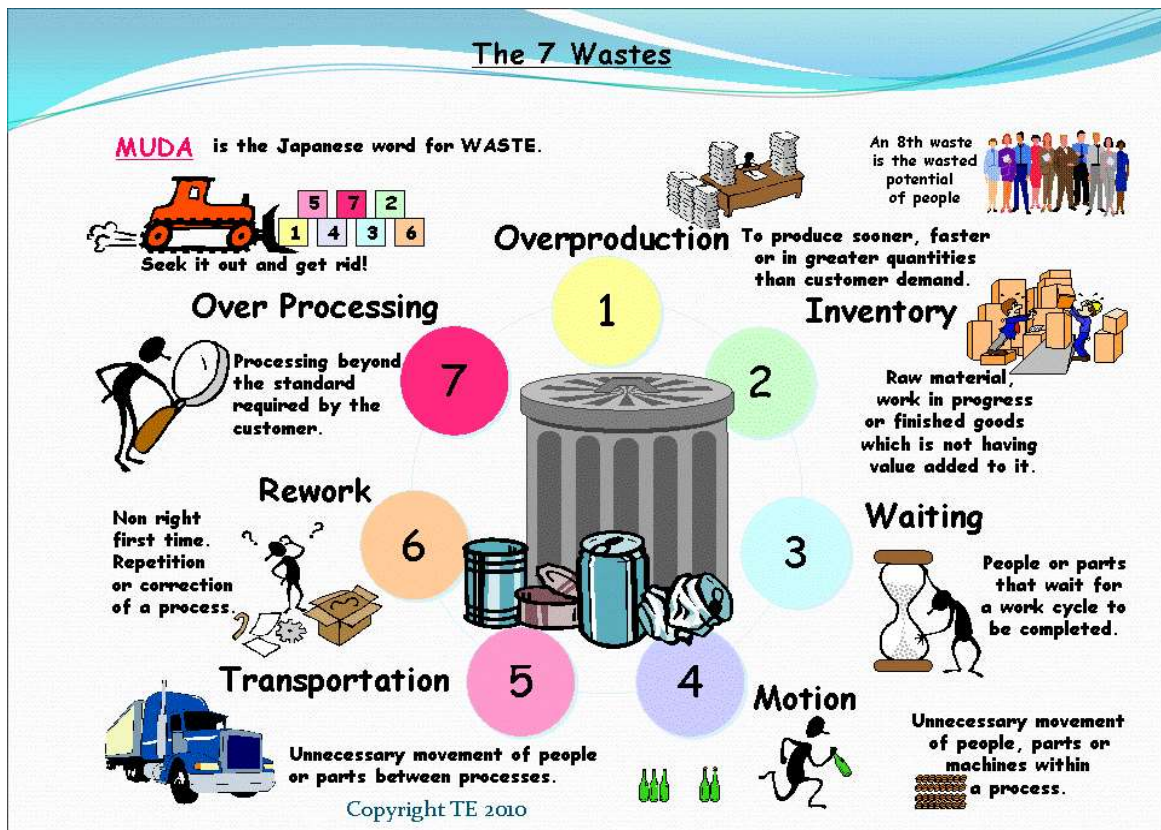
Με τη διδασκαλία του Lean Product Design(LPD) και Ανάπτυξης μέσα από τα χρόνια μπορούσαμε να δούμε πώς οι μαθητές και οι επαγγελματίες έκαναν συνδέσεις για την εφαρμογή της «λιτής» φιλοσοφίας σε μεγαλύτερη ποικιλία περιοχών, συμπεριλαμβανομένης της καθημερινής ζωής.

Η μετάβαση στη «λιτή» φιλοσοφία είναι μια αλλαγή νοοτροπίας. Είναι μια πολιτισμική αλλαγή στην οργάνωση και μια αλλαγή στάσης σε κάθε άτομο. Ως εκ τούτου, ο «λιτός» τρόπος σκέψης στρέφει τη φιλοσοφία σε όλες τις πτυχές της ζωής του.

6.1 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΤΙ ΕΣΤΙ «ΧΑΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ(ΑΠΟΒΛΗΤΑ)»

Στόχος της «λιτής» παραγωγής είναι η εξάλειψη των αποβλήτων σε κάθε τομέα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των σχέσεων με τους πελάτες, του σχεδιασμού προϊόντων, των δικτύων προμηθευτών και των εργοστασιακών διοικήσεων. Στόχος της είναι να ενσωματώσει λιγότερη ανθρώπινη προσπάθεια, λιγότερα αποθέματα, λιγότερο χρόνο στην ανάπτυξη προϊόντων και λιγότερους χρόνους μετάβασης για να φέρει νέο προϊόν από μία νέα οικογένεια προϊόντων.

Ο Shigeo Shingo ταυτοποίησε «Επτά» μορφές αποβλήτων (συν ένα - το όγδοο απόβλητο, υπολειτουργία των ανθρώπων). «Ένα απόβλητο είναι κάτι που ο πελάτης δεν είναι διατεθειμένος να πληρώσει γι 'αυτό. Οχτώ τύποι αποβλήτων εξετάζονται στην «λιτή» παραγωγή» (47). Χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται οι τύποι αποβλήτων που εξετάζονται σε ένα «λιτό» σύστημα παραγωγής, η αιτία και οι επιπτώσεις τους στην οργάνωση:



Εικ. 6.1: Τα 7 «απόβλητα»

Πηγή: <http://leanmanufacturingtools.org/77/the-seven-wastes-7-mudas/>

1) **Υπερπαραγωγή**: Η παραγωγή πιο γρήγορα, ταχύτερα ή σε μεγαλύτερες ποσότητες από την ζήτηση των πελατών. Η υπερπαραγωγή μπορεί να συμβεί με μεμονωμένες διαδικασίες ή σε ολόκληρη τη ροή αξιών.

Η υπερπαραγωγή προκαλείται από:

- Μεγάλα μεγέθη παρτίδων
- Φαίνεται καλύτερα να είσαι απασχολημένος

- Κακή χρήση των ανθρώπων
- Έλλειψη εστίασης στον πελατών

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Παραπάνω κόστος
- Κατανάλωση πόρους χωρίς συγκεκριμένο αποτέλεσμα
- Δημιουργείται απόθεμα
- Κρύβει προβλήματα απογραφής / ελαττωμάτων
- Χρήση παραπάνω χώρου



Εικ. 6.2: Υπερπαραγωγή

2) **Αποθέματα, απογραφή:** Πρόκειται για μια διαδικασία που δεν απαιτείται άμεσα για την εκπλήρωση των εντολών των πελατών. Στην απογραφή περιλαμβάνονται οι πρώτες ύλες, οι εργασίες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και τα έτοιμα προϊόντα. Όλοι οι τύποι αποθέματος απαιτούν πρόσθετο χώρο και εξοπλισμό χειρισμού.

Προβλήματα που προκαλούνται από υπερβολικά αποθέματα:

- Το πρόγραμμα παραγωγής δεν βελτιώνεται

- Αυξημένη πιθανότητα λανθασμένων προβλέψεων όσον αφορά την παραγωγή.
- Περισσότερες διακοπές / ρυθμίσεις στις γραμμές παραγωγής

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Αύξηση του κόστους συντήρησης.
- Απαιτείται επιπλέον αποθηκευτικός χώρος
- Απαιτούνται παραπάνω πόροι για τη διαχείριση
- «Κρύβονται» ελλείψεις και ελαττώματα



Εικ. 6.3: «Υπερβολικά» αποθέματα

Πηγή: <https://www.excess2sell.com/site/landing>

3) **Αναμονή:** Η αναμονή αναφέρεται στις περιόδους αδράνειας σε μια διαδικασία. Σε αυτές τις περιόδους, χρησιμοποιούνται διάφοροι πόροι της επιχείρησης που δεν προσθέτουν αξία και οδηγούν σε υπερπαραγωγή.

Η αναμονή προκαλείται από:

- Ελλείψεις και αναξιόπιστη αλυσίδα εφοδιασμού
- Δεν υπάρχει εξειδίκευση / ευελιξία

- Λανθασμένη κατανομή εξαρτημάτων
- Ανεπαρκής σχεδιασμός παραγωγής.

