

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

Η εφοδιαστική αλυσίδα στα κατασκευαστικά έργα:

θεωρητικό υπόβαθρο, μοντέλα διαχείρισης και μελέτη εφαρμογής

Λιούμπαρη Παρασκευή Αντιγόνη

Επιβλέπων Καθηγητής: Πολύζος Σεραφείμ

Ιούνιος 2020

Η εφοδιαστική αλυσίδα στα κατασκευαστικά έργα: θεωρητικό υπόβαθρο, μοντέλα διαχείρισης και μελέτη εφαρμογής

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά και θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Σεραφείμ Πολύζο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τη συνεχή υποστήριξη, την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας καθώς και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για να φέρω το παρόν έργο εις πέρας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον Alfonso Cerezo Beltrán, Μηχανικό Βιομηχανικού Σχεδιασμού του Πανεπιστημίου του Oviedo, για την ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε και την συνεχή εμπύχωση καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδρομής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου Ιωάννα, για όλη τη συμπαράσταση, την υπομονή και την αγάπη που μου δείχνει σε κάθε μου βήμα και την πίστη στις δυνάμεις μου και τις επιλογές μου.

Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα εργασία στον πατέρα μου Βαγγέλη, ο οποίος ξέρω πως ήταν μαζί μου κάθε στιγμή και ελπίζω να νιώθει περήφανος για μένα.

Δήλωση

Βεβαιώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφή από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώση των κανόνων λογοκλοπής και ότι έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής, αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του ΠΘ.

Ημερομηνία: 06/07/2020

Λιούμπαρη Παρασκευή Αντιγόνη

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Περιεχόμενα, σκοπός και Δομή της εργασίας.....	12
1.1. Γενικά	12
1.2. Σκοπός της εργασίας	12
1.2.1. Αντικείμενο έρευνας.....	12
1.2.2. Μεθοδολογία.....	13
1.3. Δομή	14
Κεφάλαιο 2 - Ανάλυση Βασικών Εννοιών.....	15
2.1. Ορισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply chain).....	15
2.1.1. Σχέσεις των εμπλεκόμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα	15
2.2. Η οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management)	17
2.2.1. Κρίσιμα σημεία οργάνωσης.....	18
2.2.2. Θεωρίες οργάνωσης της αλυσίδας	20
2.3. Η έννοια των logistics	22
2.3.1. Ο ρόλος των logistics στην εφοδιαστική αλυσίδα	22
2.3.2. Logistic management.....	24
2.3.2.1. Διαφοροποίηση των όρων SCM και logistics	25
Κεφάλαιο 3 - Η εφοδιαστική αλυσίδα στα κατασκευαστικά έργα.....	26
3.1. Χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων.....	26
3.1.1. Προκλήσεις στον κατασκευαστικό κλάδο.....	26
3.2. Η εφοδιαστική αλυσίδα στα τεχνικά έργα.....	28
3.2.1. Χαρακτηριστικά οργάνωσης της ΚΕΑ.....	30
3.2.2. Προβλήματα της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας.....	32
3.3. Ο ρόλος του management στην εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής....	33
3.3.1. Μορφές διαχείρισης της αλυσίδας στον κατασκευαστικό κλάδο	35
3.3.2. Η σημασία των σχέσεων των συμμετεχόντων	37
3.3.3. Αποτελέσματα της εφαρμογής διαχείρισης της κατασκευαστικής αλυσίδας	38
3.4. Ο ρόλος του logistic management στην κατασκευή	38

3.5. Η επιρροή του χρονοδιαγράμματος στη διαχείριση της κατασκευαστικής αλυσίδας	39
3.6. Διαχείριση των υλικών (material management)	40
Κεφάλαιο 4 - Μοντέλα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στα κατασκευαστικά έργα	43
4.1. Σχεδιασμός μοντέλων.....	43
4.1.1. Λόγοι ώθησης στη δημιουργία μοντέλων διαχείρισης.....	43
4.1.2. Περιορισμοί στο σχεδιασμό μοντέλων.....	45
4.1.3. Μεταβλητές απόφασης.....	45
4.1.4. Είδη μοντελοποίησης	46
4.2. Μοντελοποίηση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας	47
4.2.1. Ποιοτικά μοντέλα ανάπτυξης στρατηγικών.....	47
4.2.1.1. Μεθοδολογία SCOR (Supply Chain Operation Reference).....	48
4.2.1.2. Λιτή διαχείριση στην κατασκευή	51
4.2.1.3. Ο κύκλος PDCA των Serpell και Heredia	58
4.2.1.4. Αδιάλειπτο μοντέλο διαχείρισης.....	61
4.2.2. Ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης.....	63
4.2.2.1. Μοντέλα προσομοίωσης.....	64
4.2.2.2. Μοντέλα βελτιστοποίησης.....	68
4.2.2.3. Μοντέλα ευφών πρακτόρων (agent-based models).....	71
4.3. Η σημασία της συνεργατικότητας (partnering) στην κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα.....	75
Κεφάλαιο 5 - Εφαρμογή μοντέλου διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας σε μελέτη περίπτωσης	77
5.1. Ορισμός προβλήματος.....	77
5.1.1. Μορφή της υπό μελέτης εφοδιαστικής αλυσίδας	77
5.1.1.1. Χρηματοροές της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	79
5.2. Ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου	79
5.2.1. Παραδοχές προβλήματος.....	79
5.2.2. Παράμετροι.....	80
5.2.3. Μεταβλητές.....	81

5.2.4. Ανάλυση αντικειμενικής συνάρτησης και συμβολισμών.....	82
5.2.5. Περιορισμοί.....	85
5.3. Αριθμητική εφαρμογή του μοντέλου σε μελέτη περίπτωσης.....	87
5.3.1. Παρουσίαση σεναρίου.....	87
5.3.2. Επίλυση σεναρίου	90
5.3.2.1. προετοιμασία φύλλου εργασίας και καταχώρηση τιμών.....	90
5.3.3. Αποτελέσματα.....	93
Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα.....	96
Βιβλιογραφία.....	98
Παράρτημα 1.....	104
Παράρτημα 2.....	106
Παράρτημα 3.....	108

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Τύποι συνδέσεων εμπλεκόμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα	16
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής διεργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	20
Σχήμα 3: Κυκλική θεωρία της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	21
Σχήμα 4: Θεωρία έλξης / ώθησης της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	21
Σχήμα 5: Πεδίο αναφοράς του <i>logistic management</i>	24
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατασκευαστικών σταδίων και κόστους έργου.....	28
Σχήμα 7: Η μορφή της κατασκευαστικής αλυσίδας	30
Σχήμα 8: Γενικό μοντέλο της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας.....	31
Σχήμα 9: Διαγραμματική απεικόνιση των προβλημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής	32
Σχήμα 10: Τυπικό δίκτυο σχέσεων ενός τεχνικού έργου	34
Σχήμα 11: Διάγραμμα ζήτησης στην κατασκευή σε σχέση με τα εμπλεκόμενα μέρη.....	35
Σχήμα 12: Διάγραμμα ταξινόμησης των μοντέλων της εφοδιαστικής αλυσίδας,	46
Σχήμα 13: Μοντέλο SCOR	49
Σχήμα 14a,14b,14c: Διαγράμματα τριών επιπέδων διαχείρισης με βάση το μοντέλο SCOR	51
Σχήμα 15: Ενδεικτικό παράδειγμα διαγράμματος ενός "Last Planner" συστήματος.....	55
Σχήμα 16: Εννοιολογικό πλαίσιο της λιτής κατασκευής	57
Σχήμα 17: Στάδιο 1 ^ο – βασικά βήματα εφαρμογής της διαχείρισης της αλυσίδας.....	58
Σχήμα 18: Στάδιο 2 ^ο – Δραστηριότητες και αποτελέσματα της αρχικής ανάλυσης.....	59
Σχήμα 19: Στάδιο 3 ^ο – Δραστηριότητες και αποτελέσματα της φάσης σχεδιασμού	59
Σχήμα 20: Στάδιο 4 ^ο – Ανάλυση εργαλείων και μεθόδων για την εφαρμογή της μεθοδολογίας.....	60
Σχήμα 21: Διάγραμμα συσχέτισης πελάτη-προμηθευτή στην εφοδιαστική αλυσίδα).....	61
Σχήμα 22: Διάγραμμα ενός αδιάλειπτου μοντέλου της κατασκευαστικής αλυσίδας.....	62
Σχήμα 23: Προσημείωση οδηγούμενη από τα χρονικά βήματα.....	66
Σχήμα 24: Προσομοίωση οδηγούμενη από τα γεγονότα	66
Σχήμα 25: Ιεραρχική δομή λήψης αποφάσεων στην κατασκευαστική ΕΑ.....	70
Σχήμα 26: Απεικόνιση του διαπραγματευτικού συστήματος πρακτόρων – υπεργολάβων	73
Σχήμα 27: Μοντέλο διαπραγμάτευσης πολλαπλών χαρακτηριστικών.....	74
Σχήμα 28: Διάγραμμα συσχέτισης της αποδοτικότητας με το βαθμό συνεργασίας σε μια επιχείριση.....	76
Σχήμα 29: Διάγραμμα απεικόνισης της προτεινόμενης εφοδιαστικής αλυσίδας του έργου	78
Σχήμα 30: Διάγραμμα της εφοδιαστικής αλυσίδας της εξεταζόμενης περίπτωσης	90
Σχήμα 31: Ποσοστιαίο διάγραμμα κατανομής κόστους.....	94

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 5.1 παράμετροι προβλήματος βελτιστοποίησης	80
Πίνακας 5.2 μεταβλητές προβλήματος βελτιστοποίησης.....	81
Πίνακας 5.3 Είδη υλικού ανά κανάλι τροφοδοσίας.....	87
Πίνακας 5.4 Απαιτούμενες ποσότητες και απόθεμα ασφαλείας ανα υλικό.....	88
Πίνακας 5.5 Δεδομένα παραμέτρου d_{ij}	88
Πίνακας 5.6 Δεδομένα παραμέτρου C_{ij}	89
Πίνακας 5.7 επιπρόσθετα κόστη ανά κανάλι τροφοδοσίας	89
Πίνακας 5.8 Παραγγελία παρτίδας υλικού ανά κανάλι και ανά χρονική περίοδο.....	94

Κατάλογος εικόνων

<i>Εικόνα 1: Γραμμή εντολής του πρόσθετου προγράμματος Analytic Solver</i>	<i>91</i>
<i>Εικόνα 2: Καταχώρηση δεδομένων και προετοιμασία μηχανής βελτιστοποίησης.....</i>	<i>92</i>
<i>Εικόνα 3: παράθυρο επιβεβαίωσης εύρεσης λύσης</i>	<i>93</i>

Περίληψη

Ο κλάδος των κατασκευών χαρακτηρίζεται γενικότερα από πολλές ιδιαιτερότητες όπως ο έκδηλος κατακερματισμός, η έλλειψη σχέσεων εμπιστοσύνης, η βραχυπρόθεσμη φύση των έργων και η μοναδικότητα κάθε κατασκευής, θέτοντας τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας. Η θεωρητική εξέλιξη στον τομέα της διαχείρισης είναι σχετικά πρόσφατη και βασίζεται κυρίως σε υφιστάμενες μελέτες του παραγωγικού κλάδου. Η χρήση στρατηγικών οργάνωσης της αλυσίδας αλλά και μαθηματικών μοντέλων, κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος στη βιβλιογραφία. Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον όρο διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στα κατασκευαστικά έργα αναλύοντας αρχικά τις βασικές έννοιες και παραθέτοντας τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες του κατασκευαστικού κλάδου. Μέσα από την παρουσίαση ποσοτικών και ποιοτικών μοντέλων διαχείρισης καθώς και τη μελέτη εφαρμογής σε ενδεικτικό παράδειγμα, γίνεται άμεσα κατανοητή η συνεισφορά της ενσωμάτωσης κατάλληλων στρατηγικών και μεθόδων για την αποδοτικότερη κατασκευή ενός έργου και τη διαχείριση του, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεργατικότητα στις σχέσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων και την πολύ-επίπεδη φύση του έργου.

Λέξεις-κλειδιά: κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα, διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης, στρατηγικές οργάνωσης

Abstract

The construction industry is generally characterized by many attributes, such as the apparent fragmentation, lack of trust, the short-term nature of the projects and the uniqueness of each construction, putting supply chain management as a critical success factor. Theoretical development in the field of management is relatively recent and is mainly based on existing studies in the manufacturing sector. The use of supply chain management strategies as well as mathematical models, is gaining more and more ground in the literature. This dissertation deals with the term supply chain management in construction projects by analyzing the basic concepts and listing the problems and uniqueness of the construction industry. Through the presentment of quantitative and qualitative management models as well as the application study in an indicative example, it is immediately understood the importance of the integration of appropriate strategies and methods for a more efficient construction and management of the supply chain taking into consideration the partnership and the multi-level nature of the project.

Key words: construction supply chain, supply chain management, quantitative models, qualitative strategies

Κεφάλαιο 1 - Περιεχόμενα, σκοπός και Δομή της εργασίας

1.1. Γενικά

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ως νοοτροπία λαμβάνει αυξανόμενη προσοχή εντός του κατασκευαστικού κλάδου καθώς συσχετίζεται από πολλούς με την αποδοτικότητα και την επιτυχία μιας επιχείρησης. Αποτελεί έναν τρόπο σύνδεσης αυτής με άλλους εμπλεκόμενους (προμηθευτές, διαμεσολαβητές, πελάτες) δημιουργώντας ένα δίκτυο οργανισμών με σκοπό την υψηλή παραγωγικότητα και την εκπρόθεσμη παράδοση ενός έργου (Broft, 2020).

Ο σχεδιασμός και η διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού απαιτούν το σωστό προσδιορισμό των συμμετεχόντων μελών καθώς και τον καθορισμό των σχέσεων μεταξύ τους. Αυτό το έργο αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση για τον κατασκευαστικό κλάδο, καθώς οι εφοδιαστικές αλυσίδες των τεχνικών έργων διακρίνονται από πολυπλοκότητα και μοναδικότητα, με σύνθετη δομή και μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων με παροδικότητα στις σχέσεις (Cheng, Law, Bjornsson, Jones, & Sriram, 2010).

Τα κατασκευαστικά έργα συνήθως περιλαμβάνουν δεκάδες ή και εκατοντάδες εταιρίες που σχετίζονται με τις προμήθειες, τα υλικά, τα εξαρτήματα, τον εξοπλισμό και τις υπηρεσίες. Η μοντελοποίηση της δομής όλων των εμπλεκόμενων μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της πολυπλοκότητας και της οργάνωσης της αλυσίδας (O'Brien, London, & Vrijhoef, 2002) οδηγώντας παράλληλα σε τεχνικές αποδοτικότερης διαχείρισης της.

1.2. Σκοπός της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναλύσει την έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας στα κατασκευαστικά έργα και να εξετάσει την προσέγγιση της αποδοτικής διαχείρισης αυτής μέσα από τη χρήση θεωρητικών και υπολογιστικών μοντέλων και κατάλληλων στρατηγικών.

1.2.1. Αντικείμενο έρευνας

Ο όρος διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί μια φιλοσοφία που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο κάθε οργανισμός πρέπει να διαχειρίζεται τις εργασίες και τις σχέσεις με σκοπό να συγχρονίζονται οι απαιτήσεις του πελάτη με τη ροή των υλικών και των πληροφοριών μέχρι να επιτευχθεί μία ισορροπία μεταξύ της ικανοποίησης του τελικού αποδέκτη και του κόστους (Heredia & Serpell, 2004). Η επίτευξη αυτού του

στόχου στον κατασκευαστικό κλάδο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από κατακερματισμό και ασταθείς σχέσεις των εμπλεκόμενων, αποτελεί ζωτικής σημασίας αντικείμενο έρευνας για την αποδοτική διαχείριση των έργων και την εξάλειψη των παθογενειών. Η χρήση ποιοτικών και ποσοτικών μοντέλων διαχείρισης, βασιζόμενη σε υφιστάμενες εφαρμογές κυρίως στον παραγωγικό κλάδο, αποτελεί μία στοχευόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση του ζητήματος.

Στο παρόν πόνημα πραγματεύεται το ζήτημα της αποδοτικής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στον κατασκευαστικό κλάδο. Η εργασία υπογραμμίζει τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες του κατασκευαστικού κλάδου, όπως η χαμηλή παραγωγικότητα, οι αντικρουόμενες σχέσεις μεταξύ των συμμετεχόντων, οι μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις, τα υψηλά κόστη και ο παραγκωνισμός των απαιτήσεων του πελάτη. Επίσης προβάλλεται η ανάγκη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης καθώς και η προώθηση μιας συνεργατικής πολιτικής, καθώς χωρίς την απαραίτητη συνεργατικότητα, κάθε προσπάθεια οργάνωσης δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Σημαντικό αντικείμενο της έρευνας αποτελεί η ανάδειξη της μοντελοποίησης και της χρήσης κατάλληλων στρατηγικών για μια ορθή οργάνωση. Η μοναδικότητα του κάθε κατασκευαστικού έργου αποτελεί τροχοπέδη για τη δημιουργία ενός καθολικού μοντέλου διαχείρισης, ωστόσο η απαίτηση για την ύπαρξη αυτού, είναι αναμφισβήτητη από κάθε μελετητή του κλάδου, για αυτό και η συνεχής έρευνα γύρω από μια επιτυχημένη εφαρμογή μοντέλων και στρατηγικών είναι απολύτως αναγκαία.

1.2.2. Μεθοδολογία

Για τη σύνταξη της παρούσας εργασίας έγινε διερεύνηση και ανάλυση δημοσιευμένων ερευνών και συγγραμμάτων που περιλαμβάνουν τους όρους "supply chain", "supply chain management", "construction supply chain management", "logistics in construction", "supply chain modelling", "programming for the construction supply chain", "supply chain integration", "optimization models for the supply chain", "mathematical models for the construction supply chain"

Η βιβλιογραφία που συγκεντρώθηκε προήλθε από διαδικτυακή αναζήτηση σε επιστημονικούς ιστότοπους, όπως το *Google Scholar* και το *Science direct*, καθώς επίσης και από σελίδες εκδοτικών οίκων επιστημονικών συγγραμμάτων, όπως η *Taylor and Francis* και *Elsevier*. Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας προέρχεται από δημοσιευμένα άρθρα και πρακτικά επιστημονικών συνεδρίων στον τομέα των κατασκευών, των logistics και του management.

Για την ανάδειξη του σκοπού της έρευνας έγινε επίσης υπολογιστική εφαρμογή ενός μοντέλου διαχείρισης σε μία μελέτη περίπτωσης κατασκευής ενός τεχνικού έργου. Το μοντέλο βασίστηκε σε υφιστάμενη δημοσιευμένη έρευνα των Jaśkowski, Sobotