



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**

Διπλωματική Εργασία  
Αντωνίου Ιωάννου Δρίτσα

Μελέτη Συστημάτων  
Διαχείρισης Υλικών

Επιβλέπων: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής  
Τομέας Οργάνωσης Παραγωγής & Βιομηχανικής Διοίκησης

Βόλος  
Ιούνιος 2000



αρ. εισ. 205 / 2000 ΠΑ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 1530/1  
Ημερ. Εισ.: 17-07-2000  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ  
2000  
ΔΡΙ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000062105

# Πίνακας Περιεχομένων

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

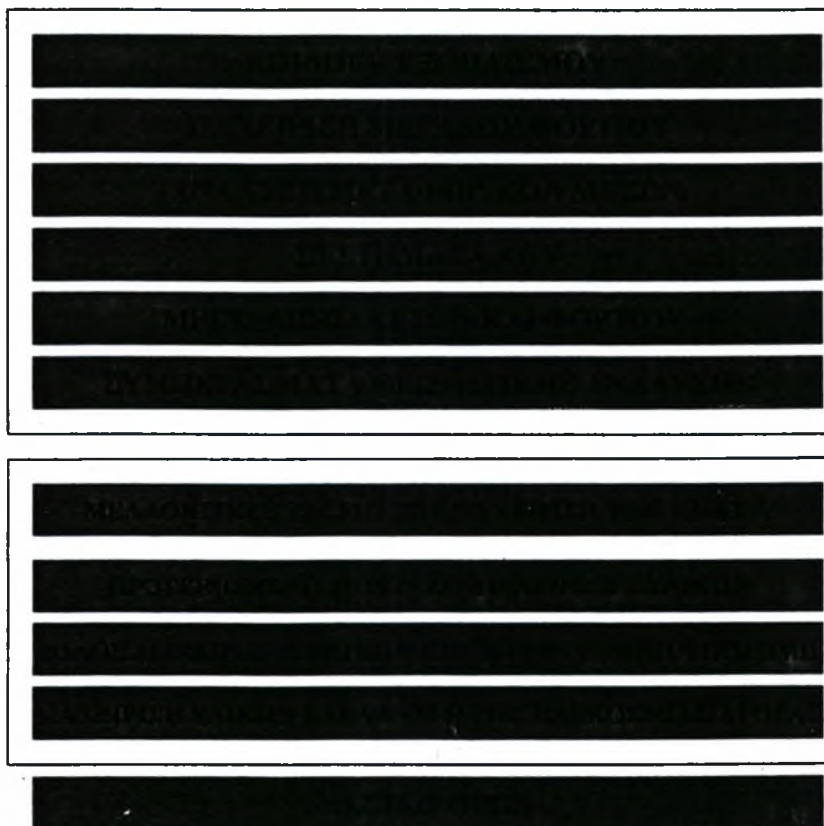
<b>1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>1</b>
<b>2. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	<b>6</b>
2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Διαχείρισης Υλικών	11
2.2 Βασικοί Τύποι Εξοπλισμού	11
2.3 Αρχές Διαχείρισης Υλικών	17
<b>3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ</b>	<b>20</b>
3.1 Παράδειγμα Σταθερού & Μεταβλητού Κόστους Εξοπλισμού	21
3.2 Παράδειγμα Επιλογής Μίγματος Εξοπλισμού	24
3.3 Επίλυση Προβλήματος Εξοπλισμού με Ευρετική Μέθοδο	27
3.4 Επίλυση Προβλήματος Εξοπλισμού με Ευρετική Μέθοδο - Προσθήκη Περιορισμών	28
3.5 Πρακτικοί Περιορισμοί	29
<b>4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ</b>	<b>31</b>
4.1 Παράδειγμα Φαινομένων Αναμονής	32
<b>5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ</b>	<b>34</b>
5.1 Μεταφορικά Κλειστού Βρόχου	35
5.2 Παράδειγμα Μεταφορικού Κλειστού Βρόχου	36
5.3 Συνθήκες Μπλοκαρίσματος	37
5.4 Προσδιορισμός Δυναμικότητας Δοχείων	38
5.5 Παράδειγμα Διαχείρισης Μπλοκαρισμάτων Μεταφορικού	39
<b>6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ AGV</b>	<b>41</b>
6.1 Σχεδιασμός Συστημάτων AGV	44
6.1.1 Κανόνες Σχεδιασμού Διαδρομής	45
6.1.2 Παράδειγμα Σχεδιασμού Συστήματος AGV	46
6.1.3 Προσεγγίσεις Προσδιορισμού Σημείων Δικτύου	48
6.2 Εκτίμηση Απαιτήσεων Οχημάτων	49
6.2.1 Παράδειγμα Υπολογισμού Χρόνων AGV	50
6.2.2 Άλλες Κατηγορίες Προβλημάτων Απαιτήσεως Οχημάτων	52
6.3 Λειτουργίες AGV	53

6.3.1 Στατική Ροή	53
6.3.2 Δυναμική Ροή	54
<b>7. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΑΛΕΤΩΝ &amp; ΦΟΡΤΟΥ</b>	<b>57</b>
<b>8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</b>	<b>59</b>
<b>9. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</b>	<b>62</b>
9.1 Αξιοπιστία	63
9.2 Απόλυτη Συνεργασία των Συστημάτων	64
9.3 Ευελιξία και Διακριτή Λειτουργία Συστημάτων (Modularity)	65
9.4 Ανανεωσιμότητα	66
9.5 Ευκολία Χρήσης	66
9.6 Αυτοματοποιημένη Αναγνώριση	67
9.7 Ευκολία Συντήρησης	68
9.8 Συμπεράσματα	68
<b>10. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ</b>	<b>71</b>
10.1 Το Προτεινόμενο Μοντέλο	72
10.2 Προϋποθέσεις Υιοθέτησης Μοντέλου	76
10.3 Αναμενόμενα Οφέλη Εφαρμογής Μοντέλου	78
<b>11. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ</b>	<b>81</b>
11.1 Μελέτη Περίπτωσης I – Επίλυση Λάθος Προβλήματος	85
11.2 Μελέτη Περίπτωσης II – Αυτοματοποίηση Χωρίς Αντίκρισμα	86
11.3 Μελέτη Περίπτωσης III – Ξεκαθαρισμένες Προτεραιότητες	88
11.4 Συμπεράσματα	90
<b>12. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ</b>	<b>91</b>
12.1 Διατύπωση του Προβλήματος	93
12.2 Λύση του Προβλήματος	93
12.3 Πρακτικά Παραδείγματα	95
<b>13. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>98</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>101</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ</b>	<b>103</b>

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ**  
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η διαχείριση υλικών, γνωστή στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία ως material handling ή material management είναι ένας αρκετά ενδιαφέρων τομέας που συχνά αποδίδεται με τον ελληνικό όρο ‘Συστήματα Εφοδιασμού’ ή [Εφοδιαστική] (logistics). Παρά το γεγονός ότι η διαχείριση των υλικών στην παραγωγή εμφανίζεται εδώ και πάρα πολλά χρόνια, ελάχιστο είναι το ελληνικό επιστημονικό υλικό που αναφέρεται σε αυτήν. Είναι γεγονός ότι η επίλυση προβλημάτων στην καθημερινή εργασία πραγματοποιείται με πρακτικές μεθόδους, ενώ σπάνια χρησιμοποιούνται επιστημονικές προσεγγίσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο μία αρχική ανάλυση σε θεωρητικό επίπεδο και σε επόμενο επίπεδο την καταγραφή επιστημονικών μεθοδολογιών για την αντιμετώπιση προβλημάτων που απασχολούν την επιχείρηση στην πράξη. Με βάση τις υπάρχουσες μεθοδολογίες, στο δεύτερο τμήμα της εργασίας θα επιχειρηθεί να διερευνηθεί ποιες ακριβώς προσεγγίσεις εφαρμόζονται στη διεθνή πρακτική μέσα από τη μελέτη άρθρων και μελετών περιπτώσεων (case studies). Η δομή που ακολουθήθηκε παριστάνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 1.1 Δομή Διπλωματικής Εργασίας**

Όσον αφορά το πρώτο τμήμα, περιλαμβάνονται πέντε βασικές ενότητες (που ακολουθούν τα βασικά εισαγωγικά στοιχεία της διαχείρισης υλικών και που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2). Οι ενότητες αυτές ασχολούνται με τα παρακάτω ζητήματα:

- **Επιλογή εξοπλισμού:** Πρόκειται για περιπτώσεις όπου η διαχείριση των υλικών στην επιχείρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς εναλλακτικούς τρόπους, οπότε τίθεται το ζήτημα απόφασης του μίγματος εξοπλισμού που θα επιλεγεί ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος, να μειωθεί ο χρόνος και να εξυπηρετηθεί ικανοποιητικότερα το σύστημα.
- **Διαχείριση μεγάλου φορτίου:** Αναφέρεται σε περιπτώσεις όπου αρκετά υλικά συσσωρεύονται σε συγκεκριμένα σημεία δημιουργώντας ουρές αναμονής. Πρόκειται για την επίλυση κλασικών προβλημάτων ουράς αναμονής που μπορούν να αντιμετωπιστούν με αναλυτικές μεθόδους Επιχειρησιακής Έρευνας ή με την διεξαγωγή προσομοίωσης.
- **Ανάλυση μεταφορικών μέσων (κυρίως ταινιών):** Στην περίπτωση αυτή τίθενται ζητήματα σωστής λειτουργίας, δυναμικότητας και σχεδιασμού των μεταφορικών συστημάτων.
- **Συστήματα αυτόματης πλοήγησης (AGV):** Η χρησιμοποίηση εξελιγμένων ηλεκτρονικών συστημάτων απαιτεί συγκεκριμένο σχεδιασμό (χωροταξικό, διαδρομών κλπ.) και ανάλυση για την ομαλή λειτουργία τους.
- **Μέγεθος παλετών και φορτίων:** Είναι προβλήματα που προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τη διακίνηση των υλικών με την κατάλληλη επιλογή μεγέθους παλετών και φορτίων σε συνάρτηση με το μέγεθος των παρτίδων παραγωγής.

Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει τέσσερα κεφάλαια, τα οποία έχουν το παρακάτω περιεχόμενο:

- **Μελλοντικές τάσεις στη διαχείριση υλικών:** Αναλύονται οι τάσεις που καταγράφονται αυτή τη στιγμή στη διεθνή αγορά και γίνονται προβλέψεις για τις εξελίξεις που θα πραγματοποιηθούν τα επόμενα χρόνια.
- **Προτεινόμενο μοντέλο διαχείρισης υλικών:** Εξετάζονται οι βασικές παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την κερδοφορία μιας επιχείρησης και διερευνώνται οι συσχετίσεις τους με τη διαχείριση υλικών.

- **Ο ρόλος της διαχείρισης υλικών στη βιομηχανική υποδομή:** Εξηγείται η σημαντικότητα της ολοκληρωμένης θεώρησης ενός επιχειρησιακού συστήματος, μέρος του οποίου είναι και το σύστημα διαχείρισης υλικών.
- **Διαχείριση υλικών και αλλαγή της παγκόσμιας αγοράς:** Παρουσιάζονται οι περιορισμοί που θέτονται από τις απαιτήσεις της παγκόσμιας αγοράς και που αφορούν τη διαχείριση των υλικών.

Συμπεράσματα παρατίθενται στο δέκατο τρίτο κεφάλαιο, ενώ στο παράρτημα γίνεται μια πρώτη προσπάθεια να καταγραφούν ορισμένοι όροι που χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της διαχείρισης υλικών, με την δημιουργία ενός λεξικού όρων (Data Dictionary).



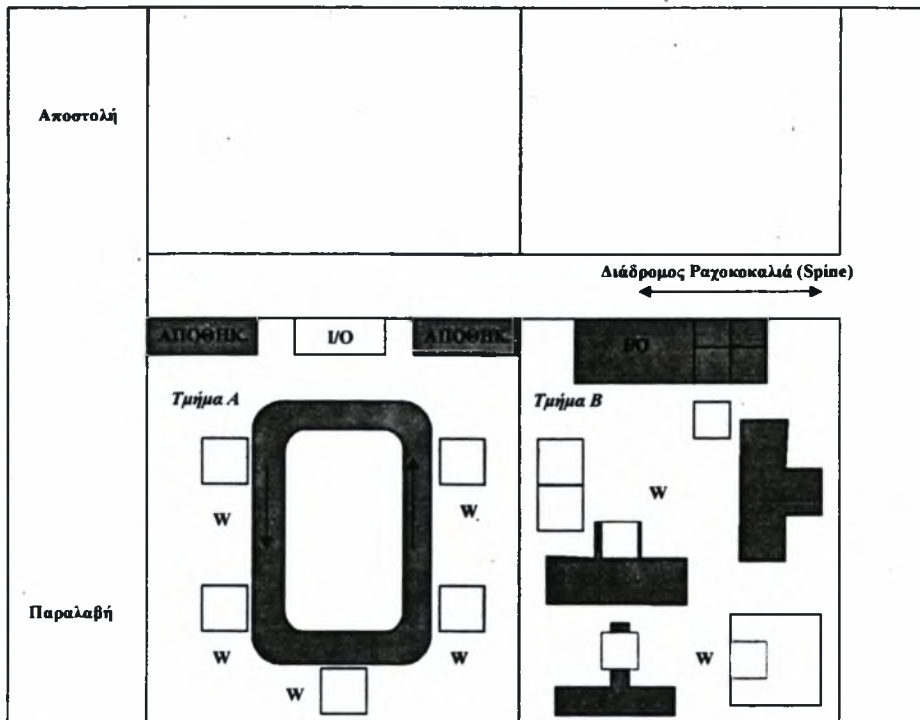
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**  
**ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

## 2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Διαχείρισης Υλικών

Ο σκοπός ενός συστήματος διαχείρισης υλικών είναι να διευθετήσει τη ροή σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να ρυθμιστούν η ροή των εξαρτημάτων - προϊόντων, των μεταφερόμενων πόρων (για παράδειγμα, εργαλείων) και των αποβλήτων (wastes) της παραγωγικής διαδικασίας. Η διαχείριση των παραπάνω θα πρέπει να πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα:

- ✓ Εντός καθενός τμήματος
- ✓ Μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων

Το ενδιαφέρον είναι πως δίνεται η δυνατότητα να ακολουθείται διαφορετικός τρόπος προσέγγισης στο θέμα της διαχείρισης των υλικών στα διαφορετικά τμήματα, κάτι αποδεκτό από τη στιγμή που το συνολικό σύστημα διαχείρισης υλικών λειτουργεί ικανοποιητικά. Στο παράδειγμα του Σχήματος 1.1, το τμήμα Α περιλαμβάνει διαφορετικούς σταθμούς εργασίας (workstations). Οι μεταφορές από και προς το υπό συζήτηση τμήμα μπορούν να πραγματοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται ένας μεταφορέας κλειστού βρόχου (loop conveyor), ο οποίος λαμβάνει το αρχικό υλικό από το σταθμό εισόδου / εξόδου (Input / Output ή I/O) και αποθήκευσης. Το υλικό μεταφέρεται στον πρώτο σταθμό εργασίας. Μετά την απαραίτητη επεξεργασία εκεί, προωθείται με χρήση και πάλι του μεταφορικού στον επόμενο σταθμό εργασίας. Μετά την περάτωση επεξεργασίας στον τελευταίο σταθμό, το «τελικό προϊόν» επιστρέφει στο χώρο αποθήκευσης. Το τμήμα Β έχει οργανώσει με διαφορετικό τρόπο τη μεταφορά των υλικών, με χρήση χειροκίνητων γρύλων (manual trucks) οι οποίοι σταθμεύουν και εφοδιάζονται σε προκαθορισμένους χώρους (staging areas) στους διαφορετικούς σταθμούς εργασίας.



Σχήμα 2.1: Μεταφορά Υλικών Εντός και Εκτός του Τμήματος

Στο σχήμα 2.2 βλέπουμε ένα πιο εξελιγμένο παράδειγμα διαχείρισης υλικών ενός τμήματος.



Σχήμα 1.2: Μεταφορά Υλικών Εντός Τμήματος

Ιστορικά, με τον όρο «διαχείριση υλικών», οι επιστήμονες εννοούσαν τον τρόπο με τον οποίο τα υλικά μιας επιχείρησης διαχειρίζονταν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Με απλούστερα λόγια, η λογική που βασιλεύει χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω σημεία:

- ✓ Ελαχιστοποίηση της συχνότητας μιας εργασίας (frequency)

## ✓ Ελαχιστοποίηση του κόστους εξοπλισμού (cost of equipment)

Στο παραπάνω σκεπτικό επηρέαζε ο βασικός ορισμός της μεταποίησης (manufacturing):

Μεταποίηση είναι η προστιθέμενη αξία που παρέχεται σε κάποιο υλικό (value added). Κάτω από αυτό το πρίσμα, δεν φαινόταν ιδιαίτερα εσφαλμένο το γεγονός ότι η μεταφορά υλικών στο εργοστάσιο δεν πρόσθετε αξία στο τελικό προϊόν, επομένως η φιλοσοφία της ελαχιστοποίησης του κόστους διαχείρισης υλικών δεν ήταν παράλογη. Η νέα τάση των πραγμάτων, όμως, απαιτεί την αντιμετώπιση της μεταποίησης ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα (manufacturing system), και επομένως, στόχος είναι η βελτιστοποίηση του συνολικού συστήματος (που προφανώς περιλαμβάνει και τη διαχείριση υλικών) και όχι των επιμέρους συστημάτων. Σαν αντίστοιχο παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί το εξής:

Δεν έχει νόημα να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία του τμήματος πωλήσεων, όταν κάτι τέτοιο δυσχεραίνει τη λειτουργία άλλων τμημάτων της επιχείρησης, όπως η παραγωγή (το παραπάνω είναι κλασική περίπτωση που δημιουργεί προστριβές (conflicts) σε οργανισμούς ανά τον κόσμο.

Η νέα προσέγγιση των πραγμάτων αντιμετωπίζει τη διαχείριση υλικών ως το **κυκλοφορικό σύστημα** μιας επιχείρησης με τη λογική ότι αναλαμβάνει τη μετακίνηση σημαντικών υλικών εντός του εργοστασίου (όπως το κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού που μεταφέρει το αίμα σε διαφορετικά σημεία του σώματος. Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, η διαχείριση υλικών θα μπορούσε να παρομοιαστεί ως το **νευρικό σύστημα**, αφού είναι δυνατό, εκτός από υλικά να διακινήσει πληροφορίες (information) εντός της επιχείρησης. Πληροφοριακά αναφέρεται ότι η χρήση μεταφορών (metaphors) για την κατανόηση της λειτουργίας των επιχειρήσεων χρησιμοποιείται εκτενώς τα τελευταία χρόνια (για παράδειγμα βλέπε Morgan, 1995).

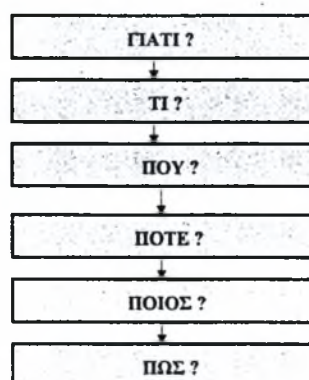
Καταλήγοντας, σημαντικό δεν είναι να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη της διαχείρισης υλικών μεμονωμένα, αλλά να ελαχιστοποιηθούν με τέτοιο τρόπο που να εξυπηρετούν την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία της επιχείρησης (efficiency and effectiveness). Χρησιμοποιώντας τη μεταφορά του κυκλοφορικού συστήματος, ο

ζωντανός οργανισμός θα μπορούσε πιθανότατα να επιβιώσει με λεπτότερες αρτηρίες, αλλά πόσο καλά θα μπορούσε να ζήσει και πώς θα μπορούσε να αντεπεξέλθει σε μεγάλες καταπονήσεις (όπως για παράδειγμα το τρέξιμο μιας μακράς απόστασης, ενός μαραθωνίου);

Το πώς έχουν αλλάξει οι προτεραιότητες με την εξέλιξη της επιστήμης της μεταφοράς των υλικών μπορεί να γίνει κατανοητό από την παρακάτω σύγκριση:

- ✓ Στο παρελθόν, θα ήταν ικανοποιητικό απλά να μεταφερθεί κάποιο υλικό από το ένα τμήμα στο άλλο (movement).
- ✓ Τώρα, υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που θα πρέπει να αναλυθούν, όπως είναι για παράδειγμα ο προσανατολισμός του υλικού που θα μεταφερθεί (δηλαδή ο τρόπος τοποθέτησής του ή orientation). Υπάρχουν μηχανές που θα πρέπει να παραλαμβάνουν τα υλικά με συγκεκριμένο τρόπο. Η σωστή τοποθέτηση των υλικών μπορεί να περιορίσει το φόρτο εργασίας (επομένως το χρόνο και το κόστος της) σε επόμενα στάδια. Αυτό δε σημαίνει τίποτε άλλο από προστιθέμενη αξία (σωστή τοποθέτηση του υλικού απαλλάσσει από εργασία στο μέλλον). Φυσικά, ο προσανατολισμός είναι μόνο μία από τις παραμέτρους που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, αφού υπάρχουν και άλλες που πρέπει να προσεχθούν ώστε να διασφαλιστεί η αναμενόμενη ποιότητα του προϊόντος (product quality), η σωστή τοποθέτησή του (location), η σωστή του κατάσταση (condition), η κατάλληλη ποσότητα (quantity) και αποστολή του (delivery).

Όπως συμβαίνει με το σχεδιασμό ενός οποιουδήποτε συστήματος, έτσι και για ένα σύστημα διαχείρισης υλικών θα πρέπει να απαντηθούν οι ερωτήσεις που φαίνονται στο σχήμα 2.3:



Σχήμα 2.3: Ερωτήσεις Σχεδιασμού Συστήματος Διαχείρισης Υλικών

Το πρώτο ερώτημα είναι το **γιατί** υπάρχει το σύστημα. Εύλογα ακολουθεί η δεύτερη ερώτηση, για το **τι** περιμένουμε να κάνει το σύστημα αυτό. Η απάντηση οδηγεί στην ανάγκη προσδιορισμού του υλικού και στη διατύπωση των ερωτήσεων σχετικά με το **πού** και **πότε** θα πραγματοποιηθούν οι μεταφορές. Η περιγραφή του τρόπου κίνησης περιλαμβάνει και τη συχνότητα και το δρόμο που θα ακολουθήσει από την αρχική θέση στον τελικό προορισμό. Τελικά, ο σχεδιασμός καταλήγει στον προσδιορισμό του **ποιος** θα πραγματοποιήσει την κίνηση και **πώς**. Το τελικό στάδιο είναι ο ορισμός του κατάλληλου τρόπου **παρακολούθησης του συστήματος** (monitoring) κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

Η διαφορά του προσανατολισμού των νέων συστημάτων μπορεί να διαπιστωθεί με τη σύγκριση παλαιότερων και νεότερων αποθηκών στις επιχειρήσεις. Για παράδειγμα, οι παλιές αποθήκες Αμερικανικών (και όχι μόνο) εργοστασίων βρίσκονταν παραπλεύρως των σιδηροδρομικών τροχιών, ώστε να επιτυγχάνεται ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων των υλικών κατά το ξεφόρτωμα. Τελευταία, έχουν καθιερωθεί τεχνικές όπως της αποθήκευσης στο σημείο χρήσης (**point of use storage**), σύμφωνα με την οποία ο στόχος είναι ο περιορισμός των κινήσεων υλικών γενικότερα. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, τα εξαρτήματα μεταφέρονται από σταθμό εργασίας σε σταθμό εργασίας απευθείας, χωρίς επιστροφή σε μία περιοχή αποθήκευσης μεταξύ των λειτουργιών της παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο ο αριθμός των κινήσεων περιορίζεται απευθείας στο μισό. Ταυτόχρονα, τα επίπεδα (στάθμες) αποθήκευσης (inventory levels) αποκαλύπτονται (ένα πρόβλημα συνήθως συγκαλυμμένο), και ο περιττός προγραμματισμός περιορίζεται.

Μία άλλη έννοια που απέκτησε ιδιαίτερη σημασία τα τελευταία χρόνια είναι αυτή της μονάδας φόρτωσης (**unit load**). Η μονάδα φόρτωσης ενός τύπου υλικού είναι η ποσότητα των «κομματιών» που «συνδυάζονται» και μεταφέρονται σαν μία οντότητα. Με αυτόν τον τρόπο, εξοικονομούνται πόροι σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλος όγκος μεταφορών. Μία τυπική μονάδα φόρτωσης είναι η γεμάτη παλέτα (pallet) ή το γεμάτο κοντέινερ (container). Ένα άλλο θετικό της προσέγγισης της μονάδας φόρτωσης είναι ο περιορισμός ζημιών ή ατυχημάτων κατά τη μεταφορά και η χρησιμοποίηση τυποποιημένων μηχανημάτων κατά τη μεταφορά. Τα βασικά αρνητικά της είναι η ανάγκη επιστροφής άδειων παλετών / containers στο σημείο

χρήσης και το κόστος των παλετών / containers. Σημαντικό είναι ότι κατά την επιλογή της μονάδας φόρτωσης, αυτή δε θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μέγεθος παρτίδας (batch size). Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι επιθυμητό, οι παρτίδες να διασπώνται σε υποπαρτίδες (sublots) έτσι ώστε, όταν ολοκληρώνεται η επεξεργασία της υποπαρτίδας, αυτή να μπορεί να προωθηθεί στον επόμενο σταθμό εργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση, το μέγεθος της μονάδας φόρτωσης περιορίζεται από το μέγεθος της υποπαρτίδας. Η επιλογή της μονάδας φόρτωσης επηρεάζεται από τη χωροταξία του εξοπλισμού στο εργοστάσιο. Μερικές από τις βασικές αρχές που μπορούν να αναγνωριστούν είναι οι παρακάτω:

- ✓ Όταν μεταφέρονται εξαρτήματα από μία μηχανή σε μία επόμενη μηχανή, είναι πιθανό να είναι οικονομικότερο, η μεταφορά να πραγματοποιείται ανά ένα τεμάχιο
- ✓ Όταν οι μετακινήσεις εξαρτημάτων είναι μακρές, είναι σύνηθες να απαιτείται μεγάλη μονάδα φόρτωσης, όπως η παλέτα
- ✓ Σε γενικές γραμμές, όσο μικρότερη είναι η κίνηση τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η μονάδα φόρτωσης

Τέλος, κάποιοι περιορισμοί στο μέγεθος και στο βάρος εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά των υλικών με χρήση του απαραίτητου εξοπλισμού και των υπάρχοντων διαδρόμων (aisles).

## 2.2 Βασικοί Τύποι Εξοπλισμού

Υπάρχει μια πραγματικά μεγάλη βιομηχανία που ασχολείται με το σχεδιασμό και την εξέλιξη συστημάτων διαχείρισης υλικών. Το επίπεδο των τεχνολογικών λύσεων κυμαίνεται από απλό εξοπλισμό, όπως παλέτες (palettes) και ωθούμενα καρότσια (push carts) έως προηγμένες μηχανολογικές εφαρμογές και αυτοματοποιημένα συστήματα. Μερικά από τα πιο διαδεδομένα είδη εξοπλισμού παρουσιάζονται στη συνέχεια (λεπτομερείς αναφορές παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία από τους Tompkins και White, 1984).

Οι μεταφορείς (conveyors) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά υλικών με σταθερή μορφή, σε μεσαίες και σχετικά μεγάλες συχνότητες, από μία τοποθεσία σε

μια άλλη, μέσω σταθερής - συγκεκριμένης διαδρομής (fixed path). Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν απαιτείται σταθερός και συγκεκριμένος δρόμος για να χρησιμοποιηθεί μεταφορική ταινία, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της μεταφοράς των αποσκευών από το αεροπλάνο στο αεροδρόμιο.

Οι πιο συνηθισμένες επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των υλικών είναι ταινίες ή μάντες (belts), τροχοί (wheels), κύλινδροι ή ράουλα (rollers) και γλίστρες (chutes). Οι ταινίες μεταφέρονται κυκλικά (circulation) κρατώντας το υλικό στην ίδια θέση σε σχέση με την ταινία. Αντίθετα, οι τροχοί, κύλινδροι και γλίστρες μένουν στην ίδια θέση (ή περιστρέφονται ως προς κάποιο σταθερό άξονα (rotation), ενώ τα υλικά μετακινούνται.

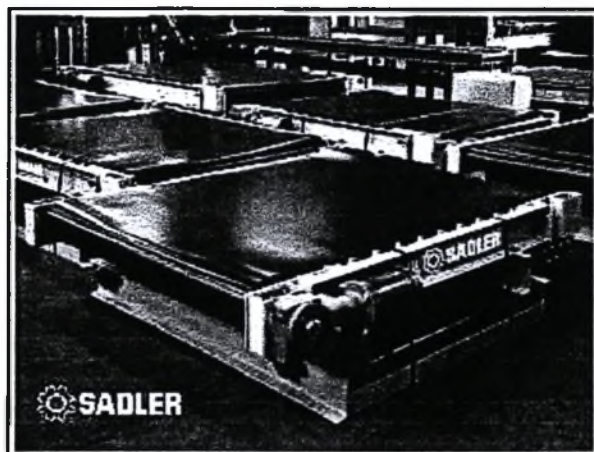
Οι μεταφορείς τρόλεϋ (trolley conveyors), συνήθως κρεμαστοί (overhead) επιτρέπουν τη μεταφορά υλικών σε σταθερά διαστήματα. Τα υλικά κρέμονται σε γάντζους (hooks) ή τοποθετούνται σε ειδικά δοχεία μεταφοράς (carriers) που συνδέονται με το κυρίως μηχάνημα. Παραλλαγή του trolley conveyor είναι ο power and free conveyor. Σε αυτόν, οι μεταφορείς μπορούν να αποσυνδεθούν (freed) από την ενεργοποιημένη αλυσίδα (powered chain) και να επανασυνδεθούν όταν αυτό κριθεί σκόπιμο.

Οι tow line conveyors είναι ένα είδος μεταφορέων που επιτρέπουν οχήματα μεταβλητής διαδρομής (variable path trucks) να συνδεθούν προσωρινά με κάποιον power conveyor για αυτόματη μετακίνηση για μια συγκεκριμένη διαδρομή. Κατόπιν, τα οχήματα μπορούν να αποσυνδεθούν και να μεταφερθούν στον τελικό προορισμό τους.

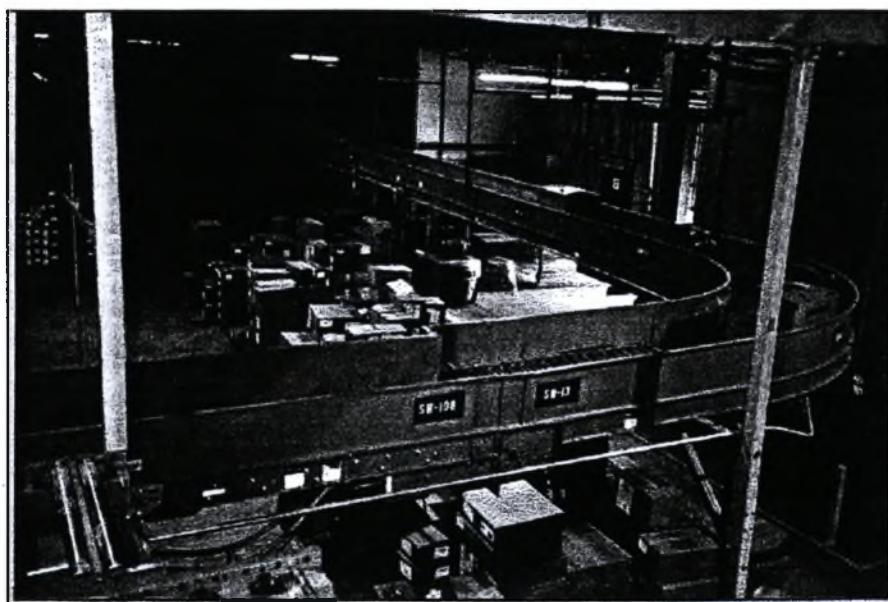
Οι μεταφορείς μπορούν να παρουσιάζουν παραλλαγές ανάλογα με την πηγή της κίνησής τους (non-powered (χωρίς ισχύ), gravity powered (κινούμενοι με τη βοήθεια της βαρύτητας), powered electronically (κινούμενοι με την παροχή ηλεκτρικής ισχύος), pneumatically (κινούμενοι με χρήση πνευματικών συστημάτων) ή κινούμενοι με χρήση οδηγού αλυσίδας ή ταινίας (chain or belt drive)). Εν συντομία, μπορούν να είναι τοποθετημένοι στο δάπεδο, ανυψωμένοι με κατάλληλα υποστηρίγματα και κρεμαστοί (overhead). Μπορούν να κινούνται συνεχόμενα, διακοπτόμενα και ασύγχρονα, ανάλογα με την λειτουργία που επιθυμείται να εξυπηρετούν.



Παρακάτω, εμφανίζονται ορισμένα παραδείγματα μεταφορέων, από εικόνες πραγματικού εξοπλισμού οι οποίες βρέθηκαν μετά από σχετική έρευνα στο Διαδίκτυο.



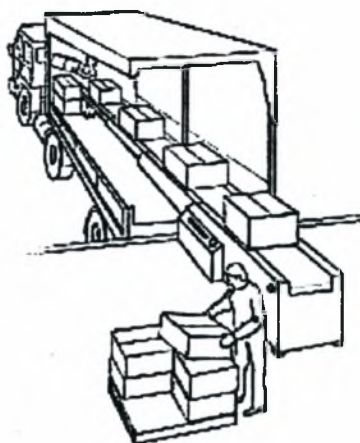
Σχήμα 2.4: Ταινιόδρομος



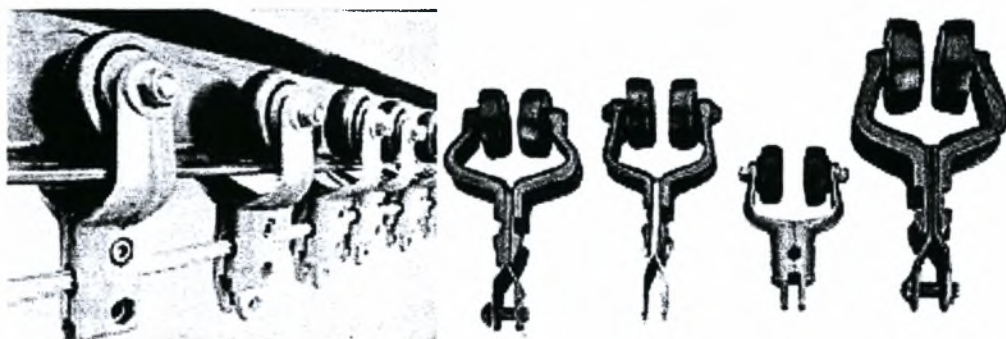
Σχήμα 2.5: Ραουλδόδρομος με στροφή



Σχήμα 2.6: Απλός ραουλόδρομος



Σχήμα 2.7: Παράδειγμα μεταφορά μεταβλητής διαδρομής



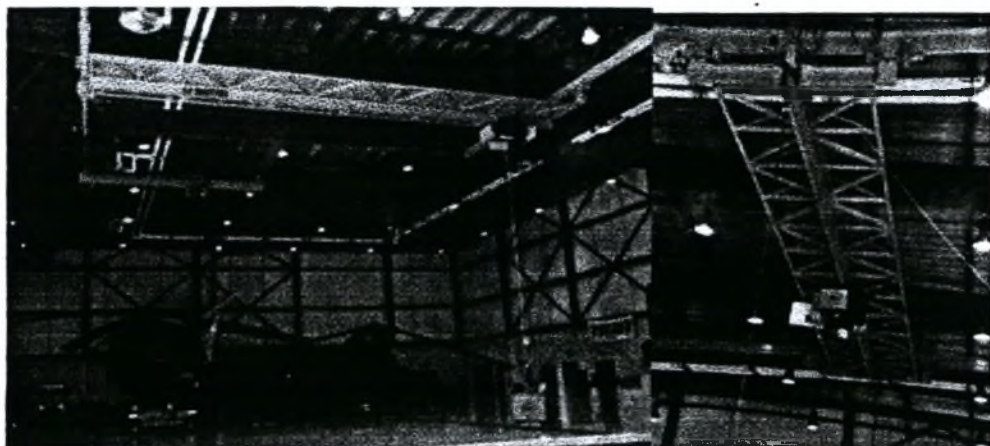
Σχήμα 2.8: Κρεμαστοί μεταφορείς (overhead trolleys)



Σχήμα 2.9: Ταινιόδρομος παλετών

Οι γερανοί (**cranes**) και τα βίντζια (**hoists**) είναι κρεμαστοί εξοπλισμοί (**overhead lifting devices**) που μπορούν να μεταφέρουν υλικά ποικίλου μεγέθους και βάρους εντός προκαθορισμένου χώρου. Τα βίντζια μεταφέρουν τα υλικά σε κατακόρυφο άξονα, ενώ συνήθως αναρτώνται σε ειδικό γάντζο. Οι γερανοί διαχωρίζονται σε πολλές διαφορετικές κατηγορίες, οι κυριότερες των οποίων είναι οι εξής:

- Γερανογέφυρες (**bridge cranes**): αποτελούνται από ένα βίντζι το οποίο κινείται κατά μήκος μιας οριζόντιας δοκού (**beam**). Η κατασκευή του μηχανήματος επιτρέπει τη διαχείριση υλικών σε μια παραλληλόγραμμη επιφάνεια.



Σχήμα 2.10: Γερανογέφυρες

- Γερανογέφυρες τύπου gantry (gantry cranes): Παρόμοιας λειτουργίας με τις κοινές γερανογέφυρες.



Σχήμα 2.11: Gantry Crane

- Γερανοί τύπου stacker (stacker cranes): Διαθέτουν μία κατακόρυφη δοκό με μια πλατφόρμα υποστήριξης και κινούνται κατά μήκος των διαδρόμων για αποθήκευση και παραλαβή τεμαχίων από ράφια αποθηκών (racks).



Σχήμα 2.12: Γερανός Stacker Crane

Τα Αυτόματα Συστήματα Αποθήκευσης / Ανάκτησης (Automated storage / retrieval systems ή AS/AR) συνδυάζουν αποθήκευση (storage), συλλογή (picking)

και ελέγχους με διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμών για γρήγορη και με ακρίβεια αποθήκευση και συλλογή προϊόντων / εξαρτημάτων / υλικών. Ο εν λόγω εξοπλισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για μεγάλο φόρτο παλετών όσο και για συστήματα μικρού φόρτου (microload systems), όπως κουτιών. Ειδικά τα συστήματα μικρού φόρτου απαντώνται συχνά στη συναρμολόγηση (assembly) μικρών εξαρτημάτων, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Παρουσιάζονται επίσης συστήματα με μεγάλα και βαθιά ράφια και στενούς διαδρόμους. Η κατασκευή τέτοιων συστημάτων επιτρέπει την παραλαβή ή αποθήκευση υλικών στα ράφια, χωρίς να χρειάζεται το μηχάνημα να στρίβει κατά 90 μοίρες. Μάλιστα, προβλέπεται στην αρχή του διαδρόμου σημείο παραλαβής ή εναπόθεσης (pickup and dropoff point).

Μία εξέλιξη αυτοματοποίησης είναι τα αποθηκευτικά carousels (storage carousels) που προτείνουν μία εναλλακτική σχεδιαστική προσέγγιση και που αποτελούνται από περιστρεφόμενους κάδους που παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης στο τέλος των διαδρόμων. Οι παραγγελίες απόθεσης και ανάληψης (storage και retrieval orders) προκύπτουν με βάση την απόσταση μετακίνησης και πραγματοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται ελάχιστες μετακινήσεις. Το σχήμα 1.13 απεικονίζει ένα σύστημα αποθηκευτικού carousel.



**Σχήμα 2.13: Storage Carousel**

Το σχήμα 1.14 απεικονίζει λεκάνες μεταφοράς (tote pans)



Σχήμα 2.14: Tote pans

### 2.3 Αρχές Διαχείρισης Υλικών

Το Συμβούλιο Πανεπιστημίων – Βιομηχανίας για την Εκπαίδευση στη Διαχείριση Υλικών (College-Industry Council on Material Handling Education (CICMHE)) έχει υιοθετήσει 20 βασικές αρχές (principles) που αφορούν τη διαχείριση υλικών. Ο ρόλος τους είναι περισσότερο συμβουλευτικός και στοχεύουν ακριβώς στο να χρησιμοποιηθούν ως ένας οδηγός (guide ή check list) κατά τη σχεδίαση (design) ή τροποποίηση (modification) ενός συστήματος διαχείρισης υλικών. Κατά κάποιο τρόπο, οι αρχές αυτές μπορούν να αποτελέσουν ένα πρότυπο σύγκρισης (benchmark) για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων. Οι βασικές, λοιπόν, αρχές, παραφρασμένες από το Ινστιτούτο Διαχείρισης Υλικών (Material Handling Institute) έχουν ως εξής:

- **Προσανατολισμός:** Πριν την έναρξη κατάστροφης του προβλήματος και ορισμού των περιορισμών και παραμέτρων τους, είναι απαραίτητο να μελετηθεί σε βάθος το σύστημα και οι διασυνδέσεις που υφίστανται μεταξύ των υποσυστημάτων.
- **Προγραμματισμός:** Χρειάζεται ακριβής προγραμματισμός των αναγκών αλλά και η πρόβλεψη εκτάκτων συμβάντων.
- **Συστήματα:** Χρειάζεται να διασυνδεθούν και να συντονιστούν οι παραλαβές, έλεγχοι, αποθηκεύσεις, παραγωγή, συναρμολόγηση, συσκευασία, αποθήκευση και διανομή.

- **Μονάδα φόρτωσης:** Θα πρέπει να χρησιμοποιείται μία μεγάλη αλλά πρακτική μονάδα φόρτωσης.
- **Αξιοποίηση χώρου:** Ο κυβικός χώρος είναι καλό να χρησιμοποιείται με τον αποδοτικότερο δυνατό τρόπο.
- **Τυποποίηση:** Η χρησιμοποίηση τυποποιημένων μηχανημάτων και μεθόδων εργασίας διευκολύνει τη διαχείριση υλικών.
- **Εργονομία:** Η αναγνώριση των ανθρωπίνων ορίων και η διερεύνηση των συσχετίσεων ανθρώπου και μηχανημάτων είναι παράγοντας επιτυχίας.
- **Ενέργεια:** Η κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να ελέγχεται σε συγκριτικό επίπεδο.
- **Οικολογία:** Επιθυμητός είναι ο περιορισμός αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον.
- **Μηχανοποίηση:** Η απόδοση μπορεί να αυξηθεί με τη μηχανοποίηση σε αρκετές περιπτώσεις.
- **Ευελιξία:** Είναι αποδοτικό να χρησιμοποιούνται μέθοδοι και εξοπλισμός που μπορούν να καλύψουν πολλές διαφορετικές δραστηριότητες και κάτω από διαφορετικές συνθήκες.
- **Απλοποίηση:** Θα πρέπει να επιδιώκεται η απλοποίηση ή και η εξάλειψη βημάτων διαχείρισης υλικών, όπου αυτό, βέβαια, είναι εφικτό.
- **Βαρύτητα:** Με τη λογική ότι η βαρύτητα είναι δωρεάν, θα πρέπει να χρησιμοποιείται, όπου επιτρέπεται από τους υπάρχοντες περιορισμούς.
- **Ασφάλεια:** Τα μηχανήματα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, θα πρέπει να παρέχουν ασφάλεια στους εργαζομένους και να ανταποκρίνονται στις γνώσεις και το επίπεδο των χειριστών.
- **Αυτοματοποίηση:** Η αυτοματοποίηση με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών (computerisation) μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τον έλεγχο στη διαχείριση υλικών.
- **Ροή συστήματος:** Η ροή υλικών και πληροφοριών θα πρέπει να είναι συνδυασμένη και μελετημένη.
- **Χωροταξία (layout):** Θα πρέπει να αναλύονται διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις στησίματος ενός τμήματος, και να δοκιμάζονται διαφορετικές διαδοχές μηχανημάτων.
- **Κόστος:** Το κόστος είναι μία παράμετρος που πρέπει να αναλύεται ανά μονάδα υλικού.

- **Συντήρηση:** Η προληπτική συντήρηση για τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό συστήνεται.
- **Παλαιότητα:** Καλό είναι να προετοιμάζεται ένα οικονομικό πλάνο που να αφορά την αντικατάσταση εξοπλισμού και τη μελέτη του κύκλου ζωής του (life cycle).

Αν θέλαμε να εντοπίσουμε τις βασικότερες από τις αρχές που παρουσιάστηκαν, αυτή της απλότητας βρίσκεται σε πρώτη προτεραιότητα, τόσο στη φάση του σχεδιασμού όσο και της βελτίωσης του συστήματος διαχείρισης υλικών. Η μεταφορά υλικών δεν προσθέτει αξία στο προϊόν, αλλά κοστίζει χρήματα, εμπεριέχει το ρίσκο βλάβης του υλικού και σπαταλά χρόνο (αναφερόμαστε στις τρεις βασικότερες διαστάσεις όλων των συστημάτων, αυτές του κόστους, του χρόνου και της ποιότητας). Με αυτή τη λογική, κάθε περιττή κίνηση πρέπει να εξαλείφεται ή τουλάχιστον να ελέγχεται στο κατά πόσο εξυπηρετεί κάποιο συγκεκριμένο σκοπό. Η ιδέα του σημείου χρήσης (point of use) αναγνωρίζει το παραπάνω γεγονός.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ**  
**ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ**



Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης υλικών, για κάθε μετακίνηση θα πρέπει να οριστεί ένας συγκεκριμένος τύπος εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί. Η απόφαση αυτή στηρίζεται κατά ένα λόγο σε οικονομικές παραμέτρους και κατά δεύτερο αλλά και σημαντικότερο στην καλύτερη λειτουργία ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας. Από τη στιγμή που οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις έχουν οριστεί και ικανοποιούν όλες ικανοποιητικά το σύστημα, θα πρέπει να χτιστεί κάποιο οικονομικό μοντέλο που να συγκρίνει τις εναλλακτικές λύσεις. Ας θεωρήσουμε τα παρακάτω μεγέθη και υποθέσεις:

- $M$ , οι τύποι του εξοπλισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- $N$ , ο αριθμός των κινήσεων προϊόντων που πρέπει να πραγματοποιηθούν
- Η μονάδα φόρτωσης των προϊόντων θεωρείται γνωστή
- Η χωροταξία του εργοστασίου είναι δεδομένη
- $j$ , είναι η κίνηση με  $j= 1, \dots, N$

Οι μεταβλητές απόφασης στην περίπτωση μας είναι οι εξής:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{όταν ο εξοπλισμός τύπου } i \text{ χρησιμοποιείται για την κίνηση } j \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Θα πρέπει επίσης να υπολογιστεί το  $Y_i$  που είναι ο αριθμός μονάδων εξοπλισμού τύπου  $i$  που απαιτούνται. Επομένως προστίθενται οι παρακάτω παράμετροι κόστους και τεχνολογίας:

- $c_{ij}$  = Συνολικό μεταβλητό κόστος ανά περίοδο για τον εξοπλισμό  $i$  και την κίνηση  $j$ .
- $c_i$  = Σταθερό κόστος ανά περίοδο για τον τύπο εξοπλισμού  $i$
- $t_{ij}$  = Χρόνος που απαιτείται από το  $i$  για να κάνει την κίνηση  $j$
- $T_i$  = Διαθέσιμος χρόνος ανά μοναδιαία περίοδο για τον εξοπλισμό τύπου  $i$

Όταν ο τύπος εξοπλισμού τύπου  $i$  δεν μπορεί να πραγματοποιήσει την κίνηση  $j$ , σε αυτή την περίπτωση, είτε το  $t_{ij}$ , είτε το  $c_{ij}$  παίρνουν πολύ μεγάλες τιμές. Το  $c_{ij}$  υπολογίζεται συνήθως ως εξής:

$$\triangleright c_{ij} = (\text{ταξίδια} / \text{περίοδο}) * (\text{απόσταση} / \text{ταξίδι}) * (\text{κόστος} / \text{μοναδιαία μετακίνηση})$$

Ακολουθούν παραδείγματα.

### 3.1 Παράδειγμα Σταθερού & Μεταβλητού Κόστους Εξοπλισμού

#### 3.1.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ένα power lift truck είναι διαθέσιμο σε κόστος \$25,000. Ο μηχανικός εκτιμά επταετή χρόνο ζωής με τιμή μεταπώλησης (salvage value) \$3,000. Τα λειτουργικά έξοδα του οδηγού και της συντήρησης υπολογίζονται σε \$2,000 ανά μήνα. Ο οδηγός θεωρείται μεταβλητό κόστος αφού μπορεί να του δίδεται άλλη εργασία όταν το όχημα δε χρειάζεται να λειτουργεί. Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί στο εργοστάσιο υποδεικνύει ότι τα φορτηγά δουλεύουν κατά 75% του χρόνου. Υπολογίζεται ότι το IRR (επιτόκιο εσωτερικής απόδοσης ή Internal Rate of Return) είναι 10%.

#### 3.1.2 Ερωτήματα

Ζητείται να βρεθεί το σταθερό και μεταβλητό κόστος του φορτηγού.

#### 3.1.3 Λύση

Χρησιμοποιώντας ένα επιτόκιο 10% το χρόνο, ο συντελεστής παρούσας αξίας για αποπληρωμή σε 7 έτη είναι  $(1+0.10)^{-7} = 0.5132$ . Επομένως, η παρούσα αξία των \$3,000 αξίας εκποίησης  $(0.5132) * 3,000$  ή \$1,540. Άρα, το ουσιαστικό κόστος του εξοπλισμού είναι  $25,000 - 1,540 = 23,460$ . Το  $c_{\text{truck}}$  βρίσκεται με μετατροπή του προηγούμενου κόστους σε μηνιαίο ισοδύναμο. Για απλότητα, θεωρούμε μηνιαίο επιτόκιο το οποίο αντιστοιχεί σε  $10/12 = 0.83333$ . Τα 7 χρόνια περιλαμβάνουν  $7 * 12 = 84$  μηνιαίες περιόδους. Ο συντελεστής εύρεσης του μηνιαίου ισοδυνάμου με επιτόκιο  $r$  για  $t$  έτη είναι:

$$\left( \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \right)$$

Με  $r = 0.008333$  και  $t = 84$ , ο συντελεστής υπολογίζεται πως είναι 0.0166.

Επομένως:

$$c_{truck} = 0.0166 * (23,460) = \$389.50 \text{ ανά μήνα}$$

Με βάση την ικανότητα πρόγνωσης του κόστους, μπορεί να μορφοποιηθεί το παρακάτω μοντέλο αποφάσεων:

Ελαχιστοποίηση κόστους / περίοδο =

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} * x_{ij} + \sum_{j=1}^N C_j * Y_j \quad (1)$$

και με περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad \text{για όλα τα } j \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N t_{ij} * x_{ij} \leq T_i Y_i \quad \text{για όλα τα } i \quad (3)$$

$$x_{ij} 0 \text{ ή } 1, \quad Y_i \text{ ακέραιος} \quad (4)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση που δημιουργήθηκε συγκεντρώνει, τόσο το μεταβλητό κόστος ανά μετακίνηση, όσο και το σταθερό, ανά περίοδο. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εκφράσει πολλά διαφορετικά είδη διαχείρισης υλικών. Το κόστος απόσβεσης του εξοπλισμού μπορεί να περιέχεται στο  $c_i$ . Κόστος το οποίο σχετίζεται με το χρόνο κατά τον οποίο ένα είδος εξοπλισμού χρησιμοποιείται μπορεί να περιληφθεί στον όρο  $c_{ij}$  (για παράδειγμα περπάτημα χρήστη μηχανήματος ή χρόνος φόρτισης της μπαταρίας ενός μεταφορικού). Ο περιορισμός (2) εξασφαλίζει ότι κάθε κίνηση έχει αντιστοιχηθεί σε κάποιον εξοπλισμό. Ο περιορισμός (3) εξασφαλίζει ότι χρησιμοποιείται ικανός αριθμός μονάδων εξοπλισμού για τη διαχείριση υλικών.

## 3.2 Παράδειγμα Επιλογής Μίξης Εξοπλισμού

### 3.2.1 Δεδομένα Προβλήματος

Δίδονται 3 διαφορετικοί εναλλακτικοί τύποι (pushcart, powered truck, conveyor) για έξι είδη κινήσεων. Τα δεδομένα του προβλήματος συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω.

Τα κόστη είναι σε μηνιαία βάση. Τα κόστη των conveyors τοποθετήθηκαν στο μεταβλητό κομμάτι  $c_{3j}$  και το  $t_{ij}$  τέθηκε 1 για να δειχθεί ότι οι conveyors είναι σταθεροί και χρησιμοποιούνται μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων. Λόγω αλληλεπίδρασης με άλλες λειτουργίες του εργοστασίου, ο conveyor δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση 6. Έτσι, το σχετικό κόστος τίθεται επίτηδες μεγάλο. Η κίνηση 3 είναι σύντομη και όχι κατάλληλη για χρήση powered truck. Το κόστος του conveyor καθορίζεται από τις αποσβέσεις και τις λειτουργίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Οι βαθμοί απασχόλησης  $t_{ij}$  δίδονται ως τμήμα μίας μονάδας εξοπλισμού λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα. Σε αυτήν την περίπτωση το  $T_i = 1$ .

Κίνηση	Είδη Εξοπλισμού					
	1		2		3	
	$c_{1j}$	$t_{1j}$	$c_{2j}$	$t_{2j}$	$c_{3j}$	$t_{3j}$
1	1286.40	0.72	640.00	0.24	890.00	1.0
2	2680.00	1.50	1333.33	0.50	3600.00	1.0
3	268.00	0.15	320.00	0.12	325.00	1.0
4	375.00	0.21	186.67	0.07	12000.00	1.0
5	268.00	0.15	133.33	0.05	1050.00	1.0
6	643.00	0.36	320.00	0.12	9999.00	1.0
$c_i$	75.00	389.50	0.00			

Πίνακας 3.1: Δεδομένα Προβλήματος 2

### 3.2.2 Ερωτήματα

Ζητείται να σχεδιασθεί του μοντέλου απόφασης και να επιλυθεί με στόχο τη βέλτιστη (δυνατή) λειτουργία του συστήματος διαχείρισης υλικών.

### 3.2.3 Λύση

Με βάση τα δεδομένα που δόθηκαν παραπάνω, ο τύπος (1) γίνεται ως εξής:

$$\text{Min}\{1,286.40X_{11}+2,680.00X_{12}+\dots+1,050X_{35}+9,999.00X_{36}+75.00Y_1+389.50Y_2\}$$

Με τους παρακάτω περιορισμούς:

$$X_{11}+X_{21}+X_{31}=1$$

...

$$X_{16}+X_{26}+X_{36}=1$$

$$0.72X_{11} + 1.50X_{12} + 0.15X_{13} + 0.21X_{14} + 0.15X_{15} + 0.36X_{16} \leq Y_1$$

$$0.24X_{21} + 0.50X_{22} + 0.12X_{23} + 0.07X_{24} + 0.05X_{25} + 0.12X_{26} \leq Y_2$$

$$X_{ij} \ 0 \ \text{ή} \ 1 \quad Y_1, Y_2 \ \text{ακέραιοι}$$

Η μεταβλητή  $Y_3$  για τα μεταφορικά δε χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο αφού η παράμετρος κόστους που της αντιστοιχεί είναι 0. Με την επίλυση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού, προκύπτει ότι:

$$X_{21} = X_{22} = X_{24} = X_{25} = X_{26} = X_{33} = 1$$

$$Y_2 = 1$$

Όλες οι άλλες παράμετροι είναι 0

Η λύση αυτή παραπέμπει στην αγορά ενός μεταφορικού για την κίνηση 3 και ενός lift truck για όλες τις υπόλοιπες. Το κόστος της λύσης προκύπτει \$3,327.83 ανά μήνα. Το lift truck χρησιμοποιείται κατά 98% του χρόνου. Αν για κάποιο λόγο αποφαιζόταν από την επιχείρηση πως ο βαθμός απασχόλησης του εξοπλισμού δε θα έπρεπε να υπερéβαινε το 90%, το πρόβλημα θα μπορούσε να ξαναλυθεί με τον παράγοντα 0.9 πολλαπλασιασμένο με το  $Y_2$  στον τελευταίο περιορισμό. Αυτό το πρόβλημα θα επιλυνόταν με προτεινόμενο αποτέλεσμα την αγορά ενός μεταφορικού για την κίνηση 1 και χρήση lift trucks για τις άλλες 5 κινήσεις. Το μηνιαίο κόστος θα ήταν \$3,572.83, αυξημένο κατά \$245, αλλά αυτή τη φορά, ο βαθμός απασχόλησης του lift truck θα ήταν ίσος με 86% κατά μέσο όρο.

Για μεγάλα μοντέλα, το παραπάνω μαθηματικό πρόβλημα γίνεται πολύ δύσκολο κατά την επίλυσή του εξαιτίας των μεταβλητών  $Y_i$ . Ας υποθέσουμε ότι τα  $Y_i$  παύουν να έχουν τον περιορισμό να λαμβάνουν ακέραιες τιμές. Κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι θα

μπορούσαμε να αγοράσουμε κλασματικό αριθμό μονάδων εξοπλισμού. Υποθέτοντας  $c_i \geq 0$ , θα αγοράσουμε τον αριθμό μονάδων εξοπλισμού τύπου  $i$  που χρειάζονται ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός δυναμικότητας (3). Από τον (3), επιλύοντας ως προς  $Y_i$  έχουμε:

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^N t_{ij}^* X_{ij}}{T_i}$$

Με αυτόν τον τρόπο, εξαλείφουμε τις μεταβλητές  $Y_i$  από το μοντέλο. Αν τοποθετήσουμε τη σχέση (2) στην (1) θα προκύψει η αντικειμενική συνάρτηση:

$$\text{Όπου } c'_{ij} = c_{ij} + C_i (t_{ij} / T_i)$$

Το υπόλοιπο μαθηματικό πρόβλημα έχει παρόμοια δομή με τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν προηγούμενα. Μπορεί να επιλεγεί μία μέθοδος για κάθε κίνηση χωριστά, αφού παραμένουν μόνο οι περιορισμοί (2) και (4). Η βέλτιστη λύση προκύπτει όταν κάθε κίνηση αντιστοιχηθεί με τον εξοπλισμό που εξασφαλίζει ότι το  $c'_{ij}$  γίνεται ελάχιστο. Αυτό το είδος προβλήματος 0 - 1 προσφέρει δύο είδη πληροφορίας: Πρώτα, ότι έχουμε ένα κατώτερο όριο στη βέλτιστη λύση του αρχικού ακέραιου προβλήματος. Κατά δεύτερο λόγο, ότι γνωρίζουμε τον καλύτερο τύπο εξοπλισμού για την κάθε κίνηση αν κάθε μονάδα εξοπλισμού χρησιμοποιείται κατά 100%. Ας θεωρήσουμε ότι και τα  $X_{ij}$  παύουν να είναι ακέραιοι. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των μονάδων εξοπλισμού που χρειαζόμαστε. Στρογγυλοποιώντας αυτήν την ποσότητα στον κοντινότερο μεγαλύτερο ακέραιο, αποκτάμε μια αποδεκτή λύση στο πρόβλημα επιλογής εξοπλισμού. Αυτό προσφέρει ένα ανώτατο όριο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο σύγκρισης κάθε λύσης.

### 3.3 Επίλυση Προβλήματος Εξοπλισμού με Ευρετική Μέθοδο

#### 3.3.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ίδια με το παράδειγμα της παραγράφου 2.2.

#### 3.3.2 Ερωτήματα

Να βρεθεί ένα ανώτατο και κατώτατο όριο στο πρόβλημα του παραδείγματος 2 με αρχική επίλυση ενός λιγότερο αυστηρού προβλήματος και στρογγυλοποιώντας στη συνέχεια όλες τις τιμές  $Y_i$ .

#### 3.3.3 Λύση

Τα νέα μεταβλητά κόστη προσθέτοντας ένα τμήμα  $t_{ij}$  του  $c_i$  σε κάθε  $c_{ij}$  φαίνονται στον πίνακα 2.2.

Κίνηση	$c_{1j}$	$c_{2j}$	$c_{3j}$
1	1340.40	733.48	890.00
2	2792.50	1528.08	3600.00
3	279.25	366.74	325.00
4	390.95	213.94	1200.00
5	279.25	152.81	1050.00
6	670.20	366.74	9999.00

**Πίνακας 3.2: Μεταβλητά Κόστη Προβλήματος**

Ένα κατώτερο όριο (lower bound) βρίσκεται με επιλογή του λιγότερο ακριβού εξοπλισμού σε κάθε γραμμή. Κάτι τέτοιο παράγει τη λύση αγοράς ενός fork truck για τις κινήσεις 1, 2, 4, 5 και 6 και χρήσης ενός χειροκίνητου cart για την κίνηση 3. Αθροίζοντας τα νέα κόστη προκύπτει ένα κατώτερο όριο \$3,274.30. Η αντίστοιχη λύση ακεραίου προγραμματισμού είναι :

$$X_{13} = X_{21} = X_{22} = X_{24} = X_{25} = X_{26} = Y_1 = Y_2 = 1$$

Όλες οι άλλες μεταβλητές είναι 0.

Το κόστος αυτής της αποδεκτής λύσης δίνει το άνω όριο των \$3,345.83. Αυτό αντιστοιχεί σε \$18.00 ανά μήνα περισσότερο από τη βέλτιστη λύση που βρέθηκε ναωρίτερα.

Στρογγυλοποιώντας τις τιμές  $Y_i$  στον πλησιέστερο μεγαλύτερο ακέραιο αποκτάμε μία ευρετική λύση. Στη συνέχεια, είναι επιθυμητό να βρεθεί το κατά πόσο μπορούν να βρεθούν βελτιωμένες λύσεις. Αν διατηρηθεί η ίδια σύνθεση εξοπλισμού, βελτιωμένη λύση μπορεί να βρεθεί μόνο με μεταφορά κινήσεων ώστε να καταργηθεί μία ή παραπάνω μονάδες από τα είδη εξοπλισμού. Αν ορισθεί ο αριθμός των κομματιών για κάθε είδος εξοπλισμού ( $Y_i$ ), δημιουργείται ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού, όπου τα  $Y_i$  είναι πλέον σταθερά. Ας δούμε τι θα συμβεί στην περίπτωση που παραβλέψουμε τους περιορισμούς 0-1 (ακέραιος προγραμματισμός) και το πρόβλημα επιλυθεί με γραμμικό προγραμματισμό. Τα  $X_{ij}$  γίνονται το ποσοστό της κίνησης  $j$  που πραγματοποιείται από το είδος εξοπλισμού  $i$ . Λύση του γραμμικού αυτού προβλήματος δίνει αποτελέσματα όπου είναι δυνατό να υπάρχουν το πολύ  $N+M$  θετικά  $X_{ij}$ , ένα για κάθε περιορισμό. Από τη στιγμή που για την κάθε κίνηση απαιτείται τουλάχιστον μια μέθοδος, υπάρχουν το πολύ  $M$  περιπτώσεις που εναλλακτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μια κίνηση. Τυπικά,  $M \ll N$ . Από τη στιγμή που το γραμμικό πρόβλημα μπορεί εύκολα να μετατραπεί για αλλαγές των  $Y_i$ , είναι δυνατή η πραγματοποίηση σεναρίων what – if. Μετά την εύρεση του πάνω ορίου της λύσης, μπορούν να αναζητηθούν καλύτερες λύσεις με επιλογή ενός εξοπλισμού τύπου  $i$ , μειώνοντας το  $Y_i$  κατά μία μονάδα και λύνοντας το νέο γραμμικό πρόβλημα. Ο δεύτερος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης ( $\sum_i C_i Y_i$ ) είναι πλέον σταθερός όρος.

### 3.4 Επίλυση Προβλήματος Εξοπλισμού με Ευρετική Μέθοδο - Προσθήκη Περιορισμών

#### 3.4.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ο αναλυτής που επέλυσε το προηγούμενο πρόβλημα κατέληξε να έχει την ευρετική λύση που περιγράφηκε στην παράγραφο 2.3. Παρόλα αυτά, αναρωτιέται αν αξίζει να αγοράσει ένα καρότσι και να έχει τον εξοπλισμό χειροκίνητης διαχείρισης υλικών (manual material handler) με βαθμό απασχόλησης μόλις 15%.



### 3.4.2 Ερωτήματα

Τι συμβαίνει αν τεθούν επιπλέον οι παραπάνω περιορισμοί;

### 3.4.3 Λύση

Ο αναλυτής από περιέργεια μπορεί να θέσει  $Y_i = 0$  αφαιρώντας με αυτόν τον τρόπο τον εξοπλισμό του πρώτου τύπου. Ταυτόχρονα, αναγνωρίζοντας ότι το δεύτερο lift truck θα χρησιμοποιείτο ακόμα λιγότερο, ο αναλυτής θέτει τη μεταβλητή  $Y_2=1$ . Συνεχίζει με λύση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού χρησιμοποιώντας 18 μεταβλητές, από την  $X_{11}$  έως την  $X_{36}$ . Η λύση που προκύπτει είναι η αγορά 0.833 του conveyor, για την κίνηση 3 και η χρήση του lift truck για όλες τις άλλες κινήσεις. Το κόστος που προκύπτει για αυτή λύση είναι \$3,327.00. Είναι προφανές ότι δεν μπορεί να αγοραστεί 0.833 του conveyor. Για να βρεθεί μία εφικτή λύση θα πρέπει να προστεθεί το:

$$(1 - 0.833)C_3 = \$54.17$$

Παρόλα αυτά, με την αγορά του conveyor η εταιρεία θα γλιτώσει το μεταβλητό κόστος του lift truck το οποίο δε θα χρησιμοποιηθεί καθόλου για την κίνηση 3. Αυτό θα δώσει ένα όφελος της τάξεως των:

$$0.167 * 320.00 = \$53.33$$

Η καθαρή αύξηση είναι μόλις \$0.83.

## 3.5 Πρακτικοί Περιορισμοί

Το μοντέλο επιλογής εξοπλισμού που αναλύθηκε νωρίτερα έκανε μία βασική παραδοχή: Οι πληροφορίες που ήταν διαθέσιμες περιελάμβαναν όγκους κινήσεων. Η πραγματικότητα είναι ότι λίγοι μηχανικοί εργοστασίων είναι σε θέση να γνωρίζουν επακριβώς τον αριθμό ανεξάρτητων κινήσεων για κάθε προϊόν κατά τη διάρκεια ζωής ενός νέου εξοπλισμού διαχείρισης υλικών. Πολλά τέτοια συστήματα διαχείρισης έγινε αναγκαίο να παραμείνουν αχρησιμοποίητα λόγω αλλαγών στην κίνηση ή την παραγωγή των προϊόντων. Σε ένα δυναμικό περιβάλλον, η δυνατότητα ευελιξίας (flexibility) είναι ύψιστης σημασίας, και αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται προϊόντα διαφορετικού μεγέθους, σχήματος, βάρους, αριθμού και από διαφορετικές διαδρομές. Σημαντικό προσόν είναι επίσης αυτό που στα αγγλικά ονομάζεται modularity και αναφέρεται στη δυνατότητα αλλαγής διαδρομών και

δυναμικότητας με την ενεργοποίηση κατάλληλων modules («δομικών λίθων») ανάλογα με την περίπτωση. Σε περιπτώσεις που απαιτείται η αγορά ενός επιπλέον οχήματος ή άλλου μέσου, θα πρέπει να προτιμάται η λύση που παρέχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα προσαρμοστικότητας σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και απαιτήσεις εργασίας. Ο μηχανικός, από την πλευρά του, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του μελλοντικές αλλαγές ώστε να σχεδιάζει την κατάλληλη χωροταξία που δε θα επηρεάζει την παραγωγή. Η δυνατότητα που παρέχει το κτίσιμο σε modules είναι σημαντική σε αυτήν την περίπτωση.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Μία αρκετά συνηθισμένη περίπτωση είναι η παραλαβή (λήψη) μεγάλων όγκων υλικού που φτάνει την ίδια στιγμή για επεξεργασία. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί στην εξέδρα φόρτωσης (loading dock), σε μια αποθήκη ή σε ένα σταθμό εργασίας (workstation). Η παραπάνω περίπτωση έχει μελετηθεί (Tompkins & White, 1984) στην περίπτωση όπου οι παραγγελίες φθάνουν ακολουθώντας κατανομή Poisson (εκθετικά κατανεμημένος χρόνος μεταξύ διαδοχικών αφίξεων) και που ο χρόνος επεξεργασίας ακολουθεί εκθετική κατανομή. Έστω  $b$  ο αριθμός των φορτίων ανά άφιξη. Θεωρούμε ότι το  $b$  είναι ανεξάρτητο από το χρόνο μεταξύ των αφίξεων και από το χρόνο εξυπηρέτησης των φορτίων. Έστω  $\lambda$  ο ρυθμός με τον οποίο συμβαίνουν τα συμβάντα και  $\mu$  είναι ο αριθμός κατά τον οποίο τα ανεξάρτητα φορτία εξυπηρετούνται. Έστω  $L$  ο μέσος αριθμός φορτίων που περιμένουν να εξυπηρετηθούν (ουρά αναμονής) και  $w$  η μέση διάρκεια από τη στιγμή που ένα φορτίο φτάνει έως τη στιγμή που αυτό έχει πλήρως εξυπηρετηθεί. Ο δείκτης  $q$  υποδηλώνει ότι η μέτρηση σχετίζεται μόνο με το χρόνο αναμονής στην ουρά μέχρι να ξεκινήσει η εξυπηρέτηση. Με ένα σταθμό εξυπηρέτησης (server), η περίπτωσή μας εκφράζεται από το μοντέλο  $M^b/M/1/\infty$  συστήματος αναμονής, για το οποίο:

$$L = \frac{\lambda[V(b) + E^2(b) + E(b)]}{2[\mu - \lambda E(b)]} \quad (5)$$

$$L_q = L - \frac{\lambda E(b)}{\mu} \quad (6)$$

$$W = \frac{V(b) + E^2(b) + E(b)}{2E(b)[\mu - \lambda E(b)]} \quad (7)$$

$$W_q = W - \frac{1}{\mu} \quad (8)$$

## 4.1 Παράδειγμα Φαινομένων Αναμονής

### 4.1.1 Δεδομένα

Παρτίδες εξαρτημάτων φτάνουν σε μια αποθήκη. Ο αριθμός των παλετών σε κάθε παρτίδα έχει μέση τιμή 5 και διασπορά (variance) 4. Ο ρυθμός άφιξης των παρτίδων

είναι 10 την ημέρα. Ένας απλός συσσωρευτής (stacker) είναι διαθέσιμος για αποθήκευση των φορτίων. Ο μέσος χρόνος για την αποθήκευση κατανέμεται εκθετικά με μέση τιμή 0.01 ημέρες.

#### 4.1.2 Ζητούμενα

Να βρεθεί ο αναμενόμενος αριθμός φορτίων στην ουρά για την αποθήκευση.

#### 4.1.3 Λύση

Δίνονται:

- $\lambda = 10$
- $\mu = 100$
- $E(b) = 5$
- $V(b) = 4$

Από την (5) προκύπτει:  $L = 3.4$  φορτία

Δυστυχώς, αντί του μέσου αριθμού των φορτίων, ενδιαφερόμαστε περισσότερο για ένα λογικό ανώτατο όριο του αριθμού φορτίων, αφού θα πρέπει να εξασφαλίσουμε απαραίτητο χώρο για τον μέγιστο αριθμό φορτίων. Ένα πιο πολύπλοκο σύστημα είναι απαραίτητο για την εύρεση των πιθανοτήτων διαφορετικών αριθμών φορτίων στην αναμονή.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ**  
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ**

Τα μεταφορικά φορτώνονται με υλικό. Το υλικό ταξιδεύει μέσω του μεταφορικού και τελικώς ξεφορτώνεται. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, το υλικό είναι δυνατό να επισκέπτεται σταθμούς εργασίας. Όταν το υλικό βρίσκεται σε σταθμό εργασίας, ή παραμένει στο μεταφορικό ή μετακινείται προσωρινά για επεξεργασία. Το μεταφορικό πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει ικανοποιητικά επίπεδα απόδοσης στο ανάλογο περιβάλλον. Στα μεταφορικά κλειστού βρόχου, (closed-loop ή recirculated) για παράδειγμα, ένας σταθμός εκφόρτωσης μπλοκαρισμένος οδηγεί στην κυκλική κυκλοφορία του υλικού που περνά μία ή περισσότερες φορές από σταθμούς επεξεργασίας μέχρι να ξεφορτωθεί.

Οι **βασικές μεταβλητές απόφασης** κατά τη σχεδίαση μεταφορικών είναι η ταχύτητα, η απόσταση των δοχείων μεταφορών, το μήκος του μεταφορικού, η δυναμικότητα του δοχείου (δηλαδή η χωρητικότητά του) και ο αριθμός των σταθμών φόρτωσης και εκφόρτωσης. Οι ερευνητές έχουν εφαρμόσει καθοριστικά ή ντετερμινιστικά (deterministic) και πιθανολογικά ή στοχαστικά (probabilistic) μοντέλα ανάλυσης της απόδοσης των μεταφορικών σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Τα μοντέλα ποικίλουν στις παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγουμένα. Οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αφίξεων μπορεί να είναι στοχαστικές ή ντετερμινιστικές μεταβλητές. Ακόμα και όταν είναι ντετερμινιστικές, μπορεί να είναι σταθερές ή κυκλικές.

## 5.1 Μεταφορικά Κλειστού Βρόχου

Τα μεταφορικά κλειστού βρόχου που κινούνται με σταθερή ταχύτητα σε δεδομένη διαδρομή έχουν ευρεία χρήση τόσο σε εργοστασιακή πρακτική όσο και σε αναλυτική μοντελοποίηση. Τα φορτία φορτώνονται στους σταθμούς  $M_i$ . Ξεφορτώνονται στους σταθμούς  $M_{ii}$ . Στο μεταξύ, τα υλικά μπορεί να δέχονται επεξεργασία στους σταθμούς  $M_w$ . Τα δοχεία μεταφοράς βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Η ταχύτητα του μεταφορικού είναι  $v$  ft/λεπτό και ο αριθμός των μεταφορικών δοχείων  $N$ . Κάθε δοχείο  $N$  χωρά  $c$  τεμάχια.

Ο Bastani (1988) μελετά μια κλασική περίπτωση μεταφορικού. Μονάδες φτάνουν σε κάθε σταθμό φόρτωσης κάθε  $\lambda^{-1}$  λεπτά, (ντετερμινιστικό μέγεθος). Κάθε δοχείο μεταφέρει ένα κομμάτι και η απόσταση μεταξύ των δοχείων είναι σταθερή και ίση με

d. Αν το επόμενο δοχείο που περνά το σταθμό φόρτωσης τη στιγμή που φτάνει η μονάδα είναι γεμάτο, ή αν ο σταθμός φόρτωσης είναι απασχολημένος στο να φορτώνει μια προηγούμενη άφιξη, η μονάδα τοποθετείται στην άκρη ώστε να γίνει διαχειρίσιμη με άλλη μέθοδο. Ο χρόνος εκφόρτωσης μιας μονάδας είναι  $\mu^{-1}$  (ντετερμινιστικό μέγεθος). Θα επιτρέψουμε  $M_u \geq 1$  σταθμούς εκφόρτωσης. Την πρώτη φορά που μια μονάδα περνά από ακινητοποιημένο σταθμό εκφόρτωσης, εκφορτώνεται. Αν όλοι οι σταθμοί εκφόρτωσης  $M_u$  είναι απασχολημένοι, η μονάδα περνά ξανά από το σταθμό φόρτωσης. Αν οι μονάδες φτάνουν γρηγορότερα απ' ό,τι μπορούν να φορτωθούν, δημιουργείται μπλοκάρισμα (blocking). Αυτή η συνθήκη προκύπτει όταν  $\lambda > u/d$ , δηλαδή οι αφίξεις στη μονάδα του χρόνου ξεπερνούν τον αριθμό των δοχείων που προσπερνούν τους σταθμούς φόρτωσης (στη μονάδα του χρόνου). Στην πραγματικότητα, μπορούμε να φορτώσουμε μόνο 1 από  $k$  διαδοχικές αφίξεις, όπου  $k$  είναι ο μικρότερος ακέραιος που είναι μεγαλύτερος ή ίσος από το  $\lambda * d/u$ . Αν το  $k > 1$ . Τότε κάθε φορά που ξεκινά μια διαδικασία φόρτωσης, οι επόμενες  $k-1$  αφίξεις τίθενται στην άκρη, γιατί δεν υπάρχει διαθέσιμο δοχείο. Θεωρούμε ότι ο χρόνος φόρτωσης είναι λιγότερος από το χρόνο μεταξύ διαδοχικών αφίξεων. Αλλιώς θα πρέπει με κάποιο τρόπο να διαχειριστούμε το μπλοκάρισμα που θα προκύψει.

## 5.2 Παράδειγμα Μεταφορικού Κλειστού Βρόχου

### 5.2.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ένα μεταφορικό 100ft έχει δοχεία ανά 10 ft. Τα υλικά φθάνουν με ρυθμό 2 / λεπτό για φόρτωση. Η φόρτωση παίρνει λίγο χρόνο.

### 5.2.2 Ζητούμενα

Να βρεθεί η ελάχιστη ταχύτητα του μεταφορικού για να εμποδιστεί το μπλοκάρισμα των εισερχομένων αφίξεων εξαιτίας απουσίας δοχείου.

### 5.2.3 Λύση

Η συνθήκη απαγόρευσης μπλοκαρίσματος είναι  $u \geq d$ . Άρα:

$$u \geq d * \lambda = 10 * 2 = 20 \text{ ft / λεπτό}$$



### 5.3 Συνθήκες Μπλοκαρίσματος

Μπορεί να φαίνεται επιπόλαιο να σχεδιαστεί μεταφορικό με  $\kappa > 1$ . Αν το σύστημα ήταν πραγματικά σταθερό στο χρόνο, το  $\kappa$  θα ήταν μικρότερο του 1, ένα απόλυτα λογικό κριτήριο. Παρόλα αυτά, ας φανταστούμε ότι το μεταφορικό φορτώνεται από μια παραγωγική διαδικασία με περιοδικά τρεξίματα (runs) λόγω ρυθμίσεων – προετοιμασιών (set ups). Οι περίοδοι αφίξεων με ρυθμό  $\lambda$  μπορεί να εξουδετερωθούν από περιόδους χωρίς αφίξεις. Κατά τη διάρκεια των αφίξεων, κάποια κομμάτια θα πρέπει να αποθηκευτούν κατά τη φόρτωση του μεταφορικού. Αυτά τα κομμάτια προστίθενται όταν οι αφίξεις σταματούν. Σε αυτή την περίπτωση, η σωστή λειτουργία του μεταφορικού μπορεί να στηρίζεται στο μακροπρόθεσμο ρυθμό αφίξεων. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να καλύψει τη συγκέντρωση (accumulation)  $(\kappa - 1)/\kappa$  προϊόντων στο σταθμό εισόδου κατά τη διάρκεια του τρεξίματος της παραγωγής.

Οι σταθμοί εκφόρτωσης πρέπει να σχεδιαστούν ώστε να διαχειριστούν την κυκλοφορία (traffic) του μεταφορικού. Κάτι τέτοιο ικανοποιείται εφόσον  $M_u^* \mu \geq \lambda/\kappa$ , που σημαίνει ότι οι σταθμοί εκφόρτωσης θα πρέπει να ακολουθούν το ρυθμό των σταθμών φόρτωσης και να διατηρήσουν την ανακύκλωση. Ακόμα και όταν η δυναμικότητα είναι ικανοποιητική, κάποιο συγκεκριμένο ύψος αφίξεων μπορεί να είναι απαραίτητο στην εκφόρτωση. Οι αφίξεις δεν είναι απαραίτητο να είναι ισόχρονα κατανεμημένες. Αν  $\lambda * d/v = 2/3$  για παράδειγμα, τότε θα εμφανίζονται 2 γεμάτα δοχεία που θα ακολουθούνται από ένα άδειο. Ο χρόνος προώθησης του μεταφορικού από το ένα δοχείο στο επόμενο είναι  $d/v$ . Ένας σταθμός εκφόρτωσης που χρειάζεται μεταξύ  $d/v$  και  $1.5d/v$  χρόνο για εκφόρτωση ενός κομματιού θα έχει ικανοποιητική δυναμικότητα αλλά δε θα είναι έτοιμος να ξεφορτώσει τη δεύτερη συνεχόμενη μονάδα σε κάθε ζεύγος που πρωτοφτάνει. Έτσι, οι μισές μονάδες θα γυρνούν κυκλικά πίσω στο σταθμό φόρτωσης, δημιουργώντας συμφόρηση, ενώ ο σταθμός εκφόρτωσης δουλεύει σε δυναμικότητα μικρότερη της μέγιστης. Βέβαια, σε κάποια φάση θα δημιουργηθεί μία σταθερή κατάσταση, η οποία όμως δε θα αποκλείει κάποια μπλοκαρίσματα.

## 5.4 Προσδιορισμός Δυναμικότητας Δοχείων

Το προηγούμενο μοντέλο επικεντρώθηκε στη σωστή λειτουργία των σταθμών φόρτωσης / εκφόρτωσης. Μια άλλη διάσταση είναι η επάρκεια της δυναμικότητας των δοχείων. Το δοχείο μπορεί να είναι ένα πραγματικό εξάρτημα (formal holding device) ή συγκεκριμένο μήκος του μεταφορικού. Θα θεωρηθεί παρακάτω, ένα ντετερμινιστικό μοντέλο. Με αυτόν τον όρο εννοούμε ότι ο όγκος και ο χρόνος φορτώσεων / εκφορτώσεων είναι γνωστά.

Έστω  $N$  ο αριθμός των δοχείων.  $M$  είναι ο αριθμός των σταθμών φόρτωσης / εκφόρτωσης. Το ποσό του υλικού που φορτώνεται στο δοχείο  $j$  που περνά το σταθμό  $i$  δίνεται από το  $f_i(j)$ . Αρνητικές τιμές του  $f_i(j)$  υποδηλώνουν προσπάθειες εκφόρτωσης του δοχείου. Θεωρούμε μια επαναληπτική περίοδο μήκους  $p$  για δραστηριότητες φόρτωσης / εκφόρτωσης τέτοιες ώστε:

$$f_i(j) = f_i(j+p)$$

Για να γίνει πιο κατανοητό το παραπάνω, έχουμε το εξής παράδειγμα: Ένας σταθμός φόρτωσης προσθέτει μία κούτα κάθε δεύτερο δοχείο που περνά το σταθμό αυτό. Έτσι:  $p=2$  και  $f_i(j)=\{1,0\}$

Επειδή η σταθερότητα του μεταφορικού απαιτεί φόρτωση σε ισόποση εκφόρτωση στον κύκλο  $p$ , πρέπει να έχουμε:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^p f_i(j) = 0$$

Εκτός από το ότι το κάθε δοχείο είναι 1 από τα  $N$ , τα δοχεία αναγνωρίζονται από την παρούσα θέση  $j$  στον κύκλο φόρτωσης / εκφόρτωσης. Υποθέτουμε ότι τα  $f_i(j)$  ορίζονται έτσι ώστε να συνεργάζονται μεταξύ των σταθμών εργασίας. Ένα δοχείο που αντιστοιχίζεται σε  $j=1$  για τον πρώτο σταθμό, θα αντιστοιχίζεται σε  $j=1$  σε κάθε επόμενο σταθμό επίσκεψης στο ίδιο ταξίδι στο μεταφορικό. Σε κάθε ταξίδι γύρω από το μεταφορικό, ένα δοχείο στη θέση  $j$  θα αλλάξει το φορτίο του κατά:

$$\sum_{i=1}^M f_i(j) = 0$$

Δηλαδή, πραγματοποιείται αλλαγή κατά το άθροισμα των φορτώσεων / εκφορτώσεων σε κάθε σταθμό.

Ας θεωρήσουμε ένα δοχείο  $n$  που φεύγει από το σταθμό  $i$ . Τα  $N$  δοχεία που περνούν από το σταθμό  $i$  πριν το δοχείο  $n$  ξαναγυρίσει αντιπροσωπεύει  $\lfloor N/p \rfloor$  ολοκληρωμένους κύκλους  $p+r$  πρόσθετων δοχείων. Κάθε φορά γύρω από το μεταφορικό, η θέση ενός δοχείου αυξάνει κατά  $r = N \bmod p$ . Ας θεωρήσουμε ότι έχουμε 7 δοχεία και ένα κύκλο 5 φορτώσεων - εκφορτώσεων. Αν στην προηγούμενη επίσκεψη ένα δοχείο έλαβε  $f_i(1)$  φορτία, τώρα θα λάβει  $f_i(1+7)$  φορτία. Ο σταθμός  $i$  βλέπει το δοχείο ως το όγδοο που φτάνει. Με ένα κύκλο πέντε περιόδων, το  $f_i(8)$  είναι το ίδιο με το  $f_i(3)$ , άρα  $r=2$  και  $r +$  παλιά θέση  $= 2 + 1 = 3$ . Θα βρούμε την απαιτούμενη δυναμικότητα του δοχείου βλέποντας το δοχείο κατά τη διάρκεια του κύκλου και καταγράφοντας τα επίπεδα φόρτωσής του. Αρχίζουμε με ένα άδειο δοχείο στη θέση 1 που φτάνει στο σταθμό 1. Προχωράμε σε όλους τους σταθμούς εργασίας διατηρώντας τη θέση 1. Στον επόμενο κύκλο γύρω από το μεταφορικό, το δοχείο είναι στη θέση  $1 + r$ . Συνεχίζουμε το ταξίδι μέχρι που γυρίζουν άδειοι στη θέση 1 στο σταθμό 1. Αυτός είναι ένας πλήρης κύκλος καταστάσεων για το δοχείο. Αν συνεχίσουμε, θα επαναλαμβάνουμε το παρελθόν. Η ελάχιστη απαιτούμενη δυναμικότητα του δοχείου είναι η διαφορά μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου επιπέδου φορτώσεων που παρατηρήθηκαν.

## 5.5 Παράδειγμα Διαχείρισης Μπλοκαρισμάτων Μεταφορικού

### 5.5.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ας θεωρήσουμε μεταφορικό δύο σταθμών. Αυτός έχει 17 δοχεία (με ίση απόσταση μεταξύ τους). Ο κύκλος φόρτωσης / εκφόρτωσης έχει μήκος 6 που δίνεται από:

$$f_1(j) = \{1, 2, 0, 3, 0, 0\}$$

$$f_2(j) = \{-2, 0, -2, 0, -2, 0\}$$

Έστω ότι ένα άδειο δοχείο μόλις φτάνει στο σταθμό φόρτωσης 1 στην αρχή του κύκλου.

### 5.5.2 Ζητούμενα

Ζητείται η αναγνώριση του περιεχομένου του μεταφορικού.

### 5.5.3 Λύση

Πρέπει να βρούμε το  $r = [N \bmod p]$ . Για το παράδειγμα:

$$r = 17 \bmod 6 = 5$$

Έστω  $b$  είναι ο φόρτος του δοχείου. Ξεκινώντας με άδειο δοχείο ( $b=0$ ) στη θέση 1, επισκεπτόμαστε το σταθμό 1. Επειδή  $f_1(1)=1$ , αυξάνουμε το  $b$  κατά 1. Η επόμενη στάση είναι ο σταθμός εκφόρτωσης. Επειδή  $f_2(1)=-2$ , ο φόρτος μειώνεται και  $b=-1$ . Όταν επιστρέψουμε στο σταθμό 1, πέρασαν 17 δοχεία από την προηγούμενή μας επίσκεψη. Άρα, είμαστε στο 18<sup>ο</sup> δοχείο του σταθμού. Αυτό μας βάζει 6<sup>ους</sup> σε θέση. Άρα,  $1+r=6$ . Στη θέση 6, λαμβάνουμε  $f_1(6)=0$ , και το  $b$  παραμένει  $-1$ . Συνεχίζοντας, καταγράφουμε τις θέσεις που φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

Θέση	Συνολικά Φορτία	
	Σταθμός 1	Σταθμός 2
1	1	-1
6	-1	-1
5	-1	-3
4	0	0
3	0	-2
2	0	0

**Πίνακας: Καταγραφή Θέσεων Παραδείγματος 4.5**

Η μέγιστη αλλαγή στο  $b$  είναι από 1 έως  $-3$ , άρα 4. Επομένως, τα δοχεία θέλουν χωρητικότητα τουλάχιστον 4. Τα πραγματικά επίπεδα φόρτωσης θα είναι 3 πάνω από τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα. Αυτή κάνει όλες τις τιμές μη αρνητικές και πάλι μικρότερες από 4, τη χωρητικότητα δοχείου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ AGV**

Τα μεταφορικά χρησιμοποιούνται για μεταφορά υλικών από σημείο σε σημείο. Επανδρωμένα φορτηγά (manned trucks) χρησιμοποιούνται για την παροχή πλήρους ευελιξίας διαδρομής. Μεταξύ των δύο αυτών καταστάσεων βρίσκονται τα οχήματα αυτόματης πλοήγησης (Automatically Guided Vehicles ή AGVs όπως και θα αναφέρονται στη συνέχεια), τα οποία μπορούν να μετακινηθούν μεταξύ δεδομένων σημείων μετακίνησης. Τα σημεία θα πρέπει να είναι εξαρχής ορισμένα και προκαθορισμένα και προγραμματισμένα σε συγκεκριμένο σύστημα ελέγχου. Βέβαια, σε ορισμένες περιπτώσεις και μετά από κάποια προσπάθεια, είναι δυνατή η αλλαγή κάποιων σημείων. Τα AGV είναι σημαντικά γιατί μπορούν να υποστηρίξουν ικανοποιητικά περιπτώσεις ασύγχρονης συναρμολόγησης και να χρησιμοποιηθούν σε μη επανδρωμένα μηχανολογικά συστήματα. Παρέχουν ευκολίες ελέγχου και μεταφοράς. Ένας κεντρικός υπολογιστής μοιράζει αρμοδιότητες σε οχήματα. Ο έλεγχος των οχημάτων και των συνθηκών κυκλοφορίας τους γίνονται είτε με τη χρήση κεντρικού συστήματος, είτε μέσω τοπικών ελεγκτών, καθένας εκ των οποίων ελέγχει συγκεκριμένο κομμάτι της διαδρομής. Οι τοπικοί ελεγκτές (local controllers) μπορούν να αποθηκεύσουν την πλήρη κατάσταση και σχετικές πληροφορίες της διαδρομής που είναι της αρμοδιότητάς τους. Οι ελεγκτές σε κάθε όχημα εκτελούν οδηγίες και ελέγχουν την περιοχή τους για να εξασφαλίσουν ασφάλεια. Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα συστήματα λειτουργούν με έναν επαγωγικό οδηγό (inductive guideway). Ένα σύρμα που βρίσκεται στο πάτωμα μεταφέρει εναλλασσόμενο ρεύμα με στόχο τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου που εντοπίζεται από αντένα που βρίσκεται στο πάνω μέρος των οχημάτων. Αναμετρικό σήμα ανοικτού βρόχου (open loop dead reckoning), οπτικοί / χημικοί οδηγοί (optical / chemical guideways), συστήματα σηματοδότησης με πομπούς στην οροφή και δέκτες στα οχήματα (beacon systems), και αδρανή συστήματα πλοήγησης (inertial guidance systems) χρησιμοποιούνται συνήθως για πλοήγηση. Τα οχήματα μπορούν επίσης να κινούνται με χρήση καλωδίου ρυμούλκησης και να αποσυνδέονται πρόσκαιρα για την πραγματοποίηση μιας άλλης διαδρομής.

Τα AGV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συλλογή και απόθεση υλικών ή σαν προσαρτήματα κινητών εξαρτημάτων.

Στην πρώτη περίπτωση, τα φορτία συλλέγονται σε κάποιο σημείο και αποθέτονται σε κάποιο άλλο. Τα σημεία συνδέονται είτε με σταθμούς εργασίας, είτε με

αποθηκευτικούς χώρους. Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας στο σταθμό, ο φόρτος, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα εξαρτήματα, περιμένει στο σημείο συλλογής μέχρι να έρθει ένα AGV να τον παραλάβει. Το σημείο συλλογής είναι ο αποθηκευτικός χώρος ή buffer εξόδου του σταθμού εργασίας. Τα σημεία απόθεσης είναι, αντίστοιχα, τα buffer εισόδου.

Στη δεύτερη περίπτωση, το κομμάτι μένει στο AGV κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Ο Gould (1990) περιγράφει τη χρήση AGVs σε δύο εργοστάσια συναρμολόγησης αυτοκινήτων. Κάθε AGV μεταφέρει ένα αυτοκίνητο κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης. Παραπάνω από χίλια οχήματα εξυπηρετούν πάνω από εκατό σταθμούς εργασίας. Τα οχήματα διασυνδέονται με μονές σιδηροτροχιές (monorails), ρομπότ, με γραμμές ρυμούλκησης και μεταφορικά στις διαφορετικές φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας του εργοστασίου. Λαμβάνουν σήματα RF σε συγκεκριμένα σημεία επικοινωνίας ώστε να κατευθύνουν το αυτοκίνητο στον κατάλληλο παράλληλο σταθμό εργασίας σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται εξισορρόπηση των γραμμών παραγωγής (line balancing) σε πραγματικό χρόνο (real time).

Στη συνέχεια, τα όσα γράφονται αναφέρονται σε περιβάλλον με σημεία συλλογής και απόθεσης (pickup and dropoff environment) με τις εξής βασικές παραμέτρους:

- **P**: σημεία συλλογής
- **D**: σημεία απόθεσης
- **Διαδρομή** μεταξύ **P** και **D**
- **Αριθμός οχημάτων** συστήματος
- **Διαδρομές** που πρόκειται να ακολουθήσουν τα οχήματα

Οι διαδρομές και η τοποθέτηση των P και D είναι ζητήματα σχεδιασμού (design issues). Ο αριθμός των εξαρτημάτων και οι κανόνες δρομολόγησης (routing) είναι ζητήματα λειτουργικά.



## 6.1 Σχεδιασμός Συστημάτων AGV

Ο προσδιορισμός των σημείων P και D εξαρτάται από τη χωροταξία των σταθμών εισόδου / εξόδου των κέντρων εργασίας που πρόκειται να εξυπηρετηθούν από το σύστημα AGV. Είναι δυνατό τα σημεία εισόδου και εξόδου να διαφέρουν ανά κέντρο εργασίας, μπορεί όμως να βρίσκονται και στην ίδια φυσική τοποθεσία. Η συγκεκριμένη τοποθέτηση των σημείων και ο τρόπος συνδέσεως μεταξύ τους διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο στο κόστος και την απόδοση του συστήματος.

Τα οχήματα ακολουθούν τους υπάρχοντες διαδρόμους στο εργοστάσιο. Οι τομές των διαδρόμων και τα σημεία συλλογής και απόθεσης φόρτου μπορούν να θεωρηθούν ως οι κόμβοι ενός δικτύου. Οι διαδρομές - γραμμές μεταξύ των κόμβων περιγράφουν τη διεύθυνση της ροής των οχημάτων. Το πρόβλημα απόφασης περιλαμβάνει την επιλογή της κατεύθυνσης μεταξύ των κόμβων. Υποτίθεται ότι τα οχήματα θα ακολουθήσουν τη συντομότερη διαδρομή. Οι Gaskins & Tanchoco, 1987, και οι Karsli & Tanchoco, 1990, παρουσιάζουν ένα μοντέλο προγραμματισμού 0-1 για την υποστήριξη της απόφασης - επιλογής της κατεύθυνσης ταξιδιού για κάθε διαδρομή μεταξύ 2 κόμβων (κλάδος - arc). Ο στόχος είναι η επιλογή κλάδων μεταξύ των P και D που να ελαχιστοποιούν τη συνολικά διανυόμενη απόσταση. Οι κυριότεροι περιορισμοί είναι οι εξής:

- Για κάθε κλάδο που εισέρχεται σε έναν κόμβο, κάποιος άλλος πρέπει να εξέρχεται
- Οι επιλογές κλάδων επιτρέπουν τη μετάβαση από έναν κόμβο σε έναν άλλο

Στην πράξη, διαφορετικοί σχεδιασμοί μπορούν να αξιολογηθούν για προβλήματα αυξημένης κυκλοφορίας. Το παρακάτω σχήμα δίνει μία σχηματική παράσταση μιας χωροταξίας δύο εναλλακτικών διαδρομών AGV. Οι ημερήσιες ροές μεταξύ των τμημάτων καταγράφονται σε πίνακα όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1 στην επόμενη σελίδα.



Από- Προς	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σύν.
1	-	40	25	30	10	10	20	5	10	150
2		-	40		30		10	10		90
3			-				50		10	60
4		5	10	-		10				25
5				100	-					100
6				60		-				60
7						40	-		40	80
8				10		5		-		15
9					60				-	60
Σύν	0	45	75	200	100	65	80	15	60	640

**Πίνακας 5.1: Ροές Μεταξύ Τμημάτων με Χρήση AGV**

Η διαδρομή με το μικρότερο συνολικό μήκος δεν είναι απαραίτητα και η καλύτερη. Διακλαδώσεις μπορεί να καθιστούν τα ταξίδια μικρότερα σε χρόνο, μειώνοντας τις ανεπιθύμητες αλληλοσυσχετίσεις. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές αρχές καλού σχεδιασμού που μπορούν να ακολουθηθούν. Οι βασικότεροι κανόνες παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

### 6.1.1 Κανόνες Σχεδιασμού Διαδρομής

Οι παρακάτω κανόνες είναι οι βασικότερες αρχές για το σχεδιασμό διαδρομών AGV:

1. Οι διαδρομές πρέπει να είναι μιας κατεύθυνσης, εκτός εάν η κυκλοφορία είναι πολύ ελαφριά (στόχος είναι ο περιορισμός του φαινομένου του μπλοκαρίσματος)
2. Οι σταθμοί συλλογής θα πρέπει να είναι μετά από τους σταθμούς απόθεσης. Το όχημα θα πρέπει να αδειάζει το φορτίο και να σηκώνει ένα νέο.
3. Για κάθε σημείο συλλογής κατά μήκος ενός τμήματος (segment), θα πρέπει ο αριθμός των αποθέσεων σε αυτό το σημείο να είναι το λιγότερο όσο μεγάλος

είναι ο αριθμός των συνολικών συλλογών του σημείου σε αυτό το segment (στόχος είναι η διπλή λειτουργία για κάθε segment)

4. Τα σημεία P και D πρέπει να τοποθετηθούν σε τμήματα χαμηλής χρήσης (low usage segment). Αυτό αποκλείει το μπλοκάρισμα των οχημάτων που προσπαθούν να προσπεράσουν τα σημεία P, D.
5. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, αν άδεια οχήματα μπαίνουν και σταματούν σε ένα segment για συλλογή, κανένα όχημα δεν πρέπει να φεύγει άδειο μετά την απόθεση ενός φορτίου. Θα πρέπει τα ταξίδια να είναι διπλά. Αντίστοιχα, αν γεμάτα οχήματα εισέρχονται για να αποθέσουν ένα φορτίο και φεύγουν άδεια, κανένα όχημα δεν πρέπει να μπαίνει άδειο και να φεύγει γεμάτο (χρειάζονται διπλές επισκέψεις, όσο είναι δυνατό, σε ένα τμήμα, για να περιοριστεί ο χρόνος που το όχημα κινείται άδειο).
6. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές διαδρομές (spurs ή bypasses) και συντομεύσεις (shortcuts) για μείωση της απόστασης ταξιδιού και την αποφυγή μπλοκαρισμάτων. Όμως, θα πρέπει να υπολογιστεί το επιπλέον κόστος και οι απαιτήσεις για αυξημένο έλεγχο.

### 6.1.2 Παράδειγμα Σχεδιασμού Συστήματος AGV

#### 5.1.2.1 Δεδομένα Προβλήματος

Έστω τα δεδομένα του πίνακα 5.1. Έστω επίσης η χωροταξία των παραγωγικών τμημάτων μιας επιχείρησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.

Τμήμα 1	Τμήμα 2	Τμήμα 3	Τμήμα 7
Τμήμα 4	Τμήμα 5	Τμήμα 6	
Τμήμα 8			Τμήμα 9

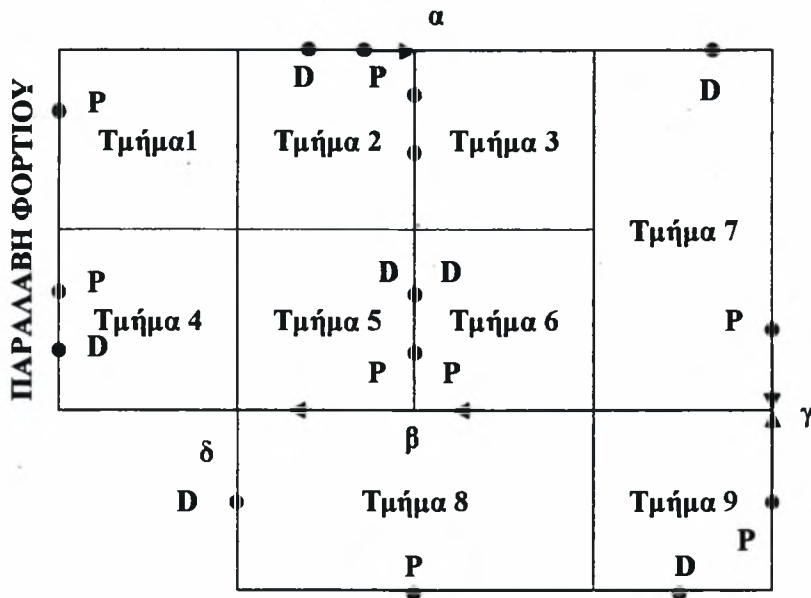
Σχήμα 6.1: Χωροταξία Παραγωγικών Τμημάτων Επιχείρησης

6.1.2.2 Ζητούμενα

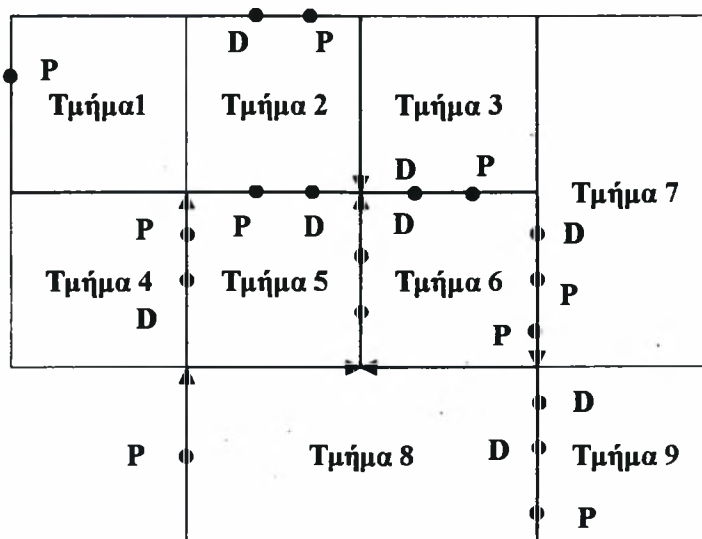
Ζητείται να βρεθούν δύο εναλλακτικές διαδρομές διαχείρισης υλικών

6.1.2.3 Λύση

Στα σχήματα 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται δύο εναλλακτικές διαδρομές.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα Α' Εναλλακτικής Διαδρομής



Σχήμα 6.3: Διάγραμμα Β' Εναλλακτικής Διαδρομής

Το υλικό λαμβάνεται στο τμήμα 1 και μοιράζεται. Τείνει να προωθείται κατά μήκος της εγκατάστασης και μετά αλλάζει κατεύθυνση καταλήγοντας στο τμήμα 4. Σε κάθε περίπτωση κατασκευάστηκαν τμήματα διαδρομής χωρίς κατεύθυνση, ώστε να εξασφαλιστεί τουλάχιστον ένα κοινό μέτωπο με κάθε τμήμα. Τα κοινά μέτωπα πρέπει να περιλαμβάνουν αποδεκτές τοποθεσίες P και D ανάλογα με τη χωροταξία του κάθε τμήματος. Μετά τον ορισμό μιας προτεινόμενης διαδρομής, τοποθετήθηκαν κατευθύνσεις ανάλογα με την απαιτούμενη ροή του υλικού.

Θα μπορούσε να προηγηθεί ο ορισμός των σημείων P και D και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα 0 – 1 για την επιλογή της φοράς κίνησης. Αντ' αυτού, ακολουθήθηκε ευέλικτη (μη αυστηρή) τοποθέτηση των P και D κατά τη σχεδίαση του συστήματος και κατασκευάστηκε μια προσανατολισμένη διαδρομή μεταξύ των τμημάτων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλα τα D σημεία είναι πριν από τα P. Επιχειρήθηκε επίσης να ελαχιστοποιηθούν οι στάσεις σε περιοχές με μεγάλο βαθμό χρήσης (utilisation).

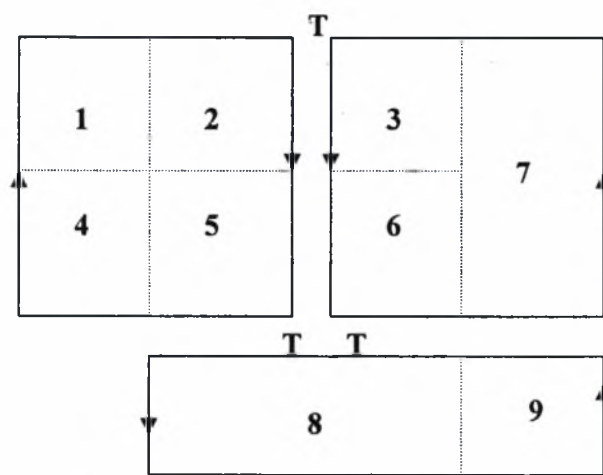
Κατά τη δεύτερη εναλλακτική, υπήρξε παρόμοια φιλοσοφία. Η πρώτη διαδρομή έχει μεγαλύτερο συνολικό μήκος από τη δεύτερη (950 ft η πρώτη και 800 ft η δεύτερη, κάτι που θα φαινόταν αν το προηγούμενο σχήμα ήταν σχεδιασμένο υπό κλίμακα). Παρόλα αυτά, μεγαλύτερης σημασίας είναι ο αριθμός των απαιτούμενων οχημάτων και η προσαρμοστικότητα της χωροταξίας στις νέες απαιτήσεις. Η κυκλοφορία και οι αποστάσεις μεταξύ των τμημάτων ορίζει τις απαιτήσεις σε οχήματα.

### 6.1.3 Προσεγγίσεις Προσδιορισμού Σημείων Δικτύων

Υπάρχουν αρκετές θεωρίες για τον προσδιορισμό σημείων σε δίκτυα (Handler & Mirchandani, 1979). Ο προσδιορισμός των P και D σε συγκεκριμένες διαδρομές ανήκει στην παραπάνω κατηγορία θεωριών. Τυπικοί αντικειμενικοί στόχοι είναι η ελαχιστοποίηση του μέσου ή μέγιστου μήκους διαδρομής. Δυστυχώς, η κυκλοφορία δεν μπορεί εύκολα να περιληφθεί στα μοντέλα, και το μπλοκάρισμα είναι πρωταρχικής σημασίας για τα προβλήματα που αναφέρονται σε συστήματα AGV.

Οι Bozer, Srinivasan (1989, 1991) προτείνουν μια εναλλακτική προσέγγιση όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο

αλληλοσυνδεδεμένων βρόχων, με κάθε βρόχο να έχει ένα όχημα. Για τη μεταφορά ενός φορτίου από τον ένα βρόχο στον άλλο, ή απαιτείται ένας προσωρινός αποθηκευτικός χώρος (buffer) στο σημείο τομής των βρόχων, ή τα δύο οχήματα θα πρέπει να συναντώνται για να γίνεται δυνατή η μεταφορά. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η κατάργηση του μπλοκαρίσματος των οχημάτων και ο εύκολος έλεγχος του συστήματος. Μειονεκτήματα είναι η αδυναμία αύξησης της ροής (throughput). Ενώ μπορούν να προστεθούν οχήματα στο βρόχο, θα παρουσιάζονταν προβλήματα μπλοκαρισμάτων.



*T: Σημείο Μεταφοράς*

**Σχήμα 6.4: Σύστημα AGV Τριών Οχημάτων με Σημεία Μεταφοράς**

## 6.2 Εκτίμηση Απαιτήσεων Οχημάτων

Με δεδομένη τη διαδρομή (guiderpath), ορίζουμε τον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται. Παρότι το πρόβλημα είναι στοχαστικό λόγω βλαβών, τυχαίων απαιτήσεων μετακινήσεων και μπλοκαρισμάτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλούστερο ντετερμινιστικό μοντέλο για την εκτίμηση των απαιτήσεων. Το σύνολο του χρόνου χρήσης μπορεί να διαιρεθεί σε πέντε κατηγορίες:

- Χρόνος ταξιδιού με φόρτο
- Χρόνος ταξιδιού χωρίς φόρτο
- Χρόνος μπλοκαρίσματος
- Χρόνος φορτώματος
- Χρόνος εκφόρτωσης

Θεωρούμε ότι ο αριθμός των φορτίων που συλλέγονται και αποθηκεύονται στα P και D είναι γνωστά. Αυτά καθορίζονται από τα πλάνα παραγωγής και διαδικασιών. Σε αυτήν την περίπτωση είναι εφικτό να βρεθεί η συντομότερη διαδρομή μεταξύ P και D. Συνδυάζοντας τις συντομότερες διαδρομές με τις προδιαγραφές του AGV σε ταχύτητα και επιτάχυνση, μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος ταξιδιού με φόρτο. Παρόμοια, οι προδιαγραφές του χρόνου φόρτωσης – εκφόρτωσης μπορούν να πολλαπλασιαστούν με τον αριθμό των φορτίων ώστε να βρεθεί ο συνολικός χρόνος φόρτωσης και εκφόρτωσης των οχημάτων.

## 6.2.1 Παράδειγμα Υπολογισμού Χρόνων AGV

### 6.2.1.1 Δεδομένα Προβλήματος

Ίδια με αυτά του προβλήματος της παραγράφου 5.1.2. Επιπλέον, να ληφθεί υπόψη ότι τα οχήματα χρειάζονται 30 δευτερόλεπτα για κάθε φόρτωση και εκφόρτωση και κινούνται με ταχύτητα 5 πόδια το δευτερόλεπτο. Τα 30 δευτερόλεπτα περιλαμβάνουν το χρόνο που σπαταλάται σε επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις.

### 6.2.1.2 Ζητούμενα

Ζητείται να υπολογιστεί ο χρόνος λειτουργίας κάθε οχήματος την ημέρα που απαιτείται για φορτώσεις, εκφορτώσεις και μετακινήσεις.

### 6.2.1.3 Λύση

Χρησιμοποιώντας την εναλλακτική που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2, κατασκευάζουμε έναν πίνακα διανοομένων αποστάσεων από τα P στα D. Οι αποστάσεις που φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν υπολογίστηκαν με βάση τις προσανατολισμένες διαδρομές και ένα πλέγμα το οποίο τοποθετήθηκε πάνω από το Σχήμα 6.2, το οποίο έδωσε τις συντεταγμένες.

Τμήμα	D	P
1	(0.120)	(0.130)
2	(70.150)	(80.150)
3	(100.130)	(100.120)

4	(0.70)	(0.80)
5	(100.80)	(100.70)
6	(100.80)	(100.70)
7	(170.150)	(200.70)
8	(50.25)	(100.0)
9	(175.0)	200.30)

Πίνακας 6.2: Συντεταγμένες Σημείων P και D

P>D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	90	140	340	190	190	190	295	445
2	290	-	40	240	90	90	90	195	345
3	240	340	-	180	40	40	440	145	295
4	40	140	190	-	240	240	240	345	495
5	190	290	340	140	-	390	390	95	245
6	190	290	340	140	390	-	390	95	245
7	290	390	440	240	490	490	-	195	345
8	420	520	570	370	620	620	620	-	75
9	290	390	440	240	490	490	490	195	-

Πίνακας 6.3: Απόσταση με Φόρτο για Εναλλακτική Α΄

Σαν παράδειγμα αποστάσεων, μπορεί να θεωρηθεί μία διαδρομή από το τμήμα 9 στο τμήμα 6. Το φορτίο παραλαμβάνεται από το σημείο (200,30). Το όχημα ταξιδεύει 20 πόδια και μετά στρίβει αριστερά για να ταξιδέψει κατά μήκος του διαδρόμου που διαχωρίζει τα τμήματα 7 και 9. Το όχημα προχωρά για 200 πόδια πριν στρίψει δεξιά. Συνεχίζει για 100 πόδια κατά μήκος του ορίου της εγκατάστασης και στρίβει δεξιά στο σημείο (0,150). Ταξιδεύει άλλα 100 πόδια πριν στρίψει δεξιά καθώς φτάνει το τμήμα 3. Το όχημα μετά ταξιδεύει 70 πόδια μέχρι το σημείο (100,80), όπου αφήνει το φορτίο του στο τμήμα 6. Η συνολική απόσταση που διένυσε είναι  $20+200+100+100+100+70 = 490$  πόδια.

Η συνολική απόσταση μπορεί να βρεθεί με πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων τιμών των Πινάκων 6.1 και 6.3. Έτσι προκύπτει πως η συνολική απόσταση είναι 159.925 πόδια. Για ταχύτητα 5 πόδια το δευτερόλεπτο υπολογίζεται ότι απαιτούνται 8.88 οχήματα κάθε ημέρα. Από τον Πίνακα 6.1, τα οχήματα μεταφέρουν 640 φορτία κάθε μέρα. Με 30 δευτερόλεπτα καθυστέρηση για φόρτωση και εκφόρτωση, προκύπτουν 320 λεπτά ή 5.33 ώρες την ημέρα που σπαταλούνται σε φόρτωση και άλλες τόσες (ώρες) για εκφόρτωση.

### 6.2.2 Άλλες Κατηγορίες Προβλημάτων Απαιτήσεως Οχημάτων

Εκτός των προβλημάτων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, δύο ακόμα κατηγορίες αντιμετωπίζονται με επιστημονικές μεθόδους:

- Ελαχιστοποίηση του χρόνου κατά τον οποίο ένα AGV κινείται άδειο
- Εξάλειψη φαινομένων μπλοκαρίσματος (blocking)

Ξεκινώντας με το χρόνο κατά τον οποίο ένα AGV κινείται άδειο, μπορεί να ειπωθεί ότι ο χρόνος αυτός σε συστήματα με μεγάλο βαθμό απασχόλησης προέρχεται από τις διαδρομές που πραγματοποιεί το AGV από το σημείο απόθεσης έως το επόμενο σημείο συλλογής φορτίου. Ο στόχος είναι ο ελάχιστος χρόνος των AGV χωρίς φορτίο που ικανοποιεί τις απαιτήσεις κινήσεων με φορτίο. Μεταβλητές απόφασης είναι ο αριθμός των χωρίς φορτίο ταξιδιών μεταξύ σημείων στο σύστημα. Κατά τους Maxwell και Muckstadt (1982), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο μεταφορών (transportation model) ώστε να βρεθεί ένα κατώτατο όριο ταξιδιού χωρίς φορτίο. Η συγκεκριμένη προσέγγιση στηρίζεται στη θεώρηση δικτύου. Παρότι τα σημεία P και D μπορούν να θεωρηθούν ως κόμβοι του δικτύου, το πρόβλημα μπορεί να απλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα τμήματα σαν κόμβους. Όταν ένα φορτίο αποστέλλεται στον προορισμό του, το κενό όχημα θα επιχειρήσει να μαζέψει φορτίο στο ίδιο τμήμα. Διαφορετικά, θα σταλεί αλλού για παραλαβή φορτίου. Στο δίκτυο μπορούν να περιληφθούν (και επομένως να μελετηθούν) και άλλες τοποθεσίες σημασίας για την επιχείρηση, όπως τομές δρόμων ή σταθμοί ανεφοδιασμού των οχημάτων.

Η δεύτερη κατηγορία προβλημάτων αναφέρεται στο ζήτημα του μπλοκαρίσματος. Το τυπικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας διαχωρίζει τη συνολική διαδρομή σε ζώνες



(Malmborg, 1990, 1991). Ο ρυθμιστής κυκλοφορίας (traffic controller) επιχειρεί να εμποδίσει δύο οχήματα να βρεθούν στην ίδια ζώνη. Ένα όχημα ακινητοποιείται στην περίπτωση που ετοιμάζεται να εισέλθει σε μια ζώνη όπου ήδη βρίσκεται ένα άλλο όχημα. Από τους υπολογισμούς ταξιδιών με φορτίο και χωρίς, υπάρχει μια πρόβλεψη για τη χρησιμοποίηση της κάθε ζώνης, αφού είναι γνωστός ο αριθμός των φορών που κάθε δρομολόγιο θα ακολουθηθεί.

Ένα σημείο που θα πρέπει να αναφερθεί είναι ότι το μέλλον στο θέμα της μελέτης των AGV μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικό. Πραγματικά εύελικτα και χωρίς αποθέματα παραγωγικά συστήματα θα απαιτούν γρήγορα, μικρά και ευέλικτα οχήματα. Συστήματα με τέτοια χαρακτηριστικά έχουν ήδη αρχίσει να κατασκευάζονται στη δεκαετία του 90. Όσο το κόστος εξελιγμένων οχημάτων μειώνεται, τόσο θα αυξάνει η ελευθερία των οχημάτων να κινούνται ελεύθερα, γεγονός που μπορεί να αλλάξει δραματικά τους περιορισμούς των προβλημάτων όπως λύνονται ως τώρα.

### 6.3 Λειτουργίες AGV

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός συστήματος, οι απαιτήσεις συλλογής και αποστολής θα πρέπει να ικανοποιηθούν σε κάθε σημείο P και D για κάθε βάρδια. Μπορούν να αναλυθούν δύο διαφορετικές περιπτώσεις:

- **Πρώτη περίπτωση:** Σταθερός ρυθμός απαιτήσεων για συλλογή και αποστολή. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σε περιπτώσεις διαδικασιών συνεχούς ροής παραγωγής ή συναρμολόγησης με σταθερή ζήτηση.
- **Δεύτερη περίπτωση:** Αναφέρεται σε καταστάσεις job shop, όπου η φύση της κατάστασης είναι πιο δυναμική

#### 6.3.1 Στατική Ροή

Υποθέτουμε ότι ο χρόνος απαιτήσεων μεταξύ συλλογής και απόθεσης είναι σχεδόν σταθερός σε κάθε τοποθεσία σημείων P και D. Σε τέτοιο περιβάλλον είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα σύνολο δρομολογήσεων για τα οχήματα που θα μπορεί να επαναλαμβάνεται συνεχόμενα για ένα χρονικό διάστημα που ικανοποιεί τις

απαιτήσεις εξυπηρέτησης των διαφορετικών τμημάτων. Θα πρέπει να οριστεί ένας κύκλος που θα είναι μια διαδρομή η οποία θα ξεκινά από ένα P και D σημείο και θα ξαναγυρνά σε αυτό. Ο κύριος στόχος είναι ο προσδιορισμός ενός σετ κυκλικών διαδρομών και μία συχνότητα για κάθε διαδρομή η οποία θα ικανοποιεί όλες τις κινήσεις, με φορτίο ή χωρίς, που θα έχουν προσδιοριστεί νωρίτερα. Ο τρόπος σχεδιασμού μιας διαδρομής έχει ως εξής: Πρώτα ορίζεται ένα σημείο συλλογής. Στη συνέχεια επιλέγεται ένας προορισμός. Ένας πιθανός επιλεγμένος προορισμός είναι αυτός στον οποίο αντιστοιχεί η κίνηση με το μεγαλύτερο μεταφερόμενο όγκο. Από το αντίστοιχο σημείο απόθεσης, επιλέγεται η επόμενη στάση λήψης φόρτου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι του σημείου όπου θα επαναπροσεγγιστεί το αρχικό σημείο. Αυτή είναι μια πλήρης διαδρομή. Ο αριθμός ταξιδίων που θα δοθεί σε αυτή τη διαδρομή είναι ο ελάχιστος αριθμός ταξιδίων που θα προγραμματιστεί για οποιαδήποτε κίνηση κατά μήκος της διαδρομής. Επόμενο βήμα είναι η ανανέωση του πίνακα απαιτήσεως κινήσεων, που επιτυγχάνεται με αφαίρεση των κινήσεων που ήδη προγραμματίστηκαν στο ταξίδι. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι που θα διευθετηθούν όλες οι κινήσεις.

Από τη στιγμή που οι διαδρομές έχουν οριστεί και ο απαιτούμενος αριθμός ταξιδίων έχει προσδιοριστεί, τα ταξίδια μπορούν να συνδεθούν με τα οχήματα. Τα ταξίδια κάθε διαδρομής θα πρέπει να κατανεμηθούν ομαλά κατά μήκος της προγραμματισμένης περιόδου. Επίσης, για την αποφυγή επιπλέον κενού χρόνου ταξιδιού, είναι προτιμότερο να προσδιοριστούν ταξίδια με το ίδιο σημείο έναρξης, στο ίδιο όχημα. Από τη στιγμή που μια προγραμματισμένη περίοδος επισημοποιείται, μπορεί να ελεγχθεί για φαινόμενα μπλοκαρίσματος με χρήση προσομοίωσης.

### 6.3.2 Δυναμική Ροή

Η αβεβαιότητα που επικρατεί στο περιβάλλον μιας εργασίας job shop, κάνει σχεδόν αδύνατο τον προγραμματισμό κινήσεων εκ των προτέρων. Αντ' αυτού, χρειάζονται κανόνες δυναμικής δρομολόγησης. Οι απαιτήσεις εξυπηρέτησης μπορεί να είναι δύο ειδών:

- **Απαίτηση για κίνηση λαμβάνει χώρα όταν ένα τεμάχιο τελειώνει σε ένα σταθμό εργασίας.** Αν υπάρχουν πάνω από ένα ακίνητα οχήματα, το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να επιλέξει το ένα από αυτά (προφανώς, όταν υπάρχει μόνο

ένα όχημα διαθέσιμο, η απόφαση είναι εύκολη, ενώ αν δεν υπάρχει κανένα όχημα διαθέσιμο, η απαίτηση μπαίνει σε σειρά αναμονής).

- Ένα όχημα είναι διαθέσιμο αλλά υπάρχουν πολλές απαιτήσεις κινήσεων που περιμένουν σε σειρά αναμονής. Αυτή είναι και η συνηθέστερη περίπτωση στην πράξη. Το σύστημα σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να αποφασίσει ποια κίνηση έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του συστήματος και ειδικότερα, την κατάσταση των ουρών αναμονής εισόδου και εξόδου των σταθμών εργασίας, την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται ένα όχημα και την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται οι φόρτοι που περιμένουν να εξυπηρετηθούν. Χρήσιμοι κανόνες είναι οι προτεραιότητες με βάση τον κανόνα FCFS (First Come, First Served) απαιτήσεων των σταθμών εργασίας, ή τον αριθμό των κενών θέσεων στην ουρά εξόδου (Egbelu και Tanchoco, 1987). Ο τελευταίος κανόνας σχεδιάστηκε με στόχο την αποφυγή μπλοκαρίσματος στο σταθμό εργασίας. Στην πραγματικότητα, το μπλοκάρισμα ενός σταθμού εργασίας καταλήγει στο μπλοκάρισμα ολόκληρου του συστήματος, αφού οι ουρές εισόδου γεμίζουν, το σύστημα ακινητοποιείται, ο σταθμός εργασίας παύει να δουλεύει και τα οχήματα σταματούν να κινούνται. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία περιοχή κεντρικής αποθήκευσης η οποία να κρατά τις επιπλέον ποσότητες που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν άμεσα.

Μία άλλη προσέγγιση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κάποιο περιβάλλον job shop είναι αυτή της κυκλικής δρομολόγησης (cyclic routing). Τα κενά οχήματα ταξιδεύουν από σημείο συλλογής σε σημείο συλλογής (κυκλικά) μέχρι που να βρεθεί κάποιο φορτίο προς αποστολή (κάτι τέτοιο δεν είναι άλλο από το πρόβλημα περιοδεύοντος πωλητή για τον προσδιορισμό του συντομότερου κύκλου σε ένα δίκτυο σημείων συλλογής). Αφού το φορτίο παραδοθεί, το όχημα ψάχνει το επόμενο σημείο στο οποίο υπάρχει φόρτος για αποστολή. Κατά τους Barholdi και Platzman (1989), αυτή η προσέγγιση αποδεικνύεται αποτελεσματική σε συστήματα απλών βρόχων. Σύστημα απλού βρόχου είναι αυτό στο οποίο το όχημα ταξιδεύει με βάση μια συγκεκριμένη (σταθερή) πορεία η οποία καλύπτει όλα τα κομμάτια της διαδρομής.

Κατά καιρούς, έχουν προταθεί αρκετοί κανόνες για έλεγχο AGV **Just In Time (JIT)**. Ο στόχος είναι να οριστούν προτεραιότητες που να κατευθύνονται από τη ζήτηση.

Αυτό σημαίνει ότι ένα αντικείμενο μετακινείται σε κάποια μηχανή μόνο όταν οι ουρές εισόδου και εξόδου είναι σχεδόν άδειες. Η λογική πίσω από αυτή την προσέγγιση είναι ότι αν η ουρά εξόδου είναι μεγάλη, δεν πρέπει η μηχανή να εργάζεται διότι κάτι τέτοιο θα παρήγαγε ανεπιθύμητα αποθέματα. Αν η ουρά εισόδου έχει εργασίες σε αναμονή, η μηχανή δε μπορεί να χρησιμοποιήσει επιπλέον πρώτη ύλη.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ**  
**ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΑΛΕΤΩΝ**  
**& ΦΟΡΤΟΥ**

Η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους και βάρους παλέτας είναι σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονται σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον και δε μπορούν να λυθούν με βέλτιστο τρόπο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα προϊόντα συσκευάζονται σε κουτιά καθώς ολοκληρώνεται η κατασκευή τους. Αυτά τα κουτιά, στη συνέχεια συσσωρεύονται σε παλέτες και δημιουργούν τη μονάδα φόρτου (unit handling load). Σε άλλες, πάλι, περιπτώσεις, τα κουτιά τοποθετούνται σε containers πριν τη συσσώρευση. Το **πρόβλημα πακεταρίσματος παλέτας στην παραγωγή** (Manufacturer's Pallet Packing Problem) περιλαμβάνει την επιλογή βέλτιστου μεγέθους των κουτιών, του container και της παλέτας για προϊόντα που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Οι Matson & Naik (1991) συζητούν για την επιλογή του μεγέθους του container για περιβάλλον παραγωγής σε μικρές μερίδες. Ο Steudel (1979) προτείνει τη χρησιμοποίηση δυναμικού προγραμματισμού για την φόρτωση ομοιόμορφων containers στις παλέτες. Ο πραγματικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση του αριθμού των μονάδων προϊόντων που μπορούν να χωρέσουν σε μία παλέτα. Ως περιορισμοί λειτουργούν οι διαστάσεις της παλέτας, η σταθερότητα του φορτίου και η αντοχή σε βάρος των containers.

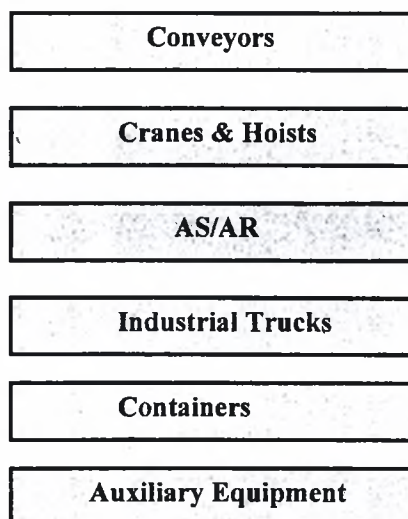
Στο **πρόβλημα πακεταρίσματος παλέτας στη διανομή** (Distributor's Pallet Packing Problem) ο στόχος είναι η φόρτωση ενός συγκεκριμένου σετ containers ποικίλου μεγέθους σε όσο το δυνατό λιγότερες παλέτες. Το σύνολο των containers αντιστοιχεί σε μια παραγγελία πελάτη. Υπάρχουν προσεγγίσεις δυναμικού προγραμματισμού σε προβλήματα δύο και τριών διαστάσεων (Hodgson, 1982 και Tsai et al, 1991 αντίστοιχα). Το πρόβλημα φόρτωσης των παλετών είναι αντίστοιχο αυτού της συσκευασίας δοχείων και μείωσης αποθέματος (Golden, 1976, Garey & Johnson, 1981, Tanchoco & Agee, 1981).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ**  
**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**  
**ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Η σύντομη μελέτη των συστημάτων διαχείρισης υλικών έδειξε ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια διαφοροποίηση της προσέγγισης και επίλυσης των προβλημάτων σε σχέση με το παρελθόν. Συγκεκριμένα:

- Η **προσέγγιση βελτιστοποίησης** ενός συγκεκριμένου **υποσυστήματος** αποδείχθηκε **μη αποδοτική** σε γενικό επίπεδο, αφού επιτύγχανε τοπική βελτιστοποίηση, όχι όμως και γενικότερη, σε υψηλότερο επίπεδο
- Υπάρχει η τάση επίλυσης προβλημάτων σε **επίπεδο συστημάτων**, όπου ο γενικός στόχος είναι η βελτιστοποίηση σε συνολικό επίπεδο, που συχνά επιτυγχάνεται με επιλογή μη βέλτιστων λύσεων σε τοπικό επίπεδο.
- Η **καλή αντίληψη** κάθε **προβλήματος** διευκολύνει την εύρεση αποδεκτών λύσεων σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατός ο μαθηματικός υπολογισμός βέλτιστης λύσης (optimum solution).

Ο παρεχόμενος εξοπλισμός διευκολύνει τη διαχείριση των υλικών. Κατηγορίες εξοπλισμού που μπορούν να υποστηρίξουν εναλλακτικές προσεγγίσεις φαίνονται παρακάτω. Ο πίνακας παρατίθεται στα Αγγλικά, αφού το ζήτημα της ονοματολογίας είναι κάτι που σε καμία περίπτωση δεν έχει επιλυθεί (η προσπάθεια που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το θέμα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατίθεται στο επόμενο κεφάλαιο με τίτλο «Λεξικό Όρων ή Data Dictionary).



Τα βασικότερα προβλήματα διαχείρισης υλικών που αντιμετωπίζονται με χρήση επιστημονικών μεθοδολογιών και εργαλείων είναι πέντε και συνοψίζονται ως εξής:



- **Επιλογή εξοπλισμού** (περιπτώσεις όπου μπορούν να επιλεγούν περισσότερες της μιας εναλλακτικές λύσεις)
- **Διαχείριση μεγάλου φορτίου** (παραλαβή μεγάλων φορτίων σε σταθμούς εργασίας)
- **Ανάλυση μεταφορικών μέσων** (κυρίως μεταφορικών ταινιών)
- **Συστήματα αυτόματης πλοήγησης (AGV)**
- **Προβλήματα μεγέθους παλετών και φόρτου**

Τα συνηθέστερα εργαλεία επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων είναι:

- **Ακέραιος προγραμματισμός**, που περιλαμβάνει την κατάστρωση του προβλήματος (ορισμός μεταβλητών, περιορισμών, αντικειμενικής συνάρτησης) και την επίλυσή του με χρήση κάποιου εξειδικευμένου λογισμικού.
- **Γραμμικός προγραμματισμός**, που χρησιμοποιείται εναλλακτικά στην προσεγγιστική επίλυση δύσκολων προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού.
- **Ευρετικοί αλγόριθμοι**, διαδεδομένη μέθοδος σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μαθηματικά μοντέλα και θεωρίες δεν μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια το πραγματικό σύστημα. Αυτά τα προβλήματα είναι και τα δυσκολότερα στην επίλυσή τους.
- **Πρότυπα ουρών αναμονής**. Οι περιπτώσεις που μπορούν να επιλυθούν με υπάρχοντα μαθηματικά μοντέλα επιχειρησιακής έρευνας είναι οι ευκολότερες. Σε διαφορετική περίπτωση, χρησιμοποιείται η μέθοδος της **προσομοίωσης**.
- **Πρότυπα σχεδιασμού και χωροταξίας**, που συνδέονται κύρια με τη λειτουργία AGV και που περιλαμβάνουν άλλα βοηθητικά εργαλεία, όπως συστήματα κλάδων – κόμβων, πίνακες Από – Εις, αντιμετώπιση προβλήματος «Περιοδευόντος Πωλητή» ή και χρήση ευρετικών αλγόριθμων.

Υπάρχουν αρκετές περιοχές στις οποίες η έρευνα συνεχίζεται και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ενώ ανάλογα με τις παραμέτρους που καθορίζονται από το εκάστοτε περιβάλλον λειτουργίας της κάθε επιχείρησης, επιλέγεται και η αντίστοιχη μεθοδολογία που μπορεί να τις περιγράψει. Η παραδοσιακή φιλοσοφία περιορισμού του αριθμού κινήσεων, του κόστους και του χρόνου ισχύει σε αρκετές περιπτώσεις, η νεώτερη όμως προσέγγιση που παρουσιάζει το σύστημα διαχείρισης υλικών ως το νευρικό και κυκλοφορικό σύστημα του οργανισμού – επιχείρησης δείχνει να είναι πιο πετυχημένο και αποδοτικό.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ**  
**ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**  
**ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Οι εξελίξεις στο χώρο της διαχείρισης υλικών είναι το ίδιο καταγιτιστικές με τις γενικότερες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας. Ο προγραμματισμός και σχεδιασμός των αναγκών μιας επιχείρησης έχει γίνει μια πολύ δύσκολη εργασία. Οι μελλοντικές τάσεις θα πρέπει να προβλέπονται και να εκτιμώνται κατάλληλα ώστε να θεωρηθεί ένας σχεδιασμός επιτυχημένος.

Οι κυριότερες τάσεις που διαγνώσκονται αυτή τη στιγμή στον τομέα της διαχείρισης υλικών είναι οι εξής (Tomkins, Schaffer, 1996):

- Αξιοπιστία
- Απόλυτη συνεργασία των συστημάτων.
- Ευελιξία και διακριτή λειτουργία συστημάτων (modularity)
- Ανανεωσιμότητα
- Ευκολία χρήσης
- Αυτοματοποιημένη αναγνώριση
- Ευκολία συντήρησης

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί σύντομη ανάλυση για καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες.

## 9.1 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία τα τελευταία χρόνια σε σχέση με το παρελθόν. Αυτό συμβαίνει γιατί παλαιότερα η διαχείριση υλικών είχε απλά το ρόλο διασύνδεσης δύο λειτουργιών. Αστοχία του εξοπλισμού διαχείρισης δε σήμαινε απαραίτητα καταστροφή. Υπήρχαν πάντα εναλλακτικές λύσεις όπως η χρησιμοποίηση πλεονάζοντα ενδιάμεσου αποθέματος (Work In Process ή WIP) που μπορούσε να εξασφαλίσει τη συνέχιση της λειτουργίας του εργοστασίου. Στο μέλλον, η διαχείριση υλικών θα έχει κεντρικότερη σημασία ενώ το σύστημα διαχείρισης υλικών θα είναι ένα υποσύνολο ενός αλληλένδετου δικτύου. Αστοχία του συστήματος διαχείρισης υλικών θα σημαίνει αστοχία του συνολικού συστήματος. Στο παρελθόν, η χρήση ανθρώπινου δυναμικού εξασφάλιζε την ύπαρξη εναλλακτικών λύσεων και το χειρισμό δύσκολων κατασκευών. Στο μέλλον όπου το ανθρώπινο δυναμικό θα είναι πολύ μικρό, αν όχι ανύπαρκτο, οποιαδήποτε αστοχία γίνεται πολύ

σοβαρότερη. Στον εικοστό πρώτο αιώνα, ο δρόμος προς την αξιοπιστία θα πρέπει να επιτευχθεί με κατάλληλο μίγμα των παρακάτω στοιχείων:

- **Ευρωστία στα μηχανήματα και συστήματα:** Τα νέα συστήματα θα είναι πολύ πιο εξελιγμένα από τα παλιά. Οι στόχοι των προμηθευτών εξοπλισμού θα αλλάξουν σημαντικά. Το ζητούμενο δε θα είναι η δημιουργία ενός φθηνού και περιορισμένων δυνατοτήτων μηχανήματος, αλλά ενός εύρωστου και ανθεκτικού. Αυτό θα συνδέεται άμεσα με τα κριτήρια αγοράς εξοπλισμού διαχείρισης υλικών που δε θα είναι πλέον η τιμή αλλά η ποιότητα και η ανθεκτικότητα.
- **Πλεονασμός (redundancy):** Οι σχεδιαστές θα αναλύσουν κάθε εξάρτημα του παρεχόμενου εξοπλισμού και θα υπολογίσουν τον ακριβή αριθμό αστοχίας του. Βασισμένοι στα αποτελέσματα της ανάλυσης θα προσδιορίσουν τις ανάγκες για πλεονάζοντα εξαρτήματα, εκεί όπου απαιτούνται.
- **Ανοχές σφαλμάτων:** Ο επόμενος αιώνας θα περιλαμβάνει ακόμα γρηγορότερα και πιο εξελιγμένα υπολογιστικά συστήματα. Τα προηγμένα συστήματα θα εντοπίζουν τις αστοχίες και θα χρησιμοποιούν άλλα εξαρτήματα για να λειτουργήσουν, ή θα προσπερνούν το χαλασμένο εξάρτημα. Τα υπολογιστικά συστήματα θα βοηθούν στη διάγνωση των σφαλμάτων και θα ενημερώνουν τους κατάλληλους χειριστές για αναμενόμενα προβλήματα. Οι αυξημένες δυνατότητες που θα προσφέρονται όμως από τα υπολογιστικά συστήματα θα συνοδεύονται από μεγαλύτερο όγκο μηχανημάτων. Η εμπειρία απέδειξε ότι τα μεγάλα πολύπλοκα συστήματα είναι επιρρεπή σε αστοχία σε μεγαλύτερα ποσοστά απ' όσα τα απλούστερα. Οι μηχανικοί συστημάτων και υπολογιστών (system, computer engineers) θα εξελίξουν προγραμματιστικές και ελεγκτικές τεχνικές ώστε να παράγουν συστήματα στα οποία να μην παρουσιάζονται καθόλου σφάλματα.

## 9.2 Απόλυτη Συνεργασία των Συστημάτων

Τον τελευταίο καιρό ακούγονται πολλά σχετικά με νέα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης υλικών. Θα πρέπει όμως να παρατηρηθεί ότι ο όρος «ολοκληρωμένο» αναφέρεται αποκλειστικά στο σύστημα διαχείρισης υλικών και όχι στο σύνολο των συστημάτων της επιχείρησης. Η τάση είναι όλα τα συστήματα του εργοστασίου, αλλά και του συνόλου της επιχείρησης να είναι σε θέση να συνεργάζονται μεταξύ τους. Οι εξοπλισμοί διαχείρισης υλικών θα πρέπει να μετακινούν υλικά μεταξύ πολλών

διαφορετικών μηχανημάτων. Ο προγραμματισμός των μετακινήσεων αυτών θα πρέπει να υποστηρίζεται από εξελιγμένους υπολογιστές που θα μπορούν να πραγματοποιούν ταχύτατα όλους τους απαραίτητους συνδυασμούς. Ένα από τα όνειρα του εικοστού πρώτου αιώνα είναι ότι ο κάθε οργανισμός θα λειτουργεί ομαλά σαν ένα σύνολο υποσυστημάτων που συνεργάζονται ομαλά μεταξύ τους. Για να γίνει κάτι τέτοιο πραγματικότητα, θα πρέπει να επιτευχθούν πολλά πράγματα ακόμα. Ένα από αυτά είναι η απόλυτη ένταξη του συστήματος διαχείρισης υλικών στο συνολικό σύστημα του οργανισμού (enterprise system). Με αυτή τη λογική, το σύστημα διαχείρισης υλικών θα πρέπει να ανταλλάσσει πληροφορίες (inputs και outputs) ουσιαστικά με όλα τα άλλα συστήματα της επιχείρησης.

### 9.3 Ευελιξία και Διακριτή Λειτουργία Συστημάτων (Modularity)

Η ευελιξία είναι ήδη ένα αναμφισβήτητο προσόν ενός συστήματος στις μέρες μας και προβλέπεται να αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία στα επόμενα χρόνια. Οι γρήγορες αλλαγές που παρουσιάζονται στη διεθνή αγορά έχουν σαν αποτέλεσμα το μικρότερο κύκλο ζωής των προϊόντων και τη συχνότερη παρουσία νέων με διαφορετικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Το σύστημα διαχείρισης των υλικών θα πρέπει να μπορεί να αντεπεξέλθει σε αυτές τις αλλαγές.

Ταυτόχρονα, οι διευθυντές των επιχειρήσεων θα αναγκάζονται να λαμβάνουν αποφάσεις ταχύτατα με βάση τις δυνατότητες που τους παρέχονται από τον εξοπλισμό που διαθέτουν. Αυτό σημαίνει ότι η ευελιξία του εξοπλισμού διακίνησης υλικών που επιλέγεται θα είναι στρατηγικής σημασίας για τη μετέπειτα λειτουργία του.

Ένα ευέλικτο σύστημα διακίνησης υλικών θα πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί υλικά διαφορετικού μεγέθους, βάρους και σχήματος. Ένα σύστημα που χτίζεται με ξεχωριστούς δομικούς λίθους (modular) παρέχει τη δυνατότητα προσαρμοστικότητας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μεταβολής του όγκου παραγωγής του εργοστασίου. Με αυτόν τον τρόπο παρέχεται ταυτόχρονα ευελιξία, αφού για παράδειγμα, η αύξηση της παραγωγής δε θα καταστήσει άχρηστο ένα

συγκεκριμένο εξοπλισμό διαχείρισης υλικών που μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη ενός επιπλέον δομικού λίθου (module).

#### 9.4 Ανανεωσιμότητα

Η ευελιξία σχετίζεται με τη δυνατότητα ενός συστήματος να ανταποκρίνεται στις αλλαγές που γίνονται στις απαιτήσεις. Η ανανεωσιμότητα (upgradeability) σχετίζεται με τις αλλαγές που επιβάλλονται από την πρόοδο της τεχνολογίας. Τα μηχανήματα και οι κάθε είδους εξοπλισμοί αλλάζουν με την καθημερινή πρόοδο της τεχνολογίας. Είναι λοιπόν απαραίτητο, ο εξοπλισμός διαχείρισης υλικών να μπορεί να αντεπεξέλθει στις αλλαγές αυτές και να μην καθίσταται άχρηστος κάθε φορά που ανακαλύπτεται κάτι καινούργιο ή εφαρμόζεται μια νέα προσέγγιση.

Για να επιτευχθεί η ανανεωσιμότητα ενός συστήματος διαχείρισης υλικών θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί κατάλληλα. Συγκεκριμένα, το σύστημα θα πρέπει να διαθέτει τον κατάλληλο σκελετό, ώστε να μπορούν να περιληφθούν οποιασδήποτε μορφής προσθήκες χρειάζονται για τη συνεργασία του με νέες τεχνολογίες.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανάγκη ανανεωσιμότητας των συστημάτων διαχείρισης υλικών ώστε να μπορούν να επεξεργαστούν μεγαλύτερο όγκο πληροφοριών. Επομένως, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με εξελιγμένα πληροφοριακά συστήματα μέσω της χρήσης τεχνολογιών οπτικών ινών.

#### 9.5 Ευκολία Χρήσης

Από τη στιγμή που ένα σύστημα διαχείρισης υλικών θα αποτελεί κομμάτι του συνολικού συστήματος του οργανισμού, θα πρέπει να είναι εύκολο και φιλικό κατά το χειρισμό του. Επειδή ο χειριστής δε θα έχει ούτε το χρόνο, ούτε τις γνώσεις να χειριστεί ένα πολύπλοκο και δύσκολο σύστημα, αυτό θα πρέπει να είναι αρκετά εξελιγμένο ώστε να διευκολύνει τον τελικό χρήστη.

Οι τάσεις που εμφανίζονται για τα επόμενα χρόνια είναι η συνεργασία των συστημάτων διαχείρισης υλικών με εξελιγμένα πληροφοριακά συστήματα, τα οποία

θα καθοδηγούν τη χρήση του κάθε εξοπλισμού. Σε περιπτώσεις κανονικής λειτουργίας, η επέμβαση του χρήστη θα είναι περιορισμένη, ενώ κάθε στιγμή θα παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος και την αναμενόμενη απόδοσή του. Σε περίπτωση προβλημάτων, θα παρέχονται οδηγίες για την άρση του προβλήματος και θα προτείνονται λύσεις και τρόποι επέμβασης των χρηστών.

Τα συστήματα αναγνώρισης φωνής θα εξελιχθούν πολύ περισσότερο απ' ότι στις μέρες μας και θα αποτελούν βασικό εξοπλισμό όλων των μηχανημάτων διαχείρισης υλικών. Τα μηχανήματα θα μιλούν, θα ακούν και θα καταλαβαίνουν. Θα έχουν τη δυνατότητα να δεχθούν οδηγίες από συγκεκριμένα άτομα, να πραγματοποιήσουν λειτουργίες που θα τους ζητηθούν, να δώσουν προφορικά πληροφορίες για τα αποτελέσματα των εργασιών τις οποίες προγραμματίστηκαν να εκτελέσουν.

## 9.6 Αυτοματοποιημένη Αναγνώριση

Η αυτοματοποιημένη αναγνώριση θα ξεπεράσει το φράγμα του bar coding που εφαρμόζεται αυτή τη στιγμή σε αρκετές επιχειρήσεις. Στο μέλλον, οι πληροφορίες που θα απαιτούνται για το κάθε προϊόν, από την αρχή δημιουργίας του έως την τελική ολοκλήρωσή του θα είναι πολύ περισσότερες και πιο πολύπλοκες. Οι πληροφορίες που θα αφορούν ολόκληρο τον κατασκευαστικό κύκλο του προϊόντος και την ολοκληρωμένη διαδικασία της παραγγελιοληψίας (από την παραγγελία έως την αποστολή του προϊόντος στον πελάτη) θα μεταδίδονται μέσω σημάτων RF (των οποίων η χρήση θα εξαπλωθεί σημαντικά) και θα βελτιωθούν στη λειτουργία τους, ενώ ταυτόχρονα θα γίνουν φθηνότερα, λόγω της μείωσης του κόστους των απαραίτητων chips που χρειάζονται για τη λειτουργία τους.

Μία άλλη αναμενόμενη εξέλιξη είναι η ευρεία χρησιμοποίηση της λεγόμενης vision technology, η οποία θα διευκολύνει την αναγνώριση των προϊόντων και των χαρακτηριστικών τους χωρίς να επιβραδύνουν τη λειτουργία του συνολικού συστήματος. Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα διευκολύνει σημαντικά τη συλλογή των προϊόντων (order picking) και θα οδηγήσει σε μείωση του απαραίτητου εργατικού δυναμικού.

## 9.7 Ευκολία Συντήρησης

Παρότι η συντήρηση θεωρείται κάτι αυτονόητο για όλα τα συστήματα, παρόλα αυτά θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα και να μην παραμελείται ως κάτι δεδομένο. Το γεγονός ότι τα νέα συστήματα διαχείρισης υλικών θα λειτουργούν επί 24ώρου βάσεως, επτά ημέρες την εβδομάδα, δυσχεραίνει το έργο της συντήρησης που θα πρέπει να γίνει ακόμη αποτελεσματικότερο και ταχύτερο. Η χρήση συστημάτων υπολογιστών θα διευκολύνει σημαντικά την πραγματοποίηση συντήρησης που θα απαιτεί λιγότερο εργατικό δυναμικό. Κατάλληλα συνδεδεμένοι υπολογιστές θα έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίζουν πότε θα εμφανιστεί πρόβλημα και θα μπορούν να πραγματοποιούν συντήρηση όταν θα είναι ευκολότερο για το σύστημα (πριν προχωρήσει η βλάβη και επηρεάσει μεγαλύτερο τμήμα του εξοπλισμού). Ταυτόχρονα, θα μπορεί να υπολογιστεί πότε είναι η καταλληλότερη στιγμή πραγματοποίησης προληπτικής συντήρησης με βάση το πρόγραμμα εργασιών των μηχανημάτων και άλλες παραμέτρους. Τέλος, οι συνδεδεμένοι υπολογιστές θα παρέχουν δυνατότητες προγραμματισμού που θα απλοποιούν κατά πολύ ολόκληρη τη διαδικασία συντήρησης.

## 9.8 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τις τάσεις που αναγνωρίζονται αυτή τη στιγμή στην αγορά, θα πρέπει να ειπωθεί ότι επιφανειακά, οι αλλαγές που θα πραγματοποιηθούν δε θα επηρεάσουν σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας που εμφανίζεται στις μέρες μας. Ουσιαστικά, οι εργασίες θα πραγματοποιούνται ταχύτερα, αποτελεσματικότερα και με μικρότερο κόστος. Σε αυτό θα βοηθήσει η εξέλιξη νέων τεχνολογιών που θα ενσωματωθούν στα συστήματα διαχείρισης υλικών.

Το σύστημα διαχείρισης υλικών δε θα αντιμετωπίζεται μεμονωμένα αλλά σαν ένα αναπόσπαστο κομμάτι ολόκληρου του επιχειρησιακού συστήματος. Η ανταλλαγή πληροφοριών με τα άλλα υποσυστήματα θα είναι πρωταρχικής σημασίας ώστε να επιχειρείται η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος.



Η κατανόηση ή όχι των παραπάνω στοιχείων από τα ηγετικά στελέχη των επιχειρήσεων θα κρίνει το κατά πόσο ο κάθε οργανισμός θα καταφέρει να προσαρμοστεί στις νέες αυξημένες απαιτήσεις των καιρών μας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ**  
**ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ**

Οι απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής καθιστούν επιτακτική την ανάγκη αλλαγής του συστήματος με το οποίο λειτουργούν οι επιχειρήσεις. Η πελατοκεντρική φιλοσοφία που επικρατεί τα τελευταία χρόνια και η οποία τοποθετεί τον πελάτη και τις απαιτήσεις του στο κέντρο του ενδιαφέροντος της κάθε επιχείρησης επηρεάζει, όπως είναι αναμενόμενο, και το κύκλωμα της Διαχείρισης Υλικών. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η λειτουργία της επιχείρησης θα πρέπει να εξετάζεται στο σύνολό της, γίνεται αντιληπτό ότι η σωστή οργάνωση της διαχείρισης υλικών αποκτά ακόμα μεγαλύτερη βαρύτητα, αφού η παραγωγική διαδικασία επηρεάζεται σημαντικά από αυτό το κύκλωμα. Κακή διαχείριση των υλικών μπορεί να δημιουργήσει στενώματα, που θα επηρεάσουν αρνητικά το χρόνο εξυπηρέτησης του πελάτη και την ποιότητα που αναμένεται. Επομένως, δε θα ήταν σφάλμα να ισχυριστεί κάποιος ότι η προσαρμογή του συστήματος διαχείρισης υλικών δεν είναι απλά μια νέα μόδα αλλά ανάγκη για τη μετέπειτα επιβίωση της επιχείρησης.

Εκτός όμως από το ζήτημα της επιβίωσης (αλλάζω γιατί αλλιώς δεν καταφέρνω να επιβιώσω) τίθεται ταυτόχρονα το ζήτημα της παραγωγικότητας. Μείωση των χρόνων (cycle times) οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας και καλύτερευση της γενικότερης εικόνας που δίνει η επιχείρηση στο περιβάλλον της. Η βελτίωση των χρόνων απόκρισης μπορούν να δώσουν σε μια εταιρεία το συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών.

Τα εργαλεία που απαιτούνται για την αλλαγή των διαδικασιών διαχείρισης των υλικών λαμβάνουν υπόψη τους πολλές διαφορετικές μεταβλητές, ορισμένες από τις οποίες αναλύθηκαν με λεπτομέρεια στο θεωρητικό τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Μερικές από τις μεταβλητές αυτές είναι οι παρακάτω:

- Απόσταση
- Χρόνος
- Τοποθεσία
- Χωροταξία (layout)
- Σειρά διαδοχής (sequence)
- Ακρίβεια
- Συνθήκες

Λειτουργίες που χαρακτηρίζονται από μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις, μεγάλους (και νεκρούς) χρόνους, πολύπλοκη χωροταξία, σφάλματα κατά τις μετακινήσεις, μη ικανοποιητικό έλεγχο αποθεμάτων και καταστροφές κατά τη διαχείριση υλικών κρίνονται ως μη ικανοποιητικές και δημιουργούν μη ικανοποιημένους πελάτες.

Όταν οι σταθμοί εργασίας ή τα σημεία συγκέντρωσης των προϊόντων για παράδοση (distribution points) δεν παραλαμβάνουν τα απαραίτητα στην ώρα τους και όταν η ταχύτητα και ο χρόνος απόδοσής τους πέφτουν δραματικά, οι συνέπειες επηρεάζουν ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Οποιοσδήποτε χρόνος που χάνεται για έλεγχο που θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί, αναμονή που δεν θα έπρεπε να συμβαίνει και εργασία για την επιδιόρθωση σφαλμάτων είναι κόστος (ουσιαστικό και ευκαιριακό) για την επιχείρηση.

Η αναδιοργάνωση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας (και η διαχείριση υλικών είναι μια τέτοια λειτουργία) μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, μερικά από τα οποία απαριθμούνται παρακάτω:

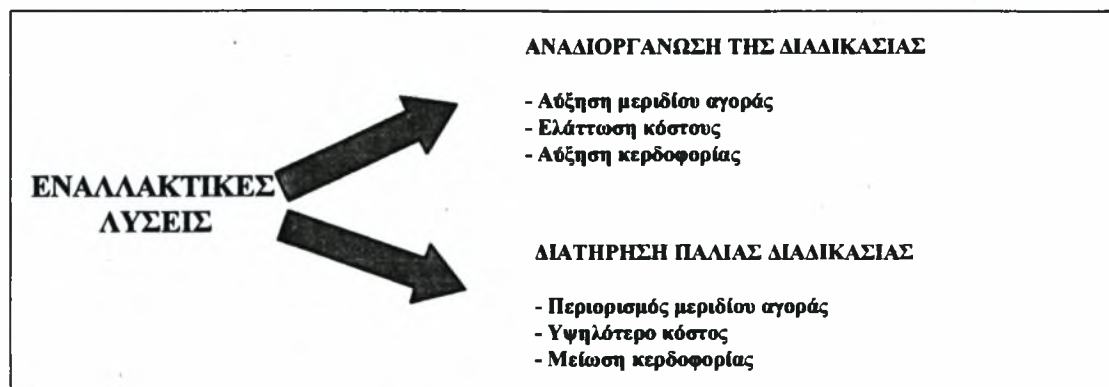
- Περιορισμός των χρόνων και των ενδιάμεσων αποθεμάτων
- Βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών
- Επίτευξη σχεδόν 100% ακρίβειας στα αποθέματα
- Δημιουργία ηλεκτρονικού ελέγχου αποθεμάτων χωρίς τη χρήση χαρτιού
- Αύξηση της παραγωγής και της παραγωγικότητας

## 10.1 Το Προτεινόμενο Μοντέλο

Το προτεινόμενο μοντέλο (Allred, 1996) παρουσιάζει μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση στο θέμα της διαχείρισης των υλικών σε σχέση με το παραδοσιακό σύστημα logistics που εφαρμόζεται από την πλειοψηφία των επιχειρήσεων. Για να ακολουθηθεί το νέο μοντέλο θα πρέπει να ληφθεί η στρατηγική απόφαση από τον οργανισμό ώστε να προχωρήσει σε μία αναδιοργάνωση των διαδικασιών logistics. Ουσιαστικά παρέχονται δύο βασικές εναλλακτικές λύσεις:

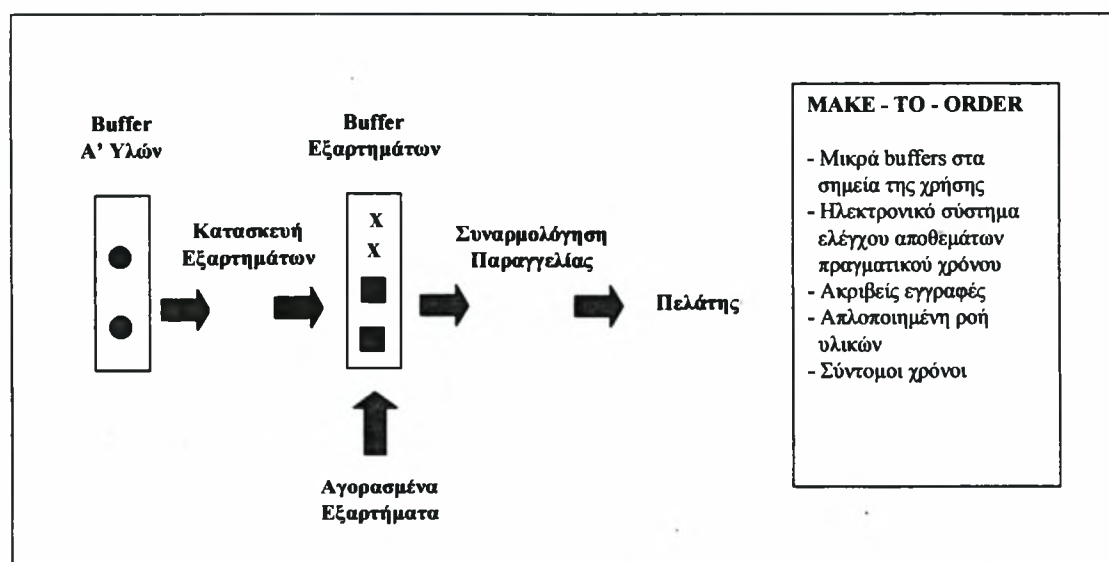
- Αλλαγή των διαδικασιών με την έναρξη ενός προγράμματος αναδιοργάνωσης

➤ Διατήρηση της υπάρχουσας διαδικασίας και πραγματοποίηση μικρών αλλαγών, που όμως δεν μπορούν να μεταβάλλουν σημαντικά την παρούσα κατάσταση  
 Οι δύο εναλλακτικές λύσεις παρατίθενται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 10.1 Εναλλακτικές Λύσεις Διαδικασίας Διαχείρισης Υλικών

Το προτεινόμενο μοντέλο συνοψίζεται στο Σχήμα 10.2.



Σχήμα 10.2 Προτεινόμενο Μοντέλο Διαχείρισης Υλικών

Ο βασικός στόχος είναι ο περιορισμός των αποστάσεων και των αντίστοιχων χρόνων, και ταυτόχρονα, η τήρηση της απλής ροής του υλικού σε ολόκληρη την αλυσίδα. Τα υλικά που φθάνουν στις διάφορες θέσεις εργασίας έρχονται με χρήση κάποιου μεταφορικού (που επιλέγεται ανάλογα με την περίπτωση). Μεταφέρονται απευθείας

σε buffers στο σημείο χρήσης. Οι υπάλληλοι ζητούν άμεση εξυπηρέτηση σχετικά με τα υλικά που απαιτούνται στη θέση εργασίας τους. Τα τελικά προϊόντα φεύγουν απευθείας για τον πελάτη και δεν αποθηκεύονται σε αποθήκες.

Η διαδικασία ροής των υλικών σε ένα εργοστάσιο που εφαρμόζει το προτεινόμενο μοντέλο χαρακτηρίζεται από:

- Μικρά αποθέματα
- Σύντομους χρόνους
- Μικρούς αποκεντροποιημένους χώρους αποθήκευσης
- Απλοποιημένη ροή υλικών

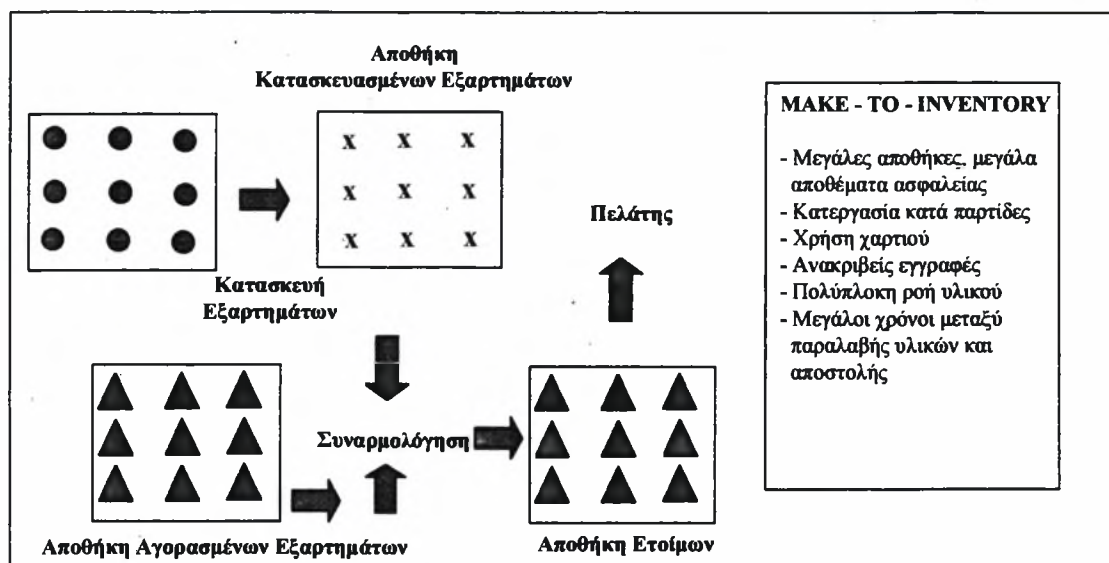
Η διαδρομή ροής υλικού είναι περιορισμένη σε σχέση με το παρελθόν, γεγονός που σημαίνει ότι απαιτείται μικρότερο απόθεμα ώστε να εξασφαλιστεί η συνεχής ροή. Ταυτόχρονα, οι πρώτες ύλες μετατρέπονται σε τελικά προϊόντα σε συντομότερα χρονικά διαστήματα.

Για να επιτύχει το προτεινόμενο μοντέλο, θα πρέπει να εξασφαλιστεί η αποστολή των απαραίτητων υλικών στα σημεία χρήσης Just In Time (ακριβώς στην ώρα). Buffers απαιτούνται σε σημεία όπου παρουσιάζονται στενώματα (bottlenecks) και βρίσκονται πολύ κοντά στους σχετικούς σταθμούς εργασίας. Οι εργαζόμενοι αντλούν τα απαραίτητα υλικά από αυτά τα buffers όταν τα απαιτούν, χωρίς να χρειάζεται να σπαταλούν χρόνο για να τα εντοπίσουν και να τα χρησιμοποιήσουν.

Από τη στιγμή που η διαδικασία παραδίδει τα κατάλληλα υλικά στο κατάλληλο σημείο, την κατάλληλη στιγμή, οι εργάτες ασχολούνται με τα υλικά μόνο όταν χρειάζεται να προσθέσουν αξία. Ταυτόχρονα, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους, τα υλικά ταξιδεύουν με 100% ακρίβεια σε φυσικά ελεγμένο περιβάλλον. Όλες οι συναλλαγές υλικών καταγράφονται αυτόματα με τη χρήση bar codes και χωρίς τη συμπλήρωση και διακίνηση εγγράφων. Η ύπαρξη κωδικών ασφαλείας επιτρέπει την ορθή χρήση των υλικών από εξουσιοδοτημένα άτομα.

Το παλιό σύστημα logistics που απεικονίζεται στο σχήμα 10.3 χρησιμοποιούσε την φιλοσοφία push (και όχι pull) του υλικού στην παραγωγική διαδικασία. Οι απαραίτητες ποσότητες υλικών προέκυπταν από το κεντρικό σύστημα προβλέψεων

της εταιρείας, όπου, όσο ικανοποιητικό και να ήταν δεν μπορούσε να προβλέψει με απόλυτη ακρίβεια τον πραγματικό αριθμό των παραγγελιών που παραλαμβάνονται από τους πελάτες.



Σχήμα 10.3 Παραδοσιακό Μοντέλο Διαχείρισης Υλικών

Ειδικά στις περιπτώσεις όπου ο κύκλος ζωής των προϊόντων έχει μικρύνει σημαντικά, είναι παρακινδυνευμένη οποιαδήποτε πρόβλεψη σχετικά με τις απαιτήσεις των πελατών. Η τάση είναι η παραγωγή και τα κέντρα διανομής να συγχωνευθούν όσο μικραίνει η εφοδιαστική αλυσίδα, με απώτερο στόχο, η παραγωγική διαδικασία να γίνει γρηγορότερη και αποτελεσματικότερη. Στις περιπτώσεις όπου δε θα είναι δυνατή η μετατροπή της επιχείρησης σε Make - To - Order (δηλαδή παραγωγή του προϊόντος με βάση την παραγγελία του πελάτη και όχι άντλησή του από υπάρχον απόθεμα (Make - To - Stock)) θα πραγματοποιείται η κατασκευή ημιετοιμών προϊόντων τα οποία θα αποθηκεύονται προσωρινά. Με την πραγματοποίηση συγκεκριμένης παραγγελίας από τον πελάτη, θα είναι δυνατή η γρήγορη επεξεργασία των ημιετοιμών, ώστε να αποκτήσουν την τελική τους μορφή με βάση τις προδιαγραφές που έθεσε ο πελάτης.

Τα όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους δεν αποτελούν σενάρια επιστημονικής φαντασίας. Εφαρμόζονται ήδη, με παρόμοιο τρόπο, στην Ιαπωνία και μάλιστα με μεγάλη επιτυχία. Αρχίζουν να ακολουθούν η Αμερική και η Ευρώπη.

## 10.2 Προϋποθέσεις Υιοθέτησης Μοντέλου

Το πρώτο και βασικότερο βήμα για την υιοθέτηση του προτεινόμενου μοντέλου και την πραγματοποίηση της απαιτούμενης αναδιοργάνωσης επιχειρηματικών διαδικασιών είναι η υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης. Τα στελέχη της θα πρέπει να αντιληφθούν τις εναλλακτικές λύσεις που παρέχονται στην επιχείρηση και τη δυναμική της αγοράς στη χιλιετία του 2000 ώστε να προβούν σε ανάλογη δράση. Η υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης θα εξασφαλίσει τη συνεργασία των διαφορετικών τμημάτων της επιχείρησης που είναι υπεύθυνα για τις κύριες λειτουργίες:

- Προμήθειες
- Έλεγχος παραγωγής
- Παραγωγή
- Πωλήσεις
- Χρηματοοικονομικά
- Μεταφορές
- Διανομή

Ταυτόχρονα, η ενεργή εμπλοκή της ανώτατης διοίκησης στη διαδικασία αλλαγής είναι ο μόνος τρόπος για να καταπολεμηθεί η αντίδραση που είναι λογικό να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια υλοποίησης των αλλαγών.

Ο ρόλος της διαχείρισης υλικών δε θα πρέπει να αντιμετωπιστεί μεμονωμένα αλλά σα δομικός λίθος του συνολικού παραγωγικού συστήματος. Απόδειξη της σοβαρής επίδρασης που έχει ένα αποδοτικό σύστημα διαχείρισης υλικών στο συνολικό σύστημα μπορεί να αποκτηθεί από την πράξη και το παράδειγμα επιχειρήσεων που με επιτυχία κατάφεραν να μεταμορφώσουν την απόδοση του οργανισμού με τις κατάλληλες αλλαγές.

Επόμενο βήμα που πρέπει να ακολουθήσει μετά την εξασφάλιση της υποστήριξης της ανώτατης διοίκησης είναι η δημιουργία της ομάδας έργου, η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει άτομα από όλα τα εμπλεκόμενα τμήματα και λειτουργίες που πρόκειται να επηρεαστούν. Η ομάδα θα πρέπει να καθοδηγείται από ικανό ηγέτη, ο οποίος έχει



τέλεια γνώση της διαδικασίας που πρόκειται να αναδιοργανωθεί και χαρισματική προσωπικότητα ώστε να διαχειριστή τις δύσκολες στιγμές του έργου της αλλαγής.

Επιπλέον, απαραίτητος είναι ο ορισμός ενός στρατηγικού συνεργάτη, ο οποίος με ανοικτό μυαλό και χωρίς περιορισμούς στη σκέψη που μπορεί να τίθενται από το περιβάλλον της επιχείρησης να καταφέρει να εντοπίσει λύσεις και να εξασφαλίσει τη μακροχρόνια επιβίωση του νέου συστήματος. Αυτό το ρόλο παίζουν συνήθως εξωτερικοί σύμβουλοι, ειδικοί σε θέματα αναδιοργάνωσης και διαχείρισης υλικών. Εκτός όμως από το στρατηγικό συνεργάτη, θα πρέπει να εξασφαλιστεί το άτομο που θα φροντίσει ώστε το νέο σύστημα να μπορεί να διασυνδεθεί με τα υπάρχοντα συστήματα της επιχείρησης. Αυτός είναι ο ρόλος του system integrator, ο οποίος θα πρέπει να γνωρίζει τις λεπτομέρειες των τεχνολογικών λύσεων που θα υποστηρίξουν την αναδιοργάνωση και τους περιορισμούς που πιθανόν να θέτονται από υπάρχοντα συστήματα που δεν πρόκειται να επηρεαστούν από τις αλλαγές.

Κάποιες βασικές αρχές, οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σοβαρά πριν την έναρξη υλοποίησης του προτεινόμενου μοντέλου είναι οι παρακάτω:

- Θα πρέπει να καταγραφεί προσεκτικά η ροή των υλικών και τα βήματα της διαδικασίας που θα αναδιοργανωθεί, από την παραλαβή των πρώτων υλών έως την αποστολή του τελικού προϊόντος στον πελάτη.
- Θα πρέπει να καταγραφεί η γνώμη των υπαλλήλων της παραγωγής. Αυτός είναι ο καλύτερος τρόπος εντοπισμού ουσιαστικών προβλημάτων
- Η γνώμη των πελατών θα πρέπει να αποκαλυφθεί και να ερμηνευθεί. Άλλωστε, ο τελικός αποδέκτης όλων των βελτιώσεων που θα πραγματοποιηθούν είναι ο πελάτης, οπότε θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο σε τι δίνει αξία.
- Η χωροταξία του εργοστασίου θα πρέπει να ακολουθεί το σχεδιασμό της επιθυμητής ροής των υλικών. Ο στόχος είναι η απλούστευση στη λύση προβλημάτων και η αποφυγή περίπλοκων λύσεων. Όσο είναι δυνατό, το σύστημα θα πρέπει να κινείται από τις παραγγελίες των πελατών και να πλησιάζει την οργάνωση JIT.
- Οι μικροί χρόνοι πραγματοποίησης της διαδικασίας αποτελούν προτεραιότητα στο σχεδιασμό του νέου συστήματος. Η προσπάθεια επίτευξης ικανοποιητικών χρόνων δε θα πρέπει να περιορίζεται στις παραγωγικές διαδικασίες αλλά να επικεντρώνεται στις περιπτώσεις καθυστερήσεων, αναμονών και μετακινήσεων.

- Όταν αντιμετωπίζεται το δίλημμα της απλοποιημένης ροής των υλικών (που περιορίζει τον απαιτούμενο χρόνο και τα ενδιάμεσα αποθέματα) και τον υψηλό βαθμό χρησιμοποίησης των μηχανών, θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το υψηλότερο κόστος πλεονάζοντος αποθέματος. Συχνά είναι προτιμότερο να προτιμηθεί ο μικρότερος χρόνος παρά η πλήρης αξιοποίηση των μηχανημάτων.
- Η διάσταση των ανθρωπίνων πόρων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να παραμεληθεί. Με άλλα λόγια δε θα πρέπει να μονοπωλεί το ενδιαφέρον το τεχνολογικό κομμάτι σε βάρος του ανθρώπινου παράγοντα. Όπως υποστηρίζει ο Deming (guru της Ολικής Ποιότητας), ο υπάλληλος μπορεί να κάνει τα πάντα για την ποιότητα αν του δοθεί ο κατάλληλος τρόπος για να το καταφέρει. Ακόμα και ο σχεδιασμός του σταθμού εργασίας θα πρέπει να είναι κατάλληλος για ευχάριστη και ταυτόχρονα αποδοτική και εργονομική εργασία.
- Οι προμηθευτές θα πρέπει να αποτελέσουν στρατηγικούς συνεργάτες. Είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός προγράμματος ποιότητας το οποίο σταδιακό θα εξαλείφει την ανάγκη ποιοτικού ελέγχου των εισερχόμενων υλικών. Μπορούν να πραγματοποιηθούν συμφωνίες παραλαβής των προϊόντων σε συγκεκριμένους χώρους και με συγκεκριμένη συσκευασία που διευκολύνει την απευθείας μεταφορά τους στα σημεία χρήσης.

### 10.3 Αναμενόμενα Οφέλη Εφαρμογής Μοντέλου

Η δημιουργία ενός νέου συστήματος προϋποθέτει την πραγματοποίηση σημαντικών επενδύσεων που θα πρέπει να συνοδευτούν από πολλαπλάσια οφέλη ώστε να έχει νόημα η αναδιοργάνωση. Οι επενδύσεις που απαιτούνται αφορούν:

- Επανασχεδιασμό χωροταξίας εργοστασίου
- Διαχείριση υλικών
- Έλεγχο υλικών

Η τεχνολογία που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί (για παράδειγμα, εξελιγμένα συστήματα πληροφορικής) δεν είναι καθόλου φθηνά. Ταυτόχρονα, υπάρχουν πάντα ρίσκα που συνδέονται με τον απαιτούμενο χρόνο για το σχεδιασμό, προγραμματισμό και υλοποίηση των αλλαγών.

Από την άλλη πλευρά, αναμένονται κάποια σημαντικά οφέλη από την επένδυση όπως:

- Μείωση επένδυσης σε απόθεμα
- Βελτίωση του επίπεδου εξυπηρέτησης των πελατών
- Χαμηλότερα κόστη εργατικών
- Επέκταση παραγωγής λόγω εξασφάλισης παραπάνω χώρου
- Αυξημένη ποιότητα προϊόντων

Πιο συγκεκριμένα, επιχειρήσεις που εφαρμόζουν το προτεινόμενο μοντέλο εφοδιαστικής μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 50% σε αποθέματα ημιτεϊμών (WIP). Από τη στιγμή που το απόθεμα χρηματοδοτείται, κάθε εξοικονόμηση σε αυτόν τον τομέα είναι απόλυτα κατανοητή. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος τήρησης αποθέματος (carrying cost) είναι το λιγότερο 25% της αξίας του αποθέματος (αν υπολογίσουμε ταυτόχρονα το ευκαιριακό κόστος, το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει το 100%), γίνεται αντιληπτό και ολοφάνερο το όφελος σε αυτόν τον τομέα.

Η αναδιοργάνωση στη ροή των υλικών θα καταλήξει σε εξοικονόμηση χώρου, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να προστεθεί δυναμικότητα χωρίς την αναγκαιότητα νέας κατασκευής.

Περαιτέρω, η μείωση του απαιτούμενου χρόνου μπορεί να προσφέρει συγκριτικό πλεονέκτημα στην επιχείρηση σε σχέση με τους ανταγωνιστές της. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Motorola, όπου η αναδιοργάνωση του συστήματος εφοδιαστικής της επέφερε μείωση κατά 50% έως 75% στους απαιτούμενους χρόνους, γεγονός που αποτέλεσε βασικό συγκριτικό της πλεονέκτημα στη διεθνή αγορά. Συντομότεροι χρόνοι σημαίνει ταυτόχρονα βελτιωμένη ποιότητα, αφού αποκαλύπτονται προβλήματα στην παραγωγική διαδικασία που στο παρελθόν δε μπορούσαν να εντοπισθούν και να επιλυθούν. Η βελτιωμένη ποιότητα και οι μειωμένοι χρόνοι αντανακλούν στην ικανοποίηση των πελατών οι οποίοι λαμβάνουν βελτιωμένες υπηρεσίες από την επιχείρηση.

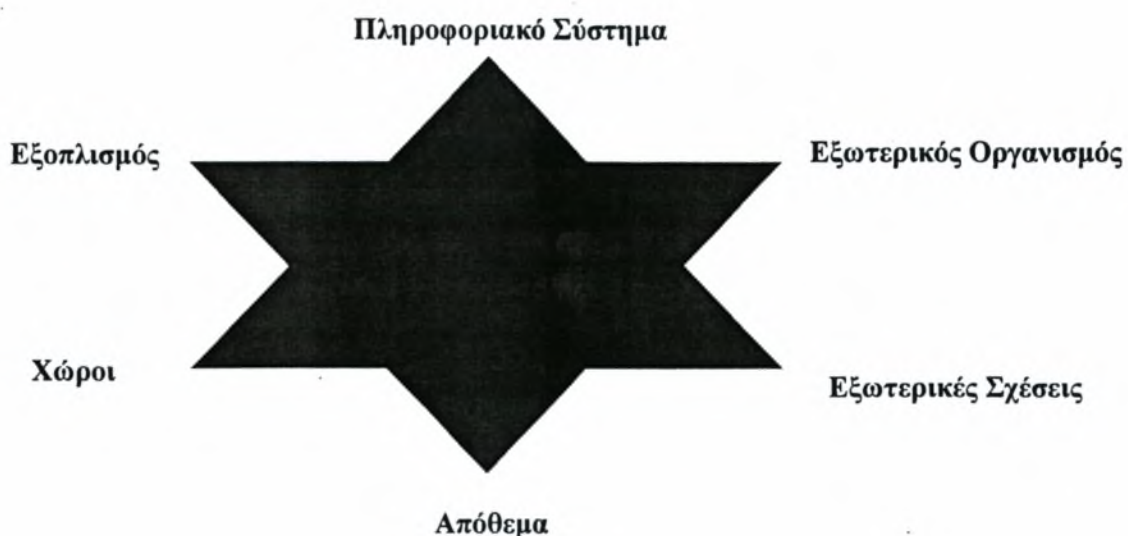
Η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται στον τομέα του κόστους του ανθρώπινου δυναμικού δεν περιορίζεται στη μεταφορά των υλικών, που είναι και η προφανέστερη κατηγορία εξοικονόμησης, αλλά και στην παραγωγή, τον προγραμματισμό, τον

έλεγχο υλικών, εισαγωγή δεδομένων και άλλες κατηγορίες. Η δημιουργία καλύτερων συνθηκών εργασίας και η εξασφάλιση εργονομίας κατά τη διεξαγωγή της αυξάνει την ευχαρίστηση των εργαζομένων και μειώνει τις πιθανότητες εγκατάλειψης της θέσης (μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το αντίστοιχο κόστος).

Το προτεινόμενο μοντέλο δεν στηρίζεται σε θεωρητικά στοιχεία και ακατανόητες παραμέτρους. Είναι ένα πρακτικό μοντέλο που κατασκευάστηκε με βάση τις απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς και την πρόβλεψη των μελλοντικών εξελίξεων. Είναι μία απάντηση στα προβλήματα των παραδοσιακών συστημάτων εφοδιαστικής και διαχείρισης υλικών που αποδεικνύεται από την καθημερινή πρακτική ότι είναι πλέον ανεπαρκή. Η ριζική αναδιοργάνωση αυτών των συστημάτων και η σφαιρική αντιμετώπιση του συνολικού παραγωγικού συστήματος είναι αυτά που θα εξασφαλίσουν την επιβίωση και την ομαλή λειτουργία στις επιχειρήσεις τα επόμενα χρόνια.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ**  
**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ**  
**ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ**

Οι σύγχρονες απαιτήσεις στη βιομηχανία απαιτούν μια σφαιρική θεώρηση των παραμέτρων που μπορούν να επηρεάσουν την κερδοφορία της επιχείρησης. Η προσπάθεια βελτίωσης μίας κάθε φορά παραμέτρου δεν είναι δυνατό να αποφέρει ουσιαστικά οφέλη. Το μοντέλο που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα (Lins, 1998) παριστάνει τους έξι βασικότερους παράγοντες που αλληλοσυσχετίζονται σε κάθε βιομηχανικό σύστημα. Επέμβαση σε έναν από τους έξι παράγοντες επιφέρει επίδραση στους υπόλοιπους πέντε. Η επιλεκτική επέμβαση στους παράγοντες αυτούς επιτρέπει την υποστήριξη των απαραίτητων διαδικασιών που απαιτούνται για την υλοποίηση της στρατηγικής και των στόχων ολόκληρου του οργανισμού. Η ανάλυση καθένα από τους έξι παράγοντες θα αποκαλύψει τις αλληλοσυσχετίσεις που υφίστανται.



**Σχήμα 11.1 Βασικοί Παράγοντες Επίδρασης στα Βιομηχανικά Συστήματα**

**Απόθεμα:** Για τις περισσότερες βιομηχανικές λειτουργίες, το απόθεμα αποτελεί το ακριβότερο περιουσιακό στοιχείο (capital asset) και για το λόγο αυτό αξίζει ιδιαίτερης προσοχής. Όταν γίνεται διαχείριση της αλυσίδας αξίας (value chain) με στόχο τον περιορισμό του αποθέματος περιορίζονται οι απαιτήσεις σε εξοπλισμό αποθήκευσης, χώρους και υλικά διαχείρισης. Χρησιμοποιώντας την υποδομή ενός προηγμένου πληροφοριακού συστήματος, μπορεί να διαμορφωθεί ο προγραμματισμός της παραγωγής, συχνά χωρίς την ανάγκη επένδυσης, και να περιοριστούν σημαντικά τα ημικατεργασμένα προϊόντα (Work In Process ή WIP) και η ανάγκη για διαχείριση υλικών. Συχνά, τα επίπεδα αποθήκης διαχειρίζονται με τη

χρήση πληροφοριακών συστημάτων που είναι ευέλικτα, εύκολα στη χρήση και απεικονίζουν σε πραγματικό χρόνο την πραγματικότητα.



**Χώροι:** Περιλαμβάνουν γραφεία, παραγωγή, διανομή, αποθήκευση, ανταλλακτικά, επισκευές, συντήρηση κ.α. Υπάρχουν σημαντικές παράμετροι που συνδέονται με τη διαχείριση υλικών. Για παράδειγμα, ο τρόπος εγκατάστασης επηρεάζεται σημαντικά από τις απαιτήσεις αποθεμάτων και το σχήμα του εξοπλισμού. Τίθενται επίσης ζητήματα για το ποιος είναι ο διαχειριστής / χρήστης του εξοπλισμού. Η επιλογή ενός χώρου παραγωγής είναι πολύπλοκη διαδικασία, η οποία θα πρέπει σίγουρα να αναλυθεί από την πλευρά της βελτιστοποίησης των απαιτήσεων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τέλος, οι συσχετίσεις και διεπαφές μεταξύ πελατών και προμηθευτών θα πρέπει να υποστηρίζονται κατάλληλα από το σωστό πληροφοριακό σύστημα.

**Εξοπλισμός:** Περιλαμβάνει τη διαδικασία διαχείρισης υλικών και τα απαραίτητα εργαλεία. Η συσχέτιση μεταξύ χώρου και εξοπλισμού είναι μάλλον προφανής. Σε ένα ιδανικό σχεδιασμό πρώτα πρέπει να σχεδιαστεί η χωροταξία του εξοπλισμού και των μηχανημάτων που απαιτούνται για την υποστήριξη μιας διαδικασίας και στη συνέχεια να γίνει προσαρμογή σε αυτήν των υπολοίπων παραμέτρων. Επίσης, σε έναν ιδανικό κόσμο, η χωροταξία και οι διαδικασίες θα οδηγούσαν στο σχεδιασμό του κατάλληλου πληροφοριακού συστήματος. Στην πραγματική ζωή, ο εξοπλισμός μπορεί να είναι δεδομένος, αλλά και να μην είναι, άλλοι περιορισμοί εμποδίζουν την εφαρμογή ενός τέλει μοντέλου.

**Πληροφοριακό σύστημα:** Το πληροφοριακό σύστημα είναι σαν το χταπόδι, έχει άκρες που φτάνουν παντού. Το πληροφοριακό σύστημα επηρεάζει άμεσα το απόθεμα και τις ανάγκες εξοπλισμού, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τις ανάγκες για χώρους. Η δομή του εσωτερικού οργανισμού επηρεάζεται άμεσα επίσης από τη ροή εργασίας που προδιαγράφεται και κληρονομείται στην υπάρχουσα πληροφοριακή υποδομή, και αντίστροφα. Ακόμα, η εξωτερική σχέση με τους πελάτες και τους προμηθευτές κατά μέρος επηρεάζεται από τον τρόπο επικοινωνίας με αυτούς (για παράδειγμα, EDI, Internet, E-Business) και από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διαχείριση των δοσοληψιών με το πληροφοριακό σύστημα.

**Εξωτερικός οργανισμός:** Στις περισσότερες επιχειρήσεις, οι ανθρώπινοι πόροι είναι το πολυτιμότερο περιουσιακό στοιχείο. Οι περισσότερες επιχειρηματικές διαδικασίες απαιτούν στη χειρότερη περίπτωση επίβλεψη κάποιου ανθρώπου. Δεν υπάρχει η δυνατότητα στήριξης στο πληροφοριακό σύστημα για λήψη όλων των αποφάσεων. Περαιτέρω, η επιλογή των χώρων της επιχείρησης επηρεάζει τον εσωτερικό οργανισμό της επιχείρησης. Διαφορετικοί τύποι εξοπλισμού και πληροφορικής απαιτούν ανθρώπινο δυναμικό διαφορετικών δυνατοτήτων. Σε μια αλυσίδα αξίας όπου μιλάμε για διευρυμένες επιχειρήσεις (virtual enterprises ή extended enterprises), οι υπάλληλοι μπορεί να εργάζονται – συνεργάζονται σε διαφορετικές εταιρείες.

**Εξωτερικές σχέσεις:** Πρόκειται για σχέσεις με πελάτες και προμηθευτές που ανήκουν σε μια διευρυμένη επιχείρηση. Μια ύπαρξη τέτοιων σχέσεων επηρεάζει την υποδομή της επιχείρησης γενικότερα. Οι πελάτες έρχονται με νέες απαιτήσεις που θα πρέπει να καλύψει η επιχείρηση διαθέτοντας την κατάλληλη υποδομή. Παραδείγματα αποτελούν το Internet και επικοινωνία με χρήση EDI, δημιουργία νέων προϊόντων που απαιτούν νέο παραγωγικό εξοπλισμό και αλλαγή στις προτιμήσεις των πελατών που πρέπει να καλύπτονται από νέες δομές εσωτερικής οργάνωσης.

Συχνά δεν είναι απαραίτητο να δράσει η ίδια η επιχείρηση. Ένας τρόπος να βοηθηθεί ο πελάτης είναι να ζητήσουμε από τον προμηθευτή να κάνει περισσότερα. Άλλη προσέγγιση είναι η χρήση υπεργολαβιών σε επιχειρηματικές διαδικασίες στις οποίες η εταιρεία δεν έχει τεχνογνωσία ή συγκριτικό πλεονέκτημα. Αντίστροφα είναι πιθανό να απαιτείται καθετοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ώστε να μπορεί να ελεγχθεί ολόκληρη η αλυσίδα ή να περικοπούν τα κόστη.

Το μοντέλο παριστάνει τη διαχείριση υλικών ως ένα από τα έξι στοιχεία που το απαρτίζουν. Η διαχείριση υλικών είναι απλά ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την επίλυση επιχειρηματικών προβλημάτων και έτσι μόνο θα πρέπει να αντιμετωπίζεται. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται μελέτες περιπτώσεων που εμφανίζουν τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν πραγματικά επιχειρησιακά προβλήματα στην πράξη.



## 11.1 Μελέτη Περίπτωσης 1 – Επίλυση Λάθος Προβλήματος

Μεγάλη μηχανολογική εταιρεία αντιμετώπιζε προβλήματα έλλειψης αποθέματος όταν το χρειαζόταν, γεγονός που προσπαθούσε να επιλύσει με αυξημένο απόθεμα, καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου και ειδικά του κατακόρυφου (σε ύψος). Στην προσπάθεια αποθήκευσης των εκτιμώμενων ποσοτήτων, απαιτείτο σημαντική επένδυση σε ράφια, οχήματα που μπορούν να κινηθούν σε στενούς διαδρόμους και μεταφορικά ειδικών προδιαγραφών. Επιπλέον, απαιτούντο πρόσθετοι χώροι, ενώ όλη η διοίκηση επικεντρωνόταν στη διαχείριση αποθέματος και στις τεχνικές JIT στα υλικά που έρχονταν. Παρ' όλες τις προσπάθειες που κατέβαλε, η διοίκηση πίστευε ότι είχε λίγες δυνατότητες μείωσης του επιπέδου του αποθέματος.

Η λύση ήταν ο επαναπροσδιορισμός του προβλήματος. Αντί να προσεχθεί το θέμα διαχείρισης των υλικών, αποφασίστηκε να εξεταστούν μέθοδοι περιορισμού του αποθέματος, του εξοπλισμού και κατά συνέπεια της διαχείρισης υλικών. Η διοίκηση πραγματοποίησε μια μελέτη προσπαθώντας να ερμηνεύσει τους λόγους που κρύβονταν πίσω από τη συχνή απουσία υλικών και ανακάλυψε ότι το σύστημα MRP II που διέθετε δεν κάλυπτε ικανοποιητικά το ζήτημα σωστής πολιτικής αποθέματος για υλικά που κινούνται σε προκαθορισμένες και μόνο περιόδους. Χρησιμοποιείτο η μέση χρήση αποθέματος, η οποία όμως δημιουργούσε προβλήματα. Για παράδειγμα, ένα εξάρτημα μπορεί να είχε μέση ζήτηση 10 αλλά σε μια δεδομένη ημέρα η εταιρεία χρειαζόταν 0 ή 100. Το να έχει 10 ή 20 ή 30 σε απόθεμα δεν κάλυπτε τις ανάγκες της. Ένα άλλο πρόβλημα ήταν ότι ο μεγάλος χρόνος παραλαβής εξαρτημάτων που κατέληγε σε ανάγκη για περιορισμό του χρόνου συναρμολόγησης (ώστε να μην επηρεαστεί σημαντικά ο συνολικός χρόνος), που με τη σειρά του οδηγούσε σε έκτακτη συναρμολόγηση με σημαντικά υψηλό κόστος.

Στην προσπάθεια επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων, η εταιρεία εξέλιξε βελτιωμένες μεθόδους προβλέψεων και στρατηγικής αγορών. Το αποτέλεσμα της χρήσης πληροφοριακών συστημάτων στα προηγούμενα ήταν η σημαντική αύξηση του αποθέματος για πολλά εξαρτήματα. Αυτό ήταν αρκετά ισχυρό σοκ για την επιχείρηση και τις συνήθειες που είχε στο παρελθόν, αλλά η προφανής αύξηση του αποθέματος και του συνεπαγόμενου κόστους ήταν πολύ μικρότερη από τα λιγότερο

προφανή θετικά αποτελέσματα. Τα αποθέματα ημιοτίμων και οι διαδικασίες διαχείρισης υλικών περιορίστηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Οι περιπτώσεις εξυπηρέτησης παραγγελιών εντός των προθεσμιών έφτασαν σε πρωτοφανή για τα χρονικά της επιχείρησης επίπεδα.

Ένας άλλος παράγοντας που συνέβαλε στα αυξημένα αποθέματα της εταιρείας ήταν ότι ο έλεγχος της παραγωγής είχε θέσει την ουρά του συστήματος MRP στις 5 ημέρες για κάθε κέντρο εργασίας. Αυτό συνέβαινε γιατί η παραγωγή μπορούσε να αποθηκεύσει μέχρι 5 ημέρες απόθεμα σε κάθε κέντρο για να ελαχιστοποιήσει τις εξαρμώσεις και να αυξήσει την αποδοτικότητα. Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη πρακτική απαιτούσε την ύπαρξη αποθέματος 5 ημερών σε όλα τα κέντρα εργασίας. Αν η παραγωγή μπορούσε να είναι αποτελεσματικότερη και να λειτουργούσε με μικρότερες μερίδες, τα ενδιάμεσα αποθέματα μπορούσαν να μειωθούν σημαντικά. Πραγματικά, νέες τεχνολογίες εξάρμωσης μείωσαν τους απαιτούμενους χρόνους και έτσι οι μικρές μερίδες μπορούσαν να «τρέχουν» στην παραγωγή πιο αποτελεσματικά. Οι ουρές του MRP μειώθηκαν στις δύο ημέρες, ενώ τα αποτελέσματα βελτίωσης ήταν καταπληκτικά:

Μείωση του WIP και του χρόνου (lead time) κατά 60%.

## 11. 2 Μελέτη Περίπτωσης 2 – Αυτοματοποίηση Χωρίς Αντίκρισμα

Η μελέτη περίπτωσης αφορά δυο επιχειρήσεις που κινούνται στην ίδια αγορά καταναλωτικών αγαθών που ακολούθησαν δύο εντελώς διαφορετικούς δρόμους έχοντας όμως τον ίδιο στόχο. Η μία επένδυσε σημαντικά σε εξοπλισμό για τη διαχείριση υλικών ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών της, ενώ η άλλη επένδυσε στην ευελιξία. Και οι δύο επιχειρήσεις έχουν τις εξής ανάγκες:

- Ταχύτατες αποστολές, ύπαρξη ειδικών περιπτώσεων για κάποιες παραγγελίες
- Ύπαρξη παραγγελιών μεγάλου όγκου που δεν ήταν «ευαίσθητες» στο θέμα του χρόνου
- Προορισμοί εντός της χώρας (ΗΠΑ)
- Ανάγκη ύπαρξης EDI, bar code, τεκμηρίωσης και συσκευασίας βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών

Τα μεγέθη των παραγγελιών των πελατών ήταν κοινά και για τις δύο επιχειρήσεις.

Η μια επιχείρηση επένδυσε πάνω από \$30 εκατομμύρια σε εξοπλισμό, χώρους, πληροφοριακά συστήματα. Η δεύτερη επιχείρηση πέτυχε τα ίδια (αλλά με καλύτερη απόκριση από πλευράς εφοδιαστικής) με το 20% του παραπάνω κόστους, καταφεύγοντας σε φθηνότερες λύσεις, που όμως κάλυπταν επακριβώς τις συγκεκριμένες ανάγκες. Το κόστος εργατικών ήταν βέβαια μεγαλύτερο, αλλά μετά τις αποσβέσεις και τη συντήρηση που απαιτείτο, η λύση που έδωσε η δεύτερη εταιρεία ήταν σημαντικά οικονομικότερη. Η πρώτη εταιρεία είχε χωρίς αμφιβολία και αυτή ένα πετυχημένο σύστημα, όχι όμως στο βαθμό που θα μπορούσε πραγματικά να έχει. Οι εγκαταστάσεις δεν αξιοποιήθηκαν ποτέ πλήρως και δεν ήταν ικανές να αποφέρουν βέλτιστη απόδοση της εφοδιαστικής. Το συγκεκριμένο παράδειγμα αποδεικνύει τα εξής:

- Η επιχείρηση θα πρέπει να βλέπει τη μεγαλύτερη εικόνα του οργανισμού (βελτιστοποίηση της απόδοσης της συνολικής εφοδιαστικής αλυσίδας) και όχι την περιορισμένη εικόνα του συστήματος
- Προσοχή θα πρέπει να δίνεται στις αληθοφανείς και ρεαλιστικές προβλέψεις
- Δεν πρέπει τα σχέδια κάποιων επενδύσεων να είναι υπερβολικά μακροπρόθεσμα σε δυναμικές επιχειρήσεις διότι ποτέ δε θα βιωθεί ο μέγιστος βαθμός εκμετάλλευσής τους (utilisation)
- Πολλές φορές η υπεργολαβία δίνει την οικονομικότερη και καλύτερη λύση
- Δεν είναι ανάγκη να γίνονται απευθείας, μπορούν να γίνονται σε στάδια
- Αν υπάρχουν περιορισμοί πόρων, θα πρέπει οι επενδύσεις να δικαιολογηθούν με βάση την οικονομική απόδοση
- Το απόθεμα, οι εξοπλισμοί και τα μηχανήματα αποθήκευσης επηρεάζουν το ένα το άλλο. Θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί ο συνδυασμός των τριών
- Θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των περιουσιακών στοιχείων ώστε να περιοριστούν οι ανάγκες σε κεφάλαιο. Πολλαπλές βάρδιες μπορεί να συμφέρουν αν τα κόστη κεφαλαίου είναι υψηλά.

### 11.3 Μελέτη Περίπτωσης 3 – Ξεκαθαρισμένες Προτεραιότητες

Μία εταιρεία σκόπευε να αναπτύξει καινούργια κέντρα διανομής και γι' αυτό το λόγο αποφάσισε να μελετήσει εναλλακτικές λύσεις στα θέματα της διαχείρισης υλικών. Μια περιοχή επανασυσκευασίας απαιτείτο για τη συλλογή μικρών ποσοτήτων πολλών μικρών αντικειμένων για διανομή τους στα καταστήματα. Τέσσερις εναλλακτικές λύσεις εξετάστηκαν, καθώς και αρκετοί συνδυασμοί:

- Pickers πολύ στενών διαδρόμων για συλλογή διακριτών παραγγελιών
- Τεχνολογία pick-to-light για συλλογή διακριτών παραγγελιών
- Σύστημα οριζόντιων carousels με δυνατότητα συλλογής 15 παραγγελιών τη φορά
- Σύστημα pick-to-cart που στηρίζεται σε εξοπλισμό ιδιοσυχνοτήτων RF και δυνατότητα συλλογής 8 παραγγελιών τη φορά

Ανάλυση που πραγματοποιήθηκε απέδειξε ότι η πιο οικονομική μέθοδος (από άποψη κεφαλαίων και λειτουργικών εξόδων) ήταν το σύστημα με τον εξοπλισμό RF. Παρ' όλα αυτά, η εταιρεία δεν είχε χρησιμοποιήσει στο παρελθόν μια τέτοια προσέγγιση και δεν ήταν εξοικειωμένη με αυτή. Στο παρελθόν, είχε προσπαθήσει να εφαρμόσει μια μέθοδο pick-to-cart που δε χρησιμοποιούσε την τεχνολογία RF ή ένα εξελιγμένο σύστημα διαχείρισης αποθήκης (Warehouse Management System). Το παλιό σύστημα δεν είχε λειτουργήσει ικανοποιητικά και γι' αυτό το λόγο η διοίκηση δεν ήθελε να βιώσει ξανά παρόμοια εμπειρία. Παρ' όλα αυτά, η νέα προσέγγιση θα ήταν αρκετά διαφορετική, αφού το νέο σύστημα θα συνδύαζε τις δυνατότητες της πληροφορικής με αυτές της διαχείρισης υλικών.

Η επιχείρηση είχε χρησιμοποιήσει τη μέθοδο pick-to-light σχεδόν σε κάθε παρόμοια περίπτωση στο παρελθόν. Ήταν γρήγορη, εύκολη και εντυπωσιακή μέθοδος. Αυτή τη φορά, το κόστος της επένδυσης για τη μέθοδο pick-to-light ξεπερνούσε το \$1 εκατομμύριο, ενώ το κόστος του συστήματος RF (cart-based) έφτανε μόλις τα \$70,000. Οι ρυθμοί picking των δύο συστημάτων ήταν παρόμοιοι όπως αποδείχθηκε από τη σχετική μελέτη benchmarking που πραγματοποιήθηκε. Εντούτοις, η διοίκηση φοβόταν να δοκιμάσει μια νέα μέθοδο και αποφάσισε να συνεχίσει με τη μέθοδο pick-to-light. Το αποτέλεσμα ήταν ότι λόγω συνήθειας η επιχείρηση επέλεξε μια

σαφώς ακριβότερη λύση για λόγους ευκολίας και για την αποφυγή του ρίσκου χρησιμοποίησης μιας νέας προσέγγισης.

Παρότι η μέθοδος pick-to-light είναι αρκετά καλή σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητα ιδανική για όλες τις περιπτώσεις. Αν το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η εντυπωσιακότητά της, η διοίκηση δεν επέλεξε σωστά με τη χρήση του ορθότερου κριτηρίου. Αν η απόφαση ελήφθη λόγω φόβου της διοίκησης για την εισαγωγή μιας νέας προσέγγισης, πάλι διαπράχθηκε σφάλμα. Τα μαθήματα που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης είναι τα παρακάτω:

- Οι υποθέσεις που ισχύουν για τις διαδικασίες μεταβάλλονται συνεχώς
- Η τεχνολογία αλλάζει ταχύτητα. Η πληροφορική παρέχει δυνατότητες που δεν μπορούσαμε να φανταστούμε στο παρελθόν.
- Η καλύτερη λύση είναι αυτή που εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες της επιχείρησης και όχι η πιο εντυπωσιακή
- Είτε χρησιμοποιείται μια νέα τεχνολογία, είτε μια υπάρχουσα, το ρίσκο μπορεί και πρέπει να ελέγχεται. Πολλές φορές, είναι μεγαλύτερο ρίσκο η αδράνεια παρά η αλλαγή. Σε κάθε περίπτωση, το ρίσκο θα πρέπει να εκτιμηθεί και να μετρηθεί.

## 11.4 Συμπεράσματα

Η διαχείριση υλικών μπορεί να βοηθήσει παρέχοντας θετικά αποτελέσματα σε:

- Μείωση του κόστους εργατικών
- Ταχύτητα ροής υλικών στην εφοδιαστική αλυσίδα
- Παροχή επιστροφής του κόστους των επενδύσεων που πραγματοποιούνται

Είναι απαραίτητο, το κάθε σύστημα να αναλύεται συνολικά. Η δημιουργία μιας σωστής υποδομής που υποστηρίζει ολόκληρη την επιχείρηση είναι η σωστή προσέγγιση οδηγώντας στη λεγόμενη «σκέψη έξω από το κουτί» (thinking out of the box). Η αλληλοσυσχέτιση των παρακάτω παραγόντων είναι κατανοητό να αναλυθεί και να ερμηνευθεί:

- Αποθέματα
- Εξοπλισμό
- Πληροφορική
- Οργάνωση επιχείρησης
- Εξωτερικές σχέσεις με πελάτες και προμηθευτές

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΑΓΟΡΑΣ**

Η παγκόσμια αγορά αλλάζει συνεχώς και οι επιχειρήσεις αναζητούν τον τρόπο να αυξήσουν τα κέρδη τους προωθώντας νέα προϊόντα στην αγορά. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της 3M που δήλωσε πρόσφατα πως επιθυμεί το 30% του τζίρου της να προέρχεται από προϊόντα νεώτερα των τεσσάρων ετών. Η έρευνα και ανάπτυξη νέων σχεδιασμών έχει δημιουργήσει πολλά νέα προϊόντα. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τις ταχύτατες εξελίξεις που βιώνονται τα τελευταία χρόνια:

- Βελτίωση των πληροφοριακών συστημάτων
- Άρση των συνόρων παγκοσμίως
- Μείωση του κόστους των μεταφορικών

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κλάδου που αναγκάστηκε να ακολουθήσει τις ραγδαίες εξελίξεις της αγοράς είναι αυτός των ηλεκτρονικών. Πριν από πενήντα χρόνια, η Bell Telephone Laboratories ανακάλυψε το transistor. Είκοσι χρόνια αργότερα ανακαλύφθηκε ο επεξεργαστής 8088 που περιλαμβάνει περίπου 10,000 transistors. Δέκα χρόνια αργότερα τον διαδέχθηκε ο 286, με 100 000 transistors. Τρία χρόνια μετά, εμφανίστηκε ο επεξεργαστής 386 με 150 000 transistors. Τέσσερα χρόνια αργότερα, ο 486 περιελάμβανε ένα εκατομμύριο transistors.

Άλλο παράδειγμα ταχέως αναπτυσσόμενου κλάδου είναι αυτός της ηχογράφησης. Το 1855 ο Leon Scott Martinville εφεύρε το φωνογράφο και το 1877, ο Edison τον εξέλιξε. Το 1915 ανακαλύφθηκε ο δίσκος στις 78 στροφές το λεπτό και 35 χρόνια μετά εμφανίστηκαν οι κασέτες και οι δίσκοι των 45 στροφών. Μετά από 11 χρόνια εμφανίστηκαν οι δίσκοι μακράς διάρκειας (LPs) και μετά από 9, η SONY ανακάλυψε το digital recorder. Ακολούθησαν κασέτες των 8 tracks, κασέτες μαγνητοφώνου, CD και τώρα πλέον τα DVD.

Επειδή η αλλαγή παρουσιάζεται με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς, υπάρχει έντονη η ανάγκη για κάποιον να πρωταγωνιστήσει άμεσα στην αγορά. Τα προϊόντα σχεδιάζονται με μια προοπτική να παραμείνουν για 5 με 7 χρόνια. Σε πολλούς κλάδους η διάρκεια ζωής των προϊόντων είναι κατά πολύ μικρότερες. Το αποτέλεσμα είναι, τα συστήματα διαχείρισης υλικών να ακολουθούν τις εξελίξεις και να προσπαθούν να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες που παρουσιάζονται. Ο έλεγχος της απαρχαίωσης, η ελαχιστοποίηση του αποθέματος και η ευελιξία είναι οι βασικοί παράγοντες που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν στον τομέα της διαχείρισης υλικών.



## 12.1 Διατύπωση του προβλήματος

Για να μπορέσουν οι επιχειρήσεις να παραμείνουν ανταγωνιστικές, θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιδρούν στις αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον τους. Η παραδοσιακή προσέγγιση της παραγωγής υπήρξε η δημιουργία μακρών τρεξιμάτων παραγωγής (production runs) και η τήρηση υψηλών αποθεμάτων τα οποία προωθούνταν στην παραγωγική διαδικασία. Είναι όμως εσφαλμένη κίνηση να δημιουργηθεί μια εγκατάσταση που απαιτεί δύο χρόνια για να ολοκληρωθεί ή ένα σύστημα διαχείρισης υλικών που χρειάζεται έξι μήνες για να ενεργοποιηθεί όταν το προϊόν έχει διάρκεια ζωής έξι μήνες με ένα έτος (Fenster, 1999).

Αλλαγές όπως η προσθήκη νέων προϊόντων μπορεί να απαιτεί τη δημιουργία νέας γραμμής παραγωγής, μεγαλύτερων αποθηκευτικών χώρων, γρηγορότερο εξοπλισμό, ή διαφορετικό εξοπλισμό. Αύξηση του όγκου παραγωγής είναι δυνατό να απαιτεί μεγαλύτερη δυναμικότητα επεξεργασίας, γρηγορότερο εξοπλισμό, περισσότερο staging κατά την επεξεργασία ή όλα τα παραπάνω. Απαγορευτικοί παράγοντες στην υλοποίηση των παραπάνω αλλαγών πιθανόν είναι το κόστος της επένδυσης και ο χρόνος που απαιτείται για την υλοποίηση.

## 12.2 Λύση του Προβλήματος

Μια σωστή προσέγγιση στη λύση του προβλήματος αναφορικά με το κόστος της επένδυσης και το κόστος υλοποίησής της περιλαμβάνει τρία στάδια:

- **Αναγνώριση πιθανών αλλαγών:** Θα πρέπει να εντοπιστούν οι πιθανές αλλαγές που θα συμβούν στο μέλλον. Για να γίνει δυνατό κάτι τέτοιο θα πρέπει να αναλυθεί σε δραστηριότητες ολόκληρη η διαδικασία, από την αρχή της παραγγελιοληψίας έως την παράδοση του τελικού προϊόντος στον πελάτη. Είναι αναγκαίο να αναλυθούν προσεκτικά τα ιστορικά δεδομένα της επιχείρησης αλλά και ολόκληρου του κλάδου. Η παρακολούθηση και καλή γνώση της αγοράς θα διευκολύνει τον εντοπισμό των πιθανών περιοχών μελλοντικών αλλαγών. Κάποιες αλλαγές είναι πιθανότερο να συμβούν από κάποιες άλλες. Επιπλέον, για

την κάθε αλλαγή υπάρχει ένα χρονικό πλαίσιο, το οποίο θα πρέπει να οριστεί. Με βάση τους δύο αυτούς παράγοντες θα πρέπει να τεθούν οι προτεραιότητες.

- **Σχεδιασμός μιας γρήγορης λύσης:** Για κάθε εξοπλισμό, μέθοδο ή πλάνο χωροταξίας θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά ο κατάλογος με τις πιθανές αλλαγές. Η ανάλυση αυτή θα πρέπει κατ' αρχή να διεξάγεται ανά δραστηριότητα και στη συνέχεια συνολικά. Στο κάθε βήμα θα πρέπει να ερευνώνται οι πιθανές ενέργειες αντίδρασης της εταιρείας για την αντιμετώπιση της αλλαγής. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα πλάνο, αποτέλεσμα ενός αναλυτικού προγραμματισμού. Παρόλα αυτά, ο προγραμματισμός δεν είναι από μόνος του αρκετός. Απαιτείται η πληροφόρηση κάθε πιθανού εμπλεκόμενου στο έργο αλλαγής που θα πραγματοποιηθεί. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι άλλες φορές τα αποτελέσματα των αλλαγών θα είναι προφανή και άλλες πιο δυσδιάκριτα. Η πληροφόρηση, λοιπόν, για το πλάνο εργασίας είναι σημαντική. Υπήρξαν περιπτώσεις στην πράξη όπου η αποτυχία στις αλλαγές δεν προήλθε από την έλλειψη προγραμματισμού για ταχεία δράση αλλά στην απουσία ενημέρωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό μιας εταιρείας τροφίμων η οποία σκόπευε να μετατραπεί από μια εταιρεία με μικρά τοπικά παραγωγικά κέντρα σε εταιρεία με κεντρικές παραγωγικές εγκαταστάσεις και δορυφορικά κέντρα διανομής (satellite distribution centres). Το Τμήμα Διανομής που βρισκόταν στο Μίτσιγκαν αγόρασε ρυμούλκα, ενώ το Τμήμα Σχεδιασμού (Engineering Department) που έδρευε στα κεντρικά αγόρασε τον εξοπλισμό παραγωγής. Το Τμήμα Μεταφορών του Μίτσιγκαν είχε νομοθεσία που επέτρεπε τη μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων υπό συνθήκες, γεγονός που δεν το γνώριζε το Τμήμα Σχεδιασμού. Τελικώς, το θέμα αποκαλύφθηκε αρκετά χρόνια αργότερα και ενώ η εταιρεία είχε ένα αρκετά σημαντικό ευκαιριακό κόστος όσο διάστημα δεν το γνώριζε.
- **Διοίκηση απόδοσης:** Ένα σύστημα αναφορά της απόδοσης είναι απαραίτητο ώστε να παρέχει τα κατάλληλα σήματα στη Διοίκηση και να τη διευκολύνει στη δράση της. Η διαχείριση του παραγωγικού συστήματος μπορεί να περιλαμβάνει μεθόδους υλοποίησης αλλαγών. Για παράδειγμα αντί της τήρησης μεγάλων ποσοτήτων που «σπρώχνονται» στην παραγωγή και το σύστημα διανομής μπορεί να πραγματοποιηθεί εστίαση σε μικρότερες παρτίδες και βραχύτερους κύκλους παραγωγής. Η μετατροπή σε σύστημα Ακριβώς Στην Ώρα (Just In Time ή JIT) εξασφαλίζει συντομότερα τρεξίματα της παραγωγής και παρέχει τη δυνατότητα

ταχύτατων αλλαγών που αφορούν το μίγμα των προϊόντων που παρέχονται στους πελάτες.

Άλλες αλλαγές που απαιτούνται για να εξασφαλιστεί ταχεία απόκριση και ικανοποιητική απόδοση είναι αυτές που σχετίζονται με την πραγματοποίηση ελέγχου ποιότητας σε όλα τα στάδια παραγωγής (και όχι μόνο στο τελικό) και αυτές που σχετίζονται με τον προγραμματισμό με χρήση υπολογιστών (computerised scheduling). Οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα όπως ελαττωματικά προϊόντα στην παραγωγή και σφάλματα κατά τη συλλογή (picking). Παρέχοντας ποιοτικό έλεγχο σε κάθε στάδιο της παραγωγής εξαφανίζεται η προώθηση σκάρτων σε επόμενες φάσεις της παραγωγής. Η ύπαρξη ενός ηλεκτρονικού συστήματος προγραμματισμού διευκολύνει την αντίδραση της επιχείρησης στις αλλαγές που οφείλονται στην αγορά, αφού είναι δυνατή η γνώση του τι συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο και περιορίζεται η χρήση ιστορικών στοιχείων.

Η διαχείριση της απόδοσης δεν περιορίζεται στην παραγωγή. Το Bar Coding, το σύστημα RF και η ταχεία μετάδοση πληροφοριών (Electronic Data Interchange ή EDI) που περιγράφηκαν σε προηγούμενες σελίδες είναι όλοι τρόποι βελτίωσης της διαχείρισης της απόδοσης. Για παράδειγμα, το Bar Coding παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς πληροφόρησης σχετικά με το διαθέσιμο απόθεμα και αξιοποίηση του υπάρχοντος συστήματος αποθήκευσης. Το σύστημα RF ενημερώνει αυτόματα κάθε υπάλληλο για τις καθυστερημένες παραγγελίες. Η χρήση του EDI παρέχει τη δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας προμηθευτών – πελατών όποτε υπάρχουν αλλαγές στις απαιτήσεις.

### 12.3 Πρακτικά Παραδείγματα

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα που αποδεικνύουν τη σημαντικότητα της παροχής γρήγορων λύσεων στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον.

- **Αλλαγές στα προϊόντα:** Ο προγραμματισμός που αφορά την αλλαγή των προϊόντων που παρέχονται ξεκινά από τον εξοπλισμό που διαθέτει η επιχείρηση. Θα πρέπει να αναλυθεί όλος ο εξοπλισμός και να προσδιοριστούν τα φυσικά του όρια. Για παράδειγμα, η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος είναι δυνατό να απαιτεί

την χρησιμοποίηση μιας μεγάλης μηχανής παραγωγής με αυξημένη παραγωγική δυναμικότητα. Μια εναλλακτική λύση, αρκετά πιο ευέλικτη σε κάποιες περιπτώσεις, είναι η χρησιμοποίηση δύο μικρότερων μηχανών παραγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση η μελλοντική εισαγωγή ενός νέου προϊόντος θα μπορεί να αντιμετωπιστεί με μεγαλύτερη ευκολία (κάθε προϊόν θα μπορεί να παράγεται σε μία από τις δύο μηχανές. Ακόμα, σε περίπτωση βλάβης της μίας, θα είναι πάντα διαθέσιμη η άλλη μηχανή παραγωγής.

Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι η χρησιμοποίηση ραφιών ροής κουτιών (carton flow rack). Κάθε ράφι χωρίζεται σε δύο λωρίδες. Κάθε λωρίδα περιλαμβάνει ένα προϊόν το οποίο κυλά σε έναν ή δύο κυλίνδρους ενώ υπάρχουν διαχωριστικά μεταξύ των δύο λωρίδων. Παρόλα αυτά, αν εξελιχθεί ένα νέο προϊόν, το μέγεθος της λωρίδας μπορεί να μην είναι το σωστό. Ολόκληρο το ράφι θα πρέπει να εγκατασταθεί από την αρχή. Μια άλλη λύση θα μπορούσε να καταργήσει τα διαχωριστικά των λωρίδων και να φροντίσει για τη χρησιμοποίηση κυλίνδρων κατά μήκος ολόκληρου του ραφιού.

Ένα τρίτο παράδειγμα είναι ο σχεδιασμός που αφορά την αλλαγή ενός μεταφορικού συστήματος (conveyor system). Στην περίπτωση αυτή μπορούν να υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις. Η επιλογή της πιο κατάλληλης εξαρτάται από τα δεδομένα της κάθε περίπτωσης.

- **Αλλαγές στον όγκο:** Ο όγκος των αποθηκευμένων προϊόντων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις πωλήσεις των προϊόντων αυτών. Οι ποσότητες αποθήκευσης, με τη σειρά τους, επηρεάζουν τον εξοπλισμό αποθήκευσης. Το ζήτημα είναι ότι οι πωλήσεις των προϊόντων μεταβάλλονται και επομένως, όταν σχεδιάζεται το κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης, οι μεταβολές αυτές θα πρέπει να προβλέπονται και να λαμβάνονται υπόψη. Η απλούστερη μέθοδος είναι να αφηθεί κάποιος χώρος σε κάθε είδος ραφιού κενός. Μια άλλη μέθοδος είναι η χρήση ενός συστήματος αναγνωρίσιμου ως προς τη θέση του με κάποιο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή η περιοχή που βρίσκεται το προϊόν θα εντοπίζεται με βάση τη «διεύθυνσή» του και όχι με βάση το product number του.
- **Αλλαγές σε προϊόντα και σε όγκους προϊόντων:** Οι αλλαγές σε προϊόντα και όγκους μπορούν να αποδειχθούν καταστροφικοί για ένα κέντρο διανομής όσον αφορά την παραγωγικότητά του και την ταχύτητα απόκρισής του. Παράδειγμα είναι ένα σύστημα με conveyors και ένα σύστημα pick to light. Αν τα μεγέθη

συσκευασίας ή οι ποσότητες πωλήσεων μεταβληθούν, η απόδοση ολόκληρου του συστήματος μπορεί να πέσει σε επίπεδα που το καθιστούν μη βιώσιμο.

Για παράδειγμα, έστω ότι τα προϊόντα που συλλέγονται γίνονται μεγαλύτερα. Ως αποτέλεσμα, ο αριθμός τεμαχίων που μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κουτί συσκευασίας μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι για τον ίδιο όγκο πωλήσεων, ο αριθμός των κιβωτίων θα αυξηθεί. Η αύξηση του αριθμού των κιβωτίων μπορεί να μπλοκάρει το μεταφορικό. Η γρήγορη λύση είναι η διαμοίραση της γραμμής συλλογής σε δύο κοντύτερες γραμμές. Το μεταφορικό θα μπορεί να διαχειριστεί περισσότερα κιβώτια.

Η αλλαγή στις ποσότητες παραγωγής μπορεί να αντιμετωπιστεί με το να γίνει κάθε ζώνη συλλογής μακρύτερη. Τότε, καθώς αυξάνονται οι ποσότητες, μπορούν να προστεθούν υπάλληλοι για συλλογή ώστε να αυξηθεί η δυναμικότητα.

Για να παραμείνουν ανταγωνιστικές οι επιχειρήσεις, θα πρέπει να αντιδρούν έγκαιρα στις αλλαγές του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργούν. Η γρήγορη εύρεση λύσεων βοηθά στην διατήρηση της παραγωγικότητας, την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων επενδύσεων και την καλύτερη και λιγότερο επώδυνη προσαρμογή. Το σύστημα διαχείρισης υλικών είναι ένας τομέας στον οποίο η εύρεση ταχύτατων και οικονομικών λύσεων μπορεί να προσφέρει στην επιχείρηση ένα συγκριτικό πλεονέκτημα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ**  
**ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιχειρήθηκε να αναλυθεί η περιοχή της διαχείρισης υλικών, ένα θέμα με συνεχώς αυξανόμενη βαρύτητα για τις περισσότερες βιομηχανικές επιχειρήσεις. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δύο επίπεδα ώστε να καλυφθούν και οι δύο βασικές οπτικές που επικρατούν:

- Το πρώτο επίπεδο ασχολήθηκε με θεωρητικά μοντέλα που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία και επιστημονικές προσεγγίσεις για την επίλυση υπαρκτών προβλημάτων. Το βασικότερο εργαλείο που χρησιμοποιείται σε αυτό το επίπεδο είναι η επιχειρησιακή έρευνα με τη μορφή γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού, ευρετικών αλγορίθμων και μελέτης ουρών αναμονής.
- Το δεύτερο επίπεδο επιχείρησε να αναλύσει την προσέγγιση που εφαρμόζεται στην πράξη από τις επιχειρήσεις και τις παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν τις αποφάσεις που λαμβάνονται. Η ανάλυση αυτή στηρίχθηκε σε άρθρα που προέρχονται από στελέχη επιχειρήσεων ή συμβουλευτικών εταιρειών (consulting firms) που δραστηριοποιούνται στον τομέα της διαχείρισης υλικών.

Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει από τη σύγκριση των δύο επιπέδων είναι ότι οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στα μοντέλα επιχειρησιακής έρευνας είναι τις περισσότερες φορές οι ίδιες και στην πράξη. Έτσι λοιπόν η επιλογή του συστήματος διαχείρισης υλικών επηρεάζεται από τον τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης, τη χωροταξία του εργοστασίου και τις θέσεις των κέντρων εργασίας, τις διαστάσεις των διαδρόμων, τη φύση των προϊόντων που πρέπει να μεταφερθούν, τους περιορισμούς χρόνου που υπάρχουν, τα φορτία που παραλαμβάνονται.

Βέβαια, θα ήταν σκόπιμο να αναφερθεί ότι ενώ οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόφαση για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος διαχείρισης υλικών είναι κοινοί και στα δύο επίπεδα, στην πράξη, η απόφαση λαμβάνεται στηριζόμενη περισσότερο σε απλούς συλλογισμούς, ένστικτό των στελεχών που λαμβάνουν τις αποφάσεις και προβλέψεις για τις εξελίξεις που αναμένονται στο μέλλον. Έτσι λοιπόν, σε κανένα από τα άρθρα που μελετήθηκαν δεν αναφέρεται η χρησιμοποίηση κάποιας μαθηματικής μεθόδου ώστε να διευκολυνθεί η λήψη της τελικής απόφασης. Αυτό θα πρέπει να καταλογιστεί στα αρνητικά των προσεγγίσεων του πρακτικού επιπέδου.

Από την άλλη όμως πλευρά, θα πρέπει να τονιστεί ότι τα μαθηματικά μοντέλα του πρώτου επιπέδου αδυνατούν να λάβουν υπόψη τους και να παραμετροποιήσουν όλες τις μεταβλητές ενός πραγματικού συστήματος. Έτσι λοιπόν, ευαίσθητα ζητήματα (soft issues), όπως η ευκολία χρήσης, η αποδοχή ενός συστήματος από τους εργαζομένους, η επεκτασιμότητα, η αντοχή στο χρόνο δεν μπορούν σε καμιά περίπτωση να ληφθούν υπόψη. Με αυτή τη λογική, οποιαδήποτε μαθηματική προσέγγιση είναι επιτυχημένη μόνο όταν έχει θέσει επιτυχημένους περιορισμούς που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και περιγράφουν την αληθινή κατάσταση της επιχείρησης.

Στα άρθρα που αναφέρονται στις πρακτικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στην πράξη δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάλυση κόστους – οφέλους (cost-benefit analysis), έμμεσα ή άμεσα. Όμως, η ανάλυση αυτή παρουσιάζεται σε όλες τις μελέτες περιπτώσεων μετά την εισαγωγή των συστημάτων στην πράξη. Σε αυτό ακριβώς το σημείο, επιστημονικές προσεγγίσεις όπως η προσομοίωση διαδικασιών και η κοστολόγηση δραστηριοτήτων είναι βέβαιο πως έχουν πολλά να προσφέρουν στον προϋπολογισμό του κόστους της μελλοντικής κατάστασης και στην πραγματοποίηση μιας ανάλυσης σύγκρισης (benchmarking) πριν και μετά.

Όσον αφορά τον παρεχόμενο από την αγορά εξοπλισμό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν επιτρέψει την κατασκευή εξελιγμένων συστημάτων που εφαρμόζουν εξελιγμένες μεθόδους βελτιστοποίησης, που προφανώς στηρίζονται σε έρευνα και αλγόριθμους επιχειρησιακής έρευνας. Παρότι συνήθως ο «κώδικας» αυτών των συστημάτων είναι αδιαφανής (κανείς από τους αγοραστές δεν γνωρίζει ακριβώς πώς λαμβάνονται οι αποφάσεις από το σύστημα), δεν μπορεί να αμφισβητηθεί η προσφορά της επιστήμης διαχείρισης των υλικών σε αυτή την περιοχή.

Καταλήγοντας, διαπιστώνεται ότι η περιοχή της διαχείρισης υλικών θα απασχολήσει σημαντικά, τόσο τους επιστήμονες, όσο και τους πρακτικούς ανθρώπους της βιομηχανίας που επιζητούν τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συνολικού επιχειρησιακού συστήματος, μέρος του οποίου είναι και η διαχείριση υλικών. Οι εξελίξεις που αναμένονται τα αμέσως επόμενα χρόνια (και που διαφαίνονται ήδη από τώρα) μένουν για να αποδείξουν την παραπάνω διαπίστωση.



## Αναφορές

1. Allred K. J. [1996], New Direction in Factory Logistics and Material Handling, "IIE Solutions, 21-25.
2. Bartholdi, John J., and Loren K. Platzman [1989], "Decentralized Control of AGVs on a Simple Loop", IIE Transactions, 21(1), 76-81.
3. Bastani, A. S. [1988], "Analytical Solution of Closed-Loop Conveyor Systems", European Journal of Operational Research, 35, 187-192.
4. Bozer, Yavuz A., and Mandyam M. Srinivasan [1989], "Tandem Configurations for AGV Systems Offer Simplicity and Flexibility", Industrial Engineering, Feb., 23-27.
5. Bozer, Yavuz A., and Mandyam M. Srinivasan [1991], "Tandem Configurations for AGVs and the Analysis of Single Vehicle Loops", IIE Transactions, 23(1) 72-82.
6. Egbelu, P.J., and J.M.A. Tanchoco [1987], "Characteristics of AGV Dispatching Rules", in Automated Guided Vehicle Systems, R.H. Hollier ed., IFS Publications Ltd., New York, 125-142.
7. Fenster F. [1999], "Creating Quick Paths for Change", IIE Solutions.
8. Garey, M.R. and D.S. Johnson [1981], "Approximation Algorithms for Bin Packing Problems: A Survey", in Analysis and Design of Algorithms for Bin Packing in Combinatorial Optimization, G. Ausieloo and M. Lucertini, eds., Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 147-172.
9. Gaskins, R.J. and M.A. Tanchoco [1987], "Flow Path Design for Automated Guided Vehicle Systems", International Journal of Production Research, 25(5), 667-676.
10. Golden, B.L. [1976], "Approaches to the Cutting-Stock Problem", AIIE Transactions, 8(2), 265-272.
11. Gould, Les [1990], "Partners in Productivity:AGV Systems and SimpleControls", Modern Materials Handling, 45(1), 55-57.
12. Handler, G.Y., and P. Mirchandani [1979], Location on Networks, MIT Press, Cambridge, MA.
13. Hodgson, Thom J. [1982], "A Combined Approach to the Pallet Loading Problem", IIE Transactions, 14(3), 175-182.

14. Kaspi M., and J.M. Tanchoco [1990], "OptimalFlow Path Design of Unidirectional AGV Systems", International Journal of Production Research, 28(6), 1023-1030.
15. Lins, G. [1996], "Looking at Material Handling Within the Big Picture", IIE Solutions, 20-26.
16. Malmborg, Charles J. [1990], "A Model for the Design of Zone Control AGVs", International Journal of Production Research, 28(10), 1741-1758.
17. Matson, Jessica O., and Girish N. Naik [1991], "A Group Technology Approach for Container Size Selection", Progress in Material Handling and Logistics, J.A. White and I. Pence, eds., Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 57-66.
18. Maxwell, W.L., and J.A. Muckstadt [1982], "Design of Automated Guided Vehicle Systems", IIE Transactions, 14(2), 114-124.
19. Steudel, Harold J. [1979], "Generating Pallet Loading Patterns: A Special Case of the Two Dimensional Cutting Stock Problem", Management Science, 25(10), 997-1004.
20. Tanchoco, J.M.A., and Marvin H. Agee [1981], "Plan Unit Loads to Interact with All Components of a Warehouse System", Industrial Engineering, 13(6), 36-48.
21. Tompkins, A. J, and B Chaffer [1996], "High Performance Material Handling Trends: Preparing for the Next Century", IIE Solutions, 16-19.
22. Tompkins, James A. and John A. White [1984], Facilities Planning, John Wiley & Sons, New York.
23. Tsai, Russel D., Eric M. Malstrom, and Way Kuo [1991], " A Three Dimensional Dynamic Palletizing Heuristic", in Progress in Material Handling and Logistics. J.A. White and I. Pence, eds., Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 181-204.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**  
**ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ**

<b>AGV</b>	Οχήματα αυτόματης πλοήγησης
<b>Aisle</b>	Διάδρομος
<b>AS/RS</b>	Αυτόματα Συστήματα Διαχείρισης Αποθήκης
<b>Assembly</b>	Συναρμολόγηση
<b>Automated Guided Vehicle</b>	Οχήματα αυτόματης πλοήγησης
<b>Automated storage / retrieval systems</b>	Αυτόματα Συστήματα Διαχείρισης Αποθήκευσης
<b>Bar code</b>	Γραμμωτός Κώδικας
<b>Batch</b>	Μερίδα
<b>Batch Size</b>	Μέγεθος μερίδας
<b>Belt</b>	Ταινία, Ιμάντας
<b>Benchmark</b>	Μέτρο σύγκρισης
<b>Blocking</b>	Μπλοκάρισμα
<b>Bridge Crane</b>	Γερανογέφυρα
<b>Carriers</b>	Δοχεία μεταφοράς
<b>Chain</b>	Αλυσίδα
<b>Chute</b>	Γλίστρα
<b>Circulation</b>	Κυκλική κίνηση
<b>Container</b>	Εμπορευματοκιβώτιο
<b>Conveyor</b>	Μεταφορέας, Μεταφορική ταινία
<b>Cost of Equipment</b>	Κόστος εξοπλισμού
<b>Crane</b>	Γερανός
<b>Design</b>	Σχεδιασμός
<b>Dispatch</b>	Αποστολή – Διεκπεραίωση
<b>Dropoff point</b>	Σημείο απόθεσης
<b>Effectiveness</b>	Αποτελεσματικότητα
<b>Efficiency</b>	Αποδοτικότητα
<b>Equipment</b>	Εξοπλισμός
<b>Fixed beam</b>	Σταθερή Ακτίνα
<b>Fixed Path</b>	Σταθερή (συγκεκριμένη) διαδρομή
<b>Free Conveyor</b>	Ελεύθερος μεταφορέας

<b>Frequency</b>	Συχνότητα
<b>Gantry Crane</b>	Είδος γερανογέφυρας gantry
<b>Gravity roller</b>	Ραουλόδρομος βαρύτητας
<b>Gravity-powered Conveyor</b>	Μεταφορικό βαρύτητας
<b>Hoist</b>	Ανυψωτικό
<b>Industrial trucks</b>	Βιομηχανικά οχήματα
<b>Inventory Level</b>	Επίπεδο (Στάθμη) Αποθέματος
<b>Layout</b>	Χωροταξία
<b>Life Cycle</b>	Κύκλος ζωής
<b>Loading Dock</b>	Εξέδρα φόρτωσης
<b>Loop conveyor</b>	Μεταφορική ταινία κλειστού βρόχου
<b>Manual truck</b>	Γρύλος
<b>Manufacturing system</b>	Σύστημα μεταποίησης
<b>Material handling</b>	Διαχείρισης υλικών
<b>Microload System</b>	Σύστημα μικρού φόρτου
<b>Movement</b>	Μετακίνηση
<b>Moving beam</b>	Κινητή Ακτίνα
<b>Non-powered Conveyor</b>	Μεταφορικό μη χρησιμοποίησης ισχύος
<b>Orientation</b>	Προσανατολισμός
<b>Overhead Conveyor</b>	Κρεμαστός μεταφορέας
<b>Overhead trolley</b>	Κρεμαστό Τρόλεϋ
<b>Pallet</b>	Παλέτα
<b>Pickup point</b>	Σημείο παραλαβής
<b>Pneumatic system</b>	Πνευματικό σύστημα
<b>Point of use storage</b>	Αποθήκευση στο σημείο χρήσης
<b>Power Conveyor</b>	Μεταφορέας ισχύος
<b>Principle</b>	Αρχή
<b>Racks</b>	Ράφια αποθηκών
<b>Receiving</b>	Παραλαβή
<b>RF</b>	Συχνότητα εκπομπής
<b>Robot</b>	Ρομπότ
<b>Roller</b>	Κύλινδρος

<b>Routing</b>	Δρομολόγηση
<b>Salvage Value</b>	Διασωθείσα αξία
<b>Server</b>	Σταθμός εξυπηρέτησης
<b>Shipping</b>	Αποστολή
<b>Spine</b>	Ραχοκοκαλιά
<b>Stacker Crane</b>	Γερανός Stacker Crane
<b>Storage area</b>	Χώρος αποθήκευσης
<b>Storage Carousel</b>	Αποθηκευτικά carousels
<b>Sublot</b>	Επιμέρους μερίδα
<b>Tote pan</b>	Δοχείο μεταφοράς
<b>Tow line conveyer</b>	Μεταφορέας tow line
<b>Traffic Control System</b>	Σύστημα Ελέγχου Κυκλοφορίας
<b>Trolley conveyer</b>	Ραουλόδρομος
<b>Unit load</b>	Μονάδα φόρτωσης
<b>Value Added</b>	Προστιθέμενη Αξία
<b>Vehicle</b>	Όχημα
<b>Vertical reciprocating</b>	Κάθετος παλινδρομητής
<b>Wheel</b>	Τροχός
<b>Workstation</b>	Σταθμός Εργασίας