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Σταματήματα παραγωγής
- «Φτωχή» ροή εργασίας
- Προκαλούνται σημεία συμφόρησης(bottlenecks)
- Μεγάλοι χρόνοι παράδοσης

4) **Υπερβολική κίνηση:** Αναφέρεται στην κίνηση των ανθρώπων ή ανθρώπινων άκρων. Αυτός ο όρος αναφέρεται στα επιπλέον βήματα που λαμβάνονται από τους εργαζόμενους και τον εξοπλισμό για την αντιμετώπιση της ανεπαρκούς διάταξης διαδικασίας, των ελαττωμάτων, της επανεπεξεργασίας, της υπερπαραγωγής ή της υπέρμετρης απογραφής.

Προκαλείται από:

- Μη ύπαρξη διαδικασίας λειτουργίας
- Άσχημα σχεδιασμένο εργοστάσιο
- Ανεπαρκής εκπαίδευση

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Διακόπτει τη ροή παραγωγής.
- Αυξάνει τον χρόνο παραγωγής

- Μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό



Εικ. 6.4: Υπερβολική κίνηση

Πηγή: <https://www.kaizen-news.com/seven-forms-of-waste-lean-six-sigma/>

5)Μεταφορές: Περιγράφει την περιττή κίνηση ή την κίνηση των υλικών.

Προκαλείται από:

- Άσχημα σχεδιασμένη διαδικασία
- Περίπλοκες ροές υλικών
- Περιορισμένο χώρο δαπέδου

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Αύξηση χρόνου παραγωγής
- Κατανάλωση πόρων και χώρου
- Κακή επικοινωνία
- Αύξηση της εργασίας σε εξέλιξη

- Πιθανή ζημία στα προϊόντα

6) **Υπερβολική επεξεργασία:** Αυτός ο όρος αναφέρεται σε πρόσθετες λειτουργίες, όπως επανεπεξεργασία, χειρισμό ή αποθήκευση που συμβαίνει λόγω ελαττωμάτων, υπερπαραγωγής ή υπερβολικού αποθέματος.

Προκαλείται από:

- Ξεπερασμένα πρότυπα εργασίας
- Συμπεριφορές του τύπου "Πάντα έτσι γινόταν"
- Ανεπαρκής κατανόηση της διαδικασίας
- Έλλειψη καινοτομίας & βελτίωσης
- Μη ύπαρξη τυπικών διαδικασιών λειτουργίας

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Κατανάλωση πόρων
- Αύξηση χρόνου παραγωγής
- Η δουλεία ξεπερνάει τις προδιαγραφές της επιχείρησης
- Μπορεί να μειώσει τη ζωή του εξαρτήματος



Εικ. 6.5: Υπερβολική επεξεργασία

Πηγή: <https://www.kaizen-news.com/seven-forms-of-waste-lean-six-sigma/>

7) Ελάττωμα στο προϊόν της παραγωγής: Ένα ελάττωμα είναι ένα στοιχείο το οποίο ο πελάτης θεωρεί απαράδεκτο να περάσει το ποιοτικό πρότυπο της επιχείρησής και δεν θα το πληρώσει.

Προκαλείται από:

- Ανικανότητα παραγωγής ορθού προϊόντος
- Δεν υπάρχει δεξιότητα, εκπαίδευση και υποστήριξη στην εργασία
- Ανακριβής σχεδιασμός και μηχανική

- Ανακρίβεια μηχανών

Αντίκτυπο στην επιχείρηση :

- Αύξηση κόστους
- Διακοπή του προγράμματος παραγωγής
- Μειώνει την εμπιστοσύνη των πελατών
- Τα ελαττώματα μειώνουν την ικανοποίηση του πελάτη
- Επιβολή της διόρθωσης των ελαττωμάτων

Σχεδόν κάθε απόβλητο στη διαδικασία παραγωγής μπορεί να υπάρξει σε μία τουλάχιστον από αυτές τις κατηγορίες. Εκείνοι που κατανοούν την έννοια θεωρούν τα απόβλητα ως το μοναδικό εχθρό που περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις επιχειρηματικές επιδόσεις και απειλεί την ευημερία, εκτός αν απουσιάζει απαρέγκλιτα με την πάροδο του χρόνου. Η «λιτή» παραγωγή είναι μια προσέγγιση που εξαλείφει τα απόβλητα με τη μείωση του κόστους στη συνολική παραγωγική διαδικασία, στις λειτουργίες της εν λόγω διαδικασίας και στη χρησιμοποίηση της παραγωγικής εργασίας. Το επίκεντρο είναι η βελτίωση ολόκληρης της ροής της διαδικασίας, όχι η βελτίωση μιας ή περισσότερων μεμονωμένων λειτουργιών.

6.1.1Kaizen

Kaizen είναι μια ιαπωνική λέξη η οποία σημαίνει, απλά, συνεχής βελτίωση

1. Kai = Να παίρνεις μέρος
2. Zen = Να κάνεις καλό

Μαζί αυτές οι λέξεις σημαίνουν να ξεχωρίσουμε κάτι για να το βελτιώσουμε.

Το Kaizen είναι μια βασική επιστημονική ανάλυση στην οποία αναλύετε (ή λαμβάνετε μέρος) τα στοιχεία μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος για να γίνει κατανοητό το πώς λειτουργεί. Η «λιτή» παραγωγή βασίζεται στην ιδέα του kaizen - η μικρή βελτίωση έχει μεγάλη επίδραση στο επιχειρηματικό αποτέλεσμα. Επικεντρώνεται στη συνεχή βελτίωση σε όλες τις πτυχές της ζωής. Όταν εφαρμόζονται στο χώρο εργασίας, οι δραστηριότητες του Kaizen βελτιώνουν συνεχώς όλες τις λειτουργίες μιας επιχείρησης, από την κατασκευή έως τη διοίκηση και από τον CEO στους εργαζόμενους του Kaizen. Με τη βελτίωση των τυποποιημένων δραστηριοτήτων και διαδικασιών, το Kaizen στοχεύει στην εξάλειψη των αποβλήτων (48).

Η βασική αρχή για τη βελτίωση

- Πετάξτε όλες τις άκαμπτες ιδέες σας για το πώς να σκέφτεστε
- Σκεφτείτε πώς η νέα μέθοδος θα λειτουργήσει όχι πώς θα αποτύχει
- Μην δεχτείτε δικαιολογίες. Απορρίψτε εντελώς το status quo.
- Μην επιδιώκετε την τελειότητα. Ένα ποσοστό εκτέλεσης 50 τοις εκατό είναι ικανοποιητικό εφόσον γίνεται επί τόπου.
- Διορθώστε λάθη τη στιγμή που ανακαλύπτονται
- Μην ξοδεύετε πολλά χρήματα για βελτίωση.
- Τα προβλήματα σας δίνουν την ευκαιρία να χρησιμοποιήσετε τον εγκέφαλό σας.
- Ρωτήστε "γιατί" τουλάχιστον πέντε φορές μέχρι να βρείτε την τελική αιτία.
- Η βελτίωση δεν γνωρίζει κανένα όριο

Γεγονότα Kaizen: Τα γεγονότα Kaizen είναι τεχνητές ομάδες που έχουν δημιουργηθεί για να απευθύνονται σε ένα μόνο θέμα / τομέα. Συνήθως γίνονται μόνο για μία και μοναδική φορά. Τα γεγονότα Kaizen μπορούν να πραγματοποιηθούν περιοδικά ώστε να γίνουν εστιασμένες αλλαγές στο χώρο εργασίας που επηρεάζουν την επίδραση ολόκληρης της ομάδας ταυτόχρονα και οι οποίες απαιτούν την παραγωγή σε αυτή την περιοχή ενδεχομένως να τερματιστεί κατά τις αλλαγές. Ένα γεγονός kaizen πρέπει να προετοιμαστεί προσεκτικά, να συντονιστεί καλά και να

συνεχιστεί προσεκτικά για να επιτύχει. Το γεγονός Kaizen είναι συνήθως μετρήσιμο και διαρκεί μία εβδομάδα. Μερικές φορές τα γεγονότα προγραμματίζονται για μικρότερες περιόδους - μισή μέρα. Μια μέρα έως και 3 ημέρες. Υπάρχουν γεγονότα που επικεντρώνονται για όχι και τόσο σημαντικές καταστάσεις και απαιτούνται λιγότεροι προγραμματισμοί.

Το φλας(blitz) Kaizen είναι ένα εργαλείο το οποίο οι κατασκευαστές «λιτών» παραγωγών μπορούν να χρησιμοποιήσουν ξανά και ξανά, αλλά δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιηθούν ως το μόνο τρόπο για συνεχή βελτίωση. Η μετάβαση σε ένα «λιτό» περιβάλλον δεν μπορεί να εμφανιστεί από τη μία στιγμή στην άλλη. Μια νοοτροπία συνεχούς βελτίωσης είναι απαραίτητη για την επίτευξη του στόχου της εταιρείας σας. Ο όρος συνεχής βελτίωση σημαίνει διαρκής βελτίωση της διαδικασίας ή των υπηρεσιών του προϊόντος με την πάροδο του χρόνου, με στόχο τη μείωση των αποβλήτων, προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργικότητα, η εξυπηρέτηση των πελατών ή η απόδοση του προϊόντος στο χώρο εργασίας. Η αρχή της συνεχούς βελτίωσης, όπως εφαρμόζεται από τους πιο αφοσιωμένους κατασκευαστές, οδηγούν σε εκπληκτικές βελτιώσεις στις επιδόσεις που οι ανταγωνιστές βρίσκουν σχεδόν αδύνατο να επιτύχουν.

6.1.2 Συνολική παραγωγική συντήρηση (TPM)

Η συνολική παραγωγική συντήρηση (TPM) προήλθε από την Ιαπωνία το 1971 ως μια μέθοδος για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας μηχανών μέσω της καλύτερης αξιοποίησης των πόρων συντήρησης και παραγωγής. Το TPM είναι μια διαδικασία συντήρησης που αναπτύχθηκε για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, καθιστώντας τις διαδικασίες πιο αξιόπιστες και λιγότερο δαπανηρές. Το TPM αποτελεί επέκταση του TQM (Total Quality Management). Ο στόχος του TPM είναι να διατηρεί τη μονάδα ή τον εξοπλισμό σε καλή κατάσταση χωρίς να παρεμβαίνει στην καθημερινή

διαδικασία. Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται συντήρηση πρόληψης και πρόβλεψης. Ακολουθώντας τη φιλοσοφία του TPM, μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε την απροσδόκητη αποτυχία του εξοπλισμού (49).

Ο στόχος είναι η πλήρης εξάλειψη όλων των ζημιών, συμπεριλαμβανομένων των βλαβών, των ρυθμίσεων του εξοπλισμού και των απωλειών προσαρμογής, των ρελαντί, των δευτερευουσών διακοπών, της μειωμένης ταχύτητας, των ελαττωμάτων και των επαναλήψεων, των διαρροών και των συνθηκών αναστάτωσης της διαδικασίας. Οι απώτεροι στόχοι του TPM είναι οι μηδενικές κατανομές εξοπλισμού και τα μηδενικά ελαττώματα του προϊόντος, τα οποία οδηγούν σε βελτιωμένη αξιοποίηση του ενεργητικού της παραγωγής και της παραγωγικής ικανότητας των εγκαταστάσεων.

Οι οργανισμοί συνήθως ακολουθούν τις τέσσερις παρακάτω τεχνικές για την εφαρμογή του TPM. Τα γεγονότα Kaizen μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επικεντρωθεί η οργανωτική προσοχή στην εφαρμογή αυτών των τεχνικών.

Αποτελεσματικός εξοπλισμός: Ο καλύτερος τρόπος για να αυξηθεί η αποδοτικότητα του εξοπλισμού είναι να προσδιοριστούν οι απώλειες οι οποίες παρεμποδίζουν την απόδοση. Για τη μέτρηση της συνολικής αποτελεσματικότητας του εξοπλισμού, χρησιμοποιείται ένας δείκτης TPM, Συνολική αποτελεσματικότητα εξοπλισμού (OEE). Ο OEE υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας (ως ποσοστό επί τοις εκατό), τη συνολική διαθεσιμότητα εξοπλισμού, τις επιδόσεις και την ποιότητα του προϊόντος. Με αυτά τα στοιχεία, ο χρόνος που αφιερώνεται σε κάθε μία από τις έξι μεγάλες απώλειες και όπου πρέπει να επικεντρωθεί η μεγαλύτερη προσοχή, μπορεί να προσδιοριστεί. Εκτιμάται ότι οι περισσότερες εταιρείες μπορούν να πραγματοποιήσουν αύξηση της αποδοτικότητας του εξοπλισμού κατά 15-25% εντός τριών ετών από την υιοθέτηση του TPM.

Αποτελεσματική συντήρηση: Η σχολαστική και συνήθης συντήρηση είναι μια κρίσιμη πτυχή του TPM. Πρώτα απ' όλα, η TPM εκπαιδεύει τους φορείς

εκμετάλλευσης εξοπλισμού να διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην προληπτική συντήρηση με την εκτέλεση "αυτόνομης συντήρησης" σε καθημερινή βάση. Οι συνήθεις καθημερινές δραστηριότητες περιλαμβάνουν ελέγχους ακρίβειας, λίπανση, αντικατάσταση εξαρτημάτων, απλές επισκευές και ανίχνευση ανωμαλιών. Οι εργαζόμενοι ενθαρρύνονται επίσης να διεξάγουν διορθωτική συντήρηση, με σκοπό να διατηρήσουν περαιτέρω τον εξοπλισμό και να διευκολύνουν την επιθεώρηση, την επισκευή και τη χρήση. Η διορθωτική συντήρηση περιλαμβάνει την καταγραφή των αποτελεσμάτων των καθημερινών επιθεωρήσεων και την τακτική εξέταση και υποβολή ιδεών βελτίωσης αυτής.

6.1.3 Βοηθητικά «λιτά» εργαλεία

Συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking)

Η συγκριτική αξιολόγηση περιγράφει την ολιστική αξιολόγηση των τεχνολογιών, των διαδικασιών παραγωγής και των προϊόντων ενός οργανισμού, σε σύγκριση με τους κορυφαίους ευρωπαϊκούς οργανισμούς στην ίδια αγορά. Τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης περιλαμβάνουν την κατανόηση των αδυναμιών οποιασδήποτε εταιρείας ή οργανισμού καθώς και την ικανότητα μέτρησης με ακρίβεια των ορίων της βελτίωσής της. Η συγκριτική αξιολόγηση δίνει επίσης τη δυνατότητα εφαρμογής άλλων μεθόδων ανάπτυξης της καινοτομίας, όπως η δημιουργικότητα, η αναδιοργάνωση επιχειρησιακών διαδικασιών (BPR), η διαχείριση της αλυσίδας παραγωγής, το ηλεκτρονικό εμπόριο κ.λπ.

Διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης:

Η συνολική διαδικασία περιλαμβάνει πέντε βήματα:

1. Συλλογή δεδομένων από την εταιρεία / οργανισμό.
2. Εισαγωγή των δεδομένων στη βάση δεδομένων και σύνταξη των διαγραμμάτων αξιολόγησης.

3. Σύνταξη της έκθεσης αξιολόγησης με βάση τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα από τη βάση δεδομένων.
4. Συζήτηση των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης με την εταιρεία / οργανισμό και με εμπειρογνώμονες, προκειμένου να διερευνηθούν νέες λύσεις.
5. Προτάσεις για βελτίωση και εφαρμογή μεθόδων καινοτομίας.



Εικ. 6.6: Διαδικασία συγκριτικής αξιολόγησης.

Πηγή <https://www.indiamart.com/nysainfotech/e-commerce-solutions.html#e-commerce-strategy-design>

6.1.4 Χρόνος ανάληψης

Ο χρόνος ανάληψης μπορεί να οριστεί ως ο μέγιστος χρόνος που επιτρέπεται να παραχθεί ένα προϊόν για να καλυφθεί η ζήτηση. Προέρχεται από τη γερμανική λέξη *taktzeit* που μεταφράζεται σε κύκλο ρολογιού, ρυθμό ή

τέμπο. Συνεπώς, υπάρχει μια λογική για τον καθορισμό του ρυθμού ροής παραγωγής σε αυτόν τον χρόνο λήξης. Η ροή των προϊόντων αναμένεται να πέσει σε ρυθμό μικρότερο ή ίσο με το χρόνο λήξης. Σε ένα περιβάλλον «λιτής» παραγωγής, ο χρόνος ρυθμού είναι ίσος με τον χρόνο λήξης. Εάν έχουμε χρόνο λήξης δύο λεπτών, σημαίνει ότι κάθε δύο λεπτά ένα ολοκληρωμένο προϊόν παράγεται από τη γραμμή. Κάθε δύο ώρες, δύο μέρες ή δύο εβδομάδες, όποιος και αν είναι ο ρυθμός πώλησης, είναι ο χρόνος τακτοποίησης. Χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του ρυθμού παραγωγής ώστε να ταιριάζει με το ρυθμό των πωλήσεων καθορίζοντας το ποσοστό παραγωγής ενός προϊόντος και των υλικών του, με βάση το ποσοστό πωλήσεων(50).

Χρόνος Ανάληψης υπολογίζεται με τη λήψη του διαθέσιμου χρόνου παραγωγής και τη διαίρεσή του με βάση τη ζήτηση του πελάτη όπως φαίνεται παρακάτω:

$$T = \frac{T_a}{T_d} \quad (6.1)$$

Όπου

- T = Χρόνος αναμονής, π.χ. [χρόνος εργασίας μεταξύ δύο διαδοχικών μονάδων]
- T_a = Διαθέσιμος χρόνος εργασίας, π.χ. [χρόνος εργασίας ανά περίοδο]
- T_d = Ζήτηση χρόνου (ζήτηση πελατών), π.χ. [μονάδες που απαιτούνται ανά περίοδο]

Ο διαθέσιμος χρόνος είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε να πραγματοποιηθεί η εργασία. Αυτό αποκλείει τους χρόνους διακοπής και τον αναμενόμενο χρόνο διακοπής (π.χ. προγραμματισμένη συντήρηση, ενημερώσεις ομάδας). Όταν ο όγκος παραγγελιών αυξάνεται ή μειώνεται, ο χρόνος λήξης πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε να συγχρονίζεται η παραγωγή και

η ζήτηση. Για να αποφευχθούν οι σπατάλες, ολόκληρη η ακολουθία παραγωγής θα πρέπει να εκτελεστεί με ακρίβεια στο χρόνο ανάληψης.

6.2 «ΛΙΤΗ» ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

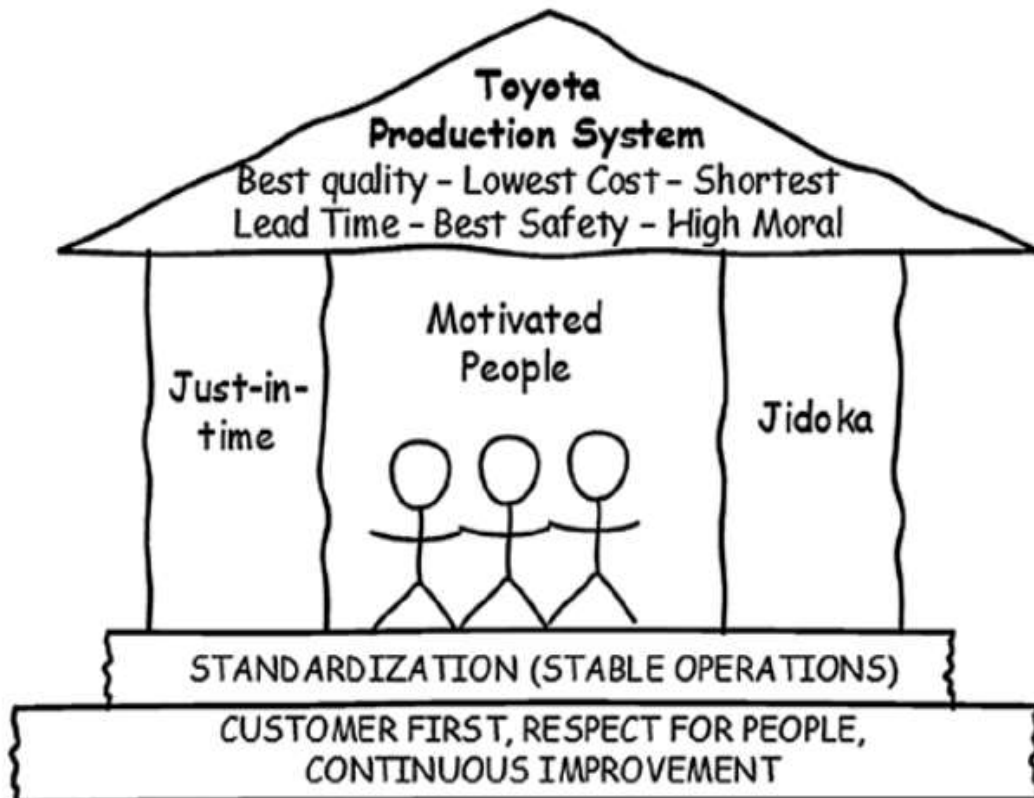
Το Σύστημα Παραγωγής Toyota (TPS), που μερικές φορές ονομάζεται σύστημα «λιτής» βιομηχανίας ή σύστημα Just-in-Time (JIT), είναι ένας τρόπος να πραγματοποιήσουμε διάφορες ενέργειες εφαρμόζοντας τη «λιτή» φιλοσοφία σε μια παγκόσμια εταιρεία με φημισμένο σύστημα παραγωγής.

Το TPS ενσωματώνει όλες τις πτυχές της παραγωγής για την επιδίωξη των πιο αποτελεσματικών μεθόδων. Η TPS έχει εξελιχθεί με πολυετείς δοκιμές και σφάλματα για τη βελτίωση της απόδοσης με βάση την ιδέα Just-in-Time, όπου δημιουργούνται οι ιδανικές συνθήκες για τη δημιουργία των αγαθών όταν μηχανές, εγκαταστάσεις και άνθρωποι συνεργάζονται όπως απαιτείται για να προσδώσουν αξία χωρίς να δημιουργούν απόβλητα (38).

Το σχήμα 6.2 δείχνει την «κατοικία» TPS (39). Η μεταφορά του σπιτιού απεικονίζει όλα τα στοιχεία TPS. Επομένως, για να διατηρηθεί η στέγη, οι δύο πυλώνες (οι στόχοι TPS, jidoka και just-in-time) πρέπει να υποστηριχθούν από μια σταθερή βάση προτύπων και αρχών. Η παρακινηθείσα ομάδα περιβάλλει αυτό το σπίτι και είναι το βασικό στοιχείο για να θέσει σε κίνηση το TPS (40). Αυτές οι αρχές έχουν υιοθετηθεί από διάφορους βιομηχανικούς κλάδους όπως η αεροδιαστημική βιομηχανία, τα καταναλωτικά προϊόντα, η επεξεργασία μετάλλων και τα βιομηχανικά προϊόντα.

Το σπίτι του TPS δείχνει ότι το «λιτό» σύστημα είναι ένα πολύπλοκο κοινωνικό-τεχνικό σύστημα και όχι μόνο ένα σύνολο εργαλείων και τεχνικών με φειδωλή σήμανση. Επομένως, η ύπαρξη ενός πραγματικού συστήματος «λιτής» παραγωγής απαιτεί αλλαγές και προσαρμογές σε διάφορες διαστάσεις: στάση, πρότυπα, εργαλεία, τεχνικές, άτομα κ.τ.λ. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στους δύο βασικούς πυλώνες του TPS: just-in-time και jidoka. Από την εμπειρία μας, οι έννοιες πίσω από αυτούς τους δύο πυλώνες

παραμένουν οι ίδιες ανεξάρτητα από τη διαδικασία ή την περιοχή που πρόκειται να εφαρμοστεί στη «λιτή» φιλοσοφία.



Σχήμα 6.2: Η «κατοικία» TPS

Πηγη: http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/

6.2.1 Just-in-Time

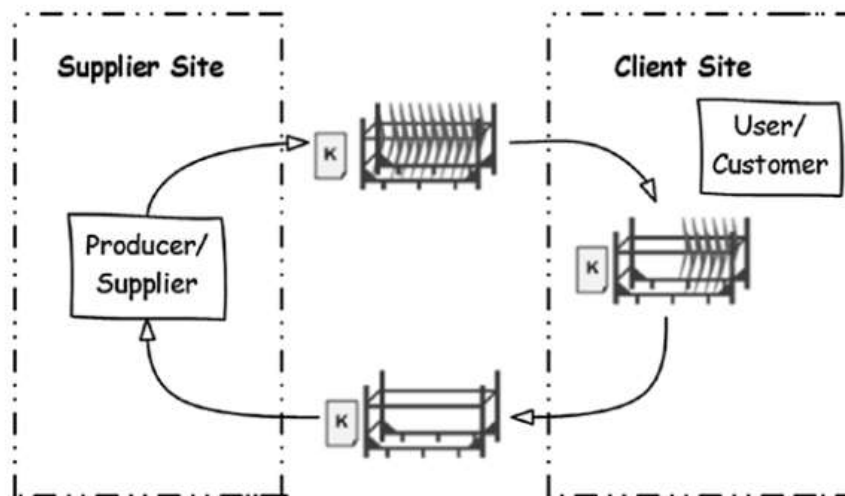
Το Just-in-Time σημαίνει να κάνεις μόνο ό, τι χρειάζεται, όταν χρειάζεται, και στο ποσό που χρειάζεται. Αυτό, μπορεί να εξαλείψει τα απόβλητα, τις

ασυνέπειες και τις παράλογες απαιτήσεις, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της παραγωγικότητας και τη συνεχή ροή.

Προκειμένου να παραδοθεί ένα προϊόν (ένα όχημα, στην περίπτωση της Toyota) που παραγγέλθηκε από τον πελάτη το συντομότερο δυνατό, το προϊόν κατασκευάζεται αποτελεσματικά μέσα στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα ακολουθώντας τα εξής:

- Όταν παραλαμβάνεται παραγγελία προϊόντων, πρέπει να εκδοθεί εντολή παραγωγής στην αρχή της γραμμής παραγωγής το συντομότερο δυνατό.
- Η γραμμή παραγωγής πρέπει να είναι εφοδιασμένη με τον απαιτούμενο αριθμό όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων, έτσι ώστε να μπορεί να συναρμολογηθεί κάθε είδος παραγγελθέντος προϊόντος.
- Η γραμμή παραγωγής πρέπει να αντικαθιστά τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση του ίδιου αριθμού εξαρτημάτων από τη διαδικασία παραγωγής των μερών (της προηγούμενης διαδικασίας).
- Η προηγούμενη διαδικασία πρέπει να είναι εφοδιασμένη με μικρούς αριθμούς όλων των τύπων εξαρτημάτων και να παράγει μόνο τον αριθμό των τμημάτων που ανακτήθηκαν από έναν χειριστή από την επόμενη διαδικασία.

Όποια και αν είναι τα βήματα της παραγωγικής διαδικασίας, η λογική παραμένει η ίδια - η επόμενη διαδικασία παραλαμβάνει αυτό που χρειάζεται από τη προηγούμενη. Στο TPS χρησιμοποιείται ένα σύστημα kanban για τον έλεγχο της ροής. Το σύστημα kanban έχει επίσης ονομάσει τη μέθοδο Supermarket δεδομένου ότι εμπνέεται από τις κάρτες ελέγχου προϊόντων που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα καταστήματα. Αυτές οι κάρτες συνήθως περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το προϊόν, όπως το όνομα, τον κωδικό και τη θέση αποθήκευσης του προϊόντος. Στην Toyota, όταν μια διαδικασία αναφέρεται σε μια προηγούμενη διαδικασία για την ανάκτηση εξαρτημάτων, χρησιμοποιεί ένα kanban για να γνωστοποιήσει ποια μέρη έχουν χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 6.3: Εννοιολογικό διάγραμμα του συστήματος Kanban

Πηγή: . Cleveland J (2006) Toyota's other system -this one for product development

Με την επόμενη διαδικασία (ο πελάτης) προχωράει στην προηγούμενη διαδικασία (το σούπερ μάρκετ) για να ανακτήσει τα απαραίτητα εξαρτήματα όταν αυτά είναι απαραίτητα και στην απαιτούμενη ποσότητα. Με αυτό τον τρόπο, είναι δυνατή η βελτίωση του υφιστάμενου αναποτελεσματικού συστήματος παραγωγής. Δεν θα πραγματοποιώντουσαν πλέον οι προηγούμενες διαδικασίες που δημιουργούν παραπάνω μέρη από αυτά που χρειάζονται και τα παραδίδουν στην επόμενη διαδικασία (Σχ. 6.3).

Ο just-in-time πυλώνας ενεργεί για να εξασφαλίσει μια αποτελεσματική και ευέλικτη διαδικασία και να μειώσει το «νεκρό» χρόνο των διαδικασιών, την εργασία σε εξέλιξη και την απογραφή. Σε αυτό το είδος διαδικασίας, τα «απόβλητα» είναι πιο εύκολα αντιληπτά και οι βελτιώσεις είναι ευκολότερες στην εφαρμογή τους.

6.2.2 Jidoka

Για να λειτουργεί το σύστημα Just-in-Time, όλα τα μέρη που κατασκευάζονται και παρέχονται πρέπει να πληρούν προκαθορισμένα πρότυπα ποιότητας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του jidoka. Ο στόχος του jidoka είναι να γίνει η διαδικασία σωστά από την πρώτη κιόλας φορά.

Το Jidoka μπορεί να μεταφραστεί ελεύθερα ως "αυτοματοποίηση με ανθρώπινη αφή", πράγμα που σημαίνει ότι όταν παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα, ο εξοπλισμός πρέπει να σταματήσει αμέσως, αποτρέποντας την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων:

- Μια μηχανή σταματά με ασφάλεια όταν ολοκληρωθεί η κανονική επεξεργασία.
- Σε περίπτωση προβλήματος ποιότητας / εξοπλισμού, το μηχάνημα ανιχνεύει το πρόβλημα μόνο του και σταματά, αποτρέποντας την παραγωγή ελαττωματικών προϊόντων.
- Αυτό αντιτίθεται σε μια μηχανή που κινείται απλά κάτω από την παρακολούθηση και εποπτεία ενός χειριστή.

Σαν αποτέλεσμα:

- Μόνο τα προϊόντα που πληρούν τα πρότυπα ποιότητας μεταφέρονται στις ακόλουθες διαδικασίες στη γραμμή παραγωγής.
- Οι χειριστές μπορούν με βεβαιότητα να συνεχίσουν να εργάζονται σε άλλο μηχάνημα και να εργαστούν για να εντοπίσουν την αιτία του προβλήματος για να αποτρέψουν την επανάληψή του.

Το Jidoka υποστηρίζει την όραση της γραμμής παραγωγής χωρίς ελαττώματα. Κατά συνέπεια, τα ελαττώματα δεν είναι ανεκτά και κάθε φορά που εντοπίζεται ένα ελάττωμα, η διαδικασία θα πρέπει να εγγυάται ότι δεν παράγονται ελαττωματικά μέρη μέχρι να εντοπιστεί και να λυθεί το πρόβλημα του προβλήματος.

6.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ «ΛΙΤΗΣ» ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στην Διαδικασία Ανάπτυξης Προϊόντος (PDP), η «λιτή» σκέψη υπερβαίνει τη συστηματική μείωση των αποβλήτων και την εφαρμογή τεχνικών «λιτής» κατασκευής στην ανάπτυξη προϊόντων. Για να επιτραπεί η Ανάπτυξη προϊόντων Lean παραγωγής, το σχέδιο του έργου πρέπει να επιτρέπει τη δημιουργία αξίας και ταυτόχρονα να προβλέπει τη μείωση των αποβλήτων.

Στην PD, η προσθήκη της αξίας του πελάτη μπορεί να είναι λιγότερο εν συναρτήσει της διεξαγωγής των σωστών δραστηριοτήτων (ή της μη ορθής εκτέλεσης) παρά της απόκτησης των σωστών πληροφοριών στο σωστό μέρος την κατάλληλη στιγμή. Ως εκ τούτου, η εστίαση του Lean δεν πρέπει να περιορίζεται στη δραστηριότητα "λιποαναρρόφηση" (μείωση των αποβλήτων), αλλά πρέπει να αντιμετωπίζει τη διαδικασία PD ως ένα σύστημα (δημιουργία αξίας). Προκειμένου να διασφαλιστεί η δημιουργία αξίας και να δημιουργηθούν τα αναγκαία μέτρα αντιμετώπισης των αποβλήτων, προσαρμόσαμε τις πέντε αρχικές αρχές που πρότειναν αρχικά οι Womack και Jones(33) στο πλαίσιο του PD:

Προσδιορισμός της αξίας: Σε ένα πρόγραμμα ή ένα έργο, η αξία είναι ο λόγος ύπαρξης της ομάδας του έργου, που σημαίνει ότι πρέπει να κατανοούν όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά προϊόντος/υπηρεσίας σχετικά με την αξία που όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς του προγράμματος αναμένουν να λάβουν κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Προσδιορισμός της ροής αξιών: Κατά συνέπεια, η Διαδικασία Ανάπτυξης Προϊόντος πρέπει να είναι απλή, επισημαίνοντας τις βασικές ημερομηνίες και ευθύνες και καθορίζοντας τις βελτιστοποιημένες ροές πληροφοριών (τι, πότε, αποστολέας, δέκτης και μέσα) προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική κυκλοφορία δεδομένων και να προωθηθεί η αποτελεσματική επικοινωνία.

Εγγύηση της ροής: Η ιδανική διαδικασία PD θα πρέπει να λειτουργεί σύμφωνα με τη ροή ενός κομματιού στην κατασκευή, που αντιπροσωπεύει μια ροή αξίας από τη σύλληψη μιας ιδέας έως την παραγωγή, χωρίς στάσεις λόγω γραφειοκρατίας και για τη διόρθωση λαθών. Κάθε εμπόδιο ροής ανάπτυξης (λειτουργικά τμήματα, συνεδριάσεις εκτελεστικών πυλών, πυρόσβεση, μεταβαλλόμενες απαιτήσεις, παρεμβάσεις διαχείρισης κ.λπ.) πρέπει να εξαλειφθεί.

Αύξηση της αξίας: Αντί να ασκηθεί πίεση στις προγραμματισμένες δραστηριότητες, οι οποίες ωθούν τις πληροφορίες και τα υλικά μέσω της διαδικασίας ανάπτυξης, πρέπει να ορισθούν τα γεγονότα «έλξης» (pull events). Διαφορετικές από τις πύλες, όπου δημιουργούνται οι παρτίδες πληροφοριών, τα γεγονότα έλξης εγγυώνται τη ροή των τιμών, καθιστούν τα προβλήματα ποιότητας ορατά και δημιουργούν γνώση και εμπειρία.

Επιδίωξη της τελειότητας: Η συνεχής βελτίωση της αναπτυξιακής διαδικασίας επιτυγχάνεται με την ικανότητα της αποτελεσματικής διαχείρισης της γνώσης. Αυτή η γνώση συστηματικά τεκμηριώνεται και διαδίδεται μέσω των καμπυλών του εμπορίου, τις οποίες ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση και που αναμένεται να χρησιμοποιήσει, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης. Η αδυσώπητη συνεχής βελτίωση είναι ο κινητήρας που διατηρεί και εξελίσσει τη «λιτή» φιλοσοφία.

Η «λιτή» ανάπτυξη, αν και με την πρώτη ματιά μοιάζει πολύ με μια ολοκληρωμένη ανάπτυξη προϊόντων, καθώς περιλαμβάνει τις ίδιες πρακτικές, προτείνει μια πιο οργανική εικόνα της διαδικασίας. Με αυτό τον τρόπο, η ροή της αξίας διατηρείται από δύο πυλώνες, με βάση τη μείωση των αποβλήτων και τη δημιουργία αξίας (αποτελεσματικότητα: κάνουμε τη σωστή δουλειά).

Αυτό το όραμα πρέπει να επιτευχθεί μέσω της μέγιστης απλούστευσης της διαδικασίας (κατάργηση των δραστηριοτήτων που δεν προσθέτουν αξία) και επιβολή των δραστηριοτήτων των πρωτοτύπων και των δοκιμών. Η ιδέα είναι να μεγιστοποιηθεί ο πειραματισμός και η μάθηση. Ο υπεύθυνος έργου ανάπτυξης πρέπει να αναλάβει ρόλους πέρα από το συντονισμό και την υποκίνηση, αναμένεται να προπονηθεί στους μηχανικούς και στους τεχνικούς υπό την εποπτεία του, σε μια συνεχή αναζήτηση καινοτομίας. Σε αυτό το σημείο, ενδιαφέρεται για την ενίσχυση της οργανωτικής μάθησης και της διαχείρισης της γνώσης.

6.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ «ΛΙΤΗΣ» ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα στοιχεία του τροχού και των ελαστικών από το "Σύστημα Lean Wheel" (Εικ. 6.7) περιλαμβάνουν τις βασικές πτυχές του συστήματος «λιτής» παραγωγής:



Εικ. 6.7: Στοιχεία συστήματος «λιτού» τροχού

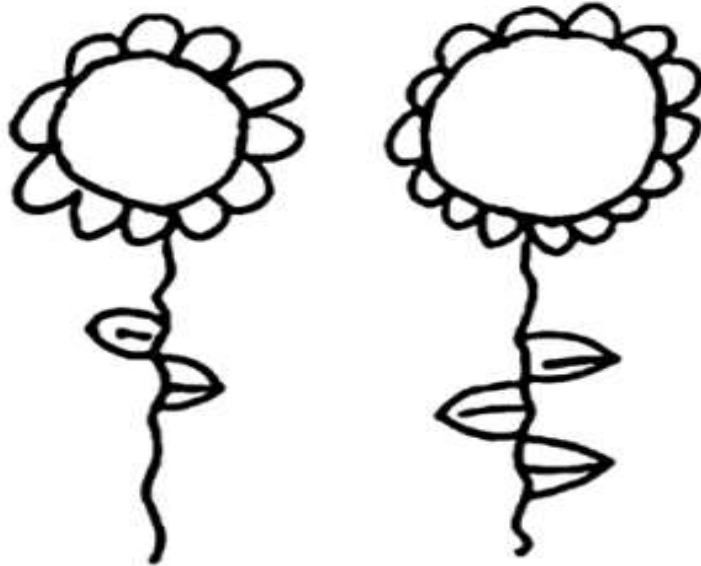
Πηγή: Rother M (2010) Toyota Kata: managing people for improvement, adaptiveness and superior results. McGraw-Hill, New York

- **Πολιτισμός:** Ο πολιτισμός εγγυάται τη δημιουργία και τη διατήρηση του οργανωτικού περιβάλλοντος. Δίνει τον απαραίτητο "κώδικα δεοντολογίας" στους ανθρώπους που εκτελούν το «λιτό» σύστημα παραγωγής
- **Διαχείριση γνώσης:** Για να συνεχίσει να κινείται προς τα εμπρός, η εταιρεία πρέπει να είναι και εκπαιδευτικός οργανισμός. Η αποτυχία να μάθει μπορεί να οδηγήσει στην επανάληψη των ίδιων λαθών και την επανεμφάνιση τους, φέρνοντας έτσι αρνητικά αποτελέσματα.
- **Οργανωτική δομή:** Η ιεραρχική δομή καθορίζει την εταιρία και τους ρόλους των ανθρώπινου δυναμικού που απαιτούνται για την εκτέλεση της «λιτής» παραγωγής.
- **Υποσύστημα Εργαλείων και Τεχνολογίας:** Περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία και τεχνολογίες που χρησιμοποιεί ο οργανισμός ανάπτυξης, όπως τα συστήματα CAD (Computer Aided Design), τη ψηφιακή κατασκευή και τις τεχνολογίες δοκιμών.
- **Διαδικασία «λιτής» παραγωγής:** Η διαδικασία περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που απαιτούνται για να φέρει το προϊόν από την ιδέα στην παραγωγή, περνώντας μέσα από το σύνολο της ροής της αξίας. Επικεντρώνεται τόσο στην αναγνώριση της αξίας όσο και στην εξασφάλιση της ροής και της εμφάνισης του τελικού προϊόντος.

6.5 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΒΟΛΗ

Πολλοί άνθρωποι σε διάφορες επιχειρήσεις δεν καταφέρνουν να εφαρμόσουν την «λιτή» φιλοσοφία. Το γεγονός αυτό δεν περιορίζεται στην ανάπτυξη «λιτών» προϊόντων, αλλά συμβαίνει σε οποιαδήποτε προσπάθεια βελτίωσης της διαδικασίας. Χάνονται επειδή εργάζονται σκληρά για να

κατανοήσουν πώς λειτουργεί η Toyota και αρχίζουν να πιστεύουν ότι η ύπαρξη οποιοδήποτε τέτοιας φιλοσοφίας αντιγράφει την Toyota (Εικ. 6.8).



Εικ. 6.8: Τα δύο λουλούδια δεν είναι ίδια, παρότι είναι και τα δύο λουλούδια

Αυτό βέβαια είναι μία λανθασμένη αντίληψη. Προκειμένου να υιοθετηθεί η Lean Philosophy, πρέπει κανείς να καταλάβει τις ρίζες της και να προσαρμοστεί. Μελετώντας την Toyota ο κάθε καταρτισμένος με την παραγωγή άνθρωπος μπορεί να μάθει πώς έχουν δημιουργήσει/προσαρμόσει τα εργαλεία, τις τεχνικές και να επεξεργαστούν την πραγματικότητά τους, προκειμένου να εφαρμόσουν τη φιλοσοφία. Κάθε φορά που βλέπετε μια επιτυχημένη προσέγγιση που εκτελείται από οποιαδήποτε εταιρεία, πρέπει να ρωτήσετε τι επιτυγχάνουν και γιατί δούλεψαν με αυτόν τον τρόπο.

Η «λιτή» φιλοσοφία έχει τις ρίζες της στη μεταπολεμική Ιαπωνία. Εκείνη την εποχή ο δυτικός τρόπος σχεδιασμού, ανάπτυξης και παραγωγής αυτοκινήτων αποτελούσαν τις βέλτιστες πρακτικές που έπρεπε να αντιγραφούν. Οι διαχειριστές της Toyota κατάλαβαν πως η εταιρία, ο πολιτισμός και η χώρα τους διέφεραν από το δυτικό σημείο αναφοράς. Μελέτησαν λοιπόν και αξιοποίησαν θετικά αυτές τις διαφορές. Ένας καλός

τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να εφαρμοστεί η μέθοδος σχεδιασμού και εξέλιξης του «λιτού» προϊόντος που παρουσιάζεται σε αυτή την πτυχιακή, καθώς η διαδικασία ανάπτυξης του προϊόντος σας (ή οποιαδήποτε διαδικασία που θέλετε να βελτιώσετε) ως το "προϊόν" που θα σχεδιαστεί και αναπτυχθεί.

Πίνακας 6.1: Βασικά στοιχεία του LPDS («λιτή» παραγωγή προϊόντων)

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ	<ul style="list-style-type: none"> Υποστήριξη της αριστείας και της αμείωτης βελτίωσης
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΓΝΩΣΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> Προσαρμογή της τεχνολογίας ώστε να ταιριάζει στους ανθρώπους της εταιρίας και στη διαδικασία Ευθυγραμμίστε τον οργανισμό σας μέσω απλής, οπτικής επικοινωνίας <ul style="list-style-type: none"> Για κάθε εναλλακτική λύση συλλέγονται τυποποιημένα δεδομένα απόδοσης Χρησιμοποίηση ισχυρών εργαλείων για την τυποποίηση και την οργανωτική μάθηση Οι μηχανικοί πρέπει να γνωρίζουν τις λύσεις για τα προβλήματα της παραγωγής Χρησιμοποιούνται λεπτομερείς λίστες ελέγχου και πρότυπα σχεδιασμού. Έτσι εξασφαλίζεται η εστίαση στην απόδοση του προϊόντος
ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΔΟΜΗ	<ul style="list-style-type: none"> Πλήρης ένταξη των προμηθευτών στο σύστημα ανάπτυξης προϊόντων Βελτίωση της μάθησης και συνεχής βελτίωση Οι διευθυντές είναι οι τεχνικά ικανότεροι στη μηχανική: "Ο προϊστάμενός σας μπορεί να κάνει πάντα τη δουλειά σας καλύτερα από εσάς"

	<ul style="list-style-type: none"> • Ο πρωταρχικός ρόλος του διαχειριστή είναι να διδάσκει αναθέτοντας ερωτήσεις (καθοδήγηση) • Η αρχή και η ανταμοιβή στο σύστημα απορρέει από τεχνικές γνώσεις και ικανότητες • Ανάπτυξη ενός συστήματος με βάση την αξία για την ενσωμάτωση της ανάπτυξης από την αρχή μέχρι το τέλος
	<ul style="list-style-type: none"> • Οργανώστε την ισορροπία μεταξύ της λειτουργικής εμπειρογνωμοσύνης και της διαλειτουργικής ολοκλήρωσης
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν πρέπει να υπάρχουν περίπλοκα υποπρογράμματα. Ο επικεφαλής μηχανικός πρέπει να θέτει τα "βασικά γεγονότα που πρέπει να ολοκληρώνονται"
	<ul style="list-style-type: none"> • Εργασία πάνω σε αυτά τα γεγονότα
	<ul style="list-style-type: none"> • Τα ορόσημα δεν χάνονται ποτέ
	<ul style="list-style-type: none"> • Για κάθε υποσύστημα αναπτύσσονται πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις
	<ul style="list-style-type: none"> • Συνδυασμοί που ικανοποιούν τις συμφωνίες απόδοσης "επιβιώνουν"
	<ul style="list-style-type: none"> • Καθορισμός της τιμής που ορίζει ο πελάτης για να διαχωριστεί η προστιθέμενη αξία από τα «απόβλητα»
	<ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργία μίας ροής διεργασιών ανάπτυξης ισορροπημένου προϊόντος
	<ul style="list-style-type: none"> • Χρησιμοποίηση αυστηρής τυποποίησης για τη μείωση των διακυμάνσεων. Έτσι δημιουργείται ευελιξία και προβλέψιμα αποτελέσματα
ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	<ul style="list-style-type: none"> • Τα εργαλεία και οι τεχνικές κάνουν μια επιχείρηση να λειτουργεί «λιτά». Ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα εργαλεία είναι αυτό που τα καθιστά «λιτά»

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η SMED αποτελεί συστηματική μεθοδολογία για τη μείωση του χρόνου αλλαγής. Μια θεμελιώδης και συχνά προκλητική πτυχή για τη μείωση του χρόνου εγκατάστασης είναι η μετατροπή των καθηκόντων εσωτερικής ρύθμισης σε εξωτερικό, καθώς είναι ο μόνος τρόπος για να μειωθεί πραγματικά ολόκληρη η μετάβαση σε ένα «ενιαίο λεπτό». Μια συστηματική, σαφής και αόριστη ανάλυση του συστήματος παραγωγής σε μια προοπτική μετάβασης θα ήταν μια κρίσιμη δραστηριότητα προκειμένου να βελτιωθεί η εξωτερική ανάθεση των δραστηριοτήτων με τον προσδιορισμό της σωστής στρατηγικής εξωτερικής ανάθεσης για τα σωστά στοιχεία του συστήματος.

Η φυσική του εξέλιξη, η «λιτή σκέψη», μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια και την ποιότητα, να βελτιώσει το ηθικό του προσωπικού και να μειώσει το κόστος - όλα ταυτόχρονα. Με την απελευθέρωση του ανθρώπινου δυναμικού μπορεί να προσθέσει αξία στην περίθαλψη των ασθενών και να βελτιώσει την ποιότητα και να δημιουργήσει έναν ενάρετο κύκλο και όχι να διαιωνίσει τους φαύλους.

Η μεθοδολογία SMED δεν μπορεί να συμβεί μόνο από μόνη της. Χρειάζεται ηγεσία και ηγέτες. Οι άνθρωποι που επιθυμούν και μπορούν να συγκεντρώσουν συναδέλφους γύρω τους, να μάθουν πώς να το κάνουν και να κερδίσουν τη στήριξη της ανώτερης διοίκησης μπορούν να την εφαρμόσουν. Χρειάζεται διευθυντικά στελέχη με το όραμα να δώσουν την άδεια στο προσωπικό για τέτοιου είδους πειραματισμό.

Στο χώρο που βρέθηκα προσωπικά, το εργοστάσιο παραγωγής, έμαθα πολλά σημαντικά πράγματα πάνω στη μεθοδολογία SMED, πράγματα τα οποία είδα να εφαρμόζονται και σε πραγματικό χρόνο. Το χρονικό κέρδος μέσω αυτών των ενεργειών ήταν αρκετά μεγάλο, δίνοντας την ικανοποίηση στα διοικητικά μέλη της επιχείρησης, αλλά και σε έμένα, που συνέβαλα όσο μπορούσα σε αυτό το εγχείρημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Moxham C. and Greatbanks R., Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study in a textile processing environment, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2001; 18 (4); 404-414.
2. Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Cambridge, MA: Productivity Press.
3. BernaUlutas, An application of SMED Methodology, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2011; 79;100-103
4. Rubrich L, and Watson M, *Implementing world class manufacturing*, Fort Wayne, IN: WCM Associates; 2004.
5. Marchwinski C, and Shook J, *Lean lexicon: A graphical glossary for lean thinkers*, Brookline, MA: Lean Enterprise Institute; 2003.
6. Krajewski L and Ritzman L, *Operations management: Processes and value chains*, Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc; 2007.
7. McIntosh, R., Owen, G., Culley, S., & Mileham, T. (2007). Changeover improvement: Reinterpreting Shingo's "SMED" methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54, 98–111.
8. Kumaresan, K. S., & Saman, M. Z. M. (2011). Integration of SMED and Triz in improving productivity at semiconductor industry. *Jurnal Mekanikal*, 33, 40–55.
9. Rivera, L., & Chen, F. F. (2007). Measuring the impact of lean tools on the cost–time investment of a product using cost–time profiles. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 23, 684–689
10. Moreira, A. C., & Pais, G. C. S. (2010). Single minute exchange of die. A case study implementation. *Journal of Technology Management & Innovation*, 6(1), 129– 146.

11. Kušar, J., Berlec, T., Zefran, F., & Starbek, M. (2010). Reduction of machine setup time. *Journal of Mechanical Engineering*, 56(12), 833–845.
12. Abraham, A., Ganapathi, K. N., & Kailash Motwani, K. (2012). Setup time reduction through SMED technique in a stamping production line. *SAS TECH Journal*, 2(11), 47–52.
13. Kumar, B. S., & Abuthakeer, S. S. (2012). Implementation of lean tools and techniques in an automotive industry. *Journal of Applied Sciences*, 12(10), 1032–1037
14. Trovinger, S. C., & Bohn, R. E. (2005). Setup time reduction for electronics assembly: Combining simple (SMED) and IT-based methods. *Production and Operations Management*, 14(2), 1–14.
15. Van Goubergen, D., & Van Landeghem, D. (2002). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 18, 205–214.
16. M.A. Almomani et al. / *Computers & Industrial Engineering* 66 (2013) 461–469
17. Yu, Vincent. F., & Hu, Kuo.-Jen. (2010). An integrated fuzzy multi-criteria approach for the performance evaluation of multiple manufacturing plants. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 269–277.
18. Dalalah, D., AL-Oqla, F., & Hayajneh, M. (2010). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of cranes. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4(5), 567–578
19. Al-Hawari, T., Al-Bo'ola, S., & Momani, A. (2011). Selection of temperature measuring sensors using the analytic hierarchy process. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 5(5), 451–459
20. Chang, Che-Wei, Wu, Cheng-Ru, Lin, Chin-Tsai, & Chen, Huang-Chu (2007). An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers & Industrial Engineering*, 52, 296–307
21. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operation Research*, 48, 9–26.

22. Maniya, K., & Bhatt, M. G. (2010). A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method. *Materials and Design*, 31, 1785–1789.
23. Maniya, K. D., & Bhatt, M. G. (2011). An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selection problems. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 542–549.
24. Attri, R., & Grover, S. (2013). Application of preference selection index method for decision making over the design stage of production system life cycle. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2013.06.003>.
25. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
26. Shanian, A., & Savadogo, O. (2006). TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources*, 159, 1095–1104.
27. Khorshidi, R., Hassani, A., HonarbakhshRauof, A., & Emamy, M. (2013). Selection of an optimal refinement condition to achieve maximum tensile properties of Al– 15%Mg₂Si composite based on TOPSIS method. *Materials and Design*, 46, 442–450.
28. Dagdeviren, M., Yavuz, S., & Kılınc, N. (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36, 8143–8151.
29. Baky, I. A., & Abo-Sinna, M. A. (2013). TOPSIS for bi-level MODM problems. *Applied Mathematical Modelling*, 37, 1004–1015
30. Salomon, V. A. P., & Montevechi, J. A. B. (2001). A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: Some cases developed in Brazil. In *Proceedings of the 6th ISAHP*, August 2–4, Berne, Switzerland.
31. Shanian, A., & Savadogo, O. (2006). TOPSIS multiple-criteria decision support analysis for material selection of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell. *Journal of Power Sources*, 159, 1095–1104
32. Womack JP, Jones DT, Ross D (1990) *The machine that changed the world*. Rawson Associates, New York

33. Womack JP, Jones DT (2003) Lean thinking. Free Press, New York
34. Pessôa MVP (2006) Proposta de um método paraplano de desenvolvimento enxuto de produtos de engenharia (Doctorate Thesis) Instituto Tecnológico de Aeronáutica: São José dos Campos
35. Morgan JM, Liker JK (2006) The Toyota product development system. Productivity Press, New York
36. Pessôa MVP, Seering, W, Rebentisch E, Bauch C (2009) Understanding the waste net: a method for waste elimination prioritization in product development. In: Chou S et al. (Org.) Global perspective for competitive enterprise, economy and ecology. Springer-Verlag, London, pp 233–242
37. Pessôa, MVP, Seering W (2014) Trapped on the waste net: a method for identifying and prioritizing the causes of a corporation's low product development performance. In: Marjanovic D et al (ed) Proceedings of the design 2014 conference, vol 3. The Design Society, Glasgow, pp 1641–1650
38. Rother M (2010) Toyota Kata: managing people for improvement, adaptiveness and superior results. McGraw-Hill, New York
39. Liker JK (2004) The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill, New York
40. www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/
41. Cleveland J (2006) Toyota's other system -this one for product development. Automot Des Prod 118(2):18–22
42. Gersten, F. (ed), and Riis, Jens O. (ed)., (2002). Continuous Improvement and Innovation. Bradford, GBR: Emerald Group Publishing Ltd. pp. 41.
43. Heizer, J., and Render, B. (2000), Principles of Operations Management 4th Edition. Pearson College Div. ISBN-10: 0130271470. pp. 336-420.
44. Kumar, S. A., Suresh, N. (2008). Production and Operations Management. Daryaganj, Delhi, India: New Age International, pp. 217-220.

45. Liker, J. (2003). *Toyota Way*. Blacklick, OH, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, pp. 28-33.
46. Lucy Daly, M.B. and Towers, N. *Lean or Agile: A Solution for Supply Chain Management in the Textile and Clothing Industry*. *International Journal of Operations & Production Management* Vol. 24 No. 2, 2004, pp. 151-170.
47. Mid-America Manufacturing Technology Center, 'Lean Manufacturing Utilizes Multiple Tools to Help Companies Improve Performance Objectives', *The Manufacturer's Edge*. (Winter 2000), pp 1-2
48. Wilson, L. (2009). *How to Implement Lean Manufacturing*. New York: McGraw-Hill Professional Publishing. pp. 29- 214.
49. Womack, J.P., Jones, D.T. and Ross, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Canada: MacmillanPublishingCompany.
50. Roy, R. N. (2005). *Modern Approach to Operations Management*. Daryaganj, Delhi, India: New Age International. pp. 170-174.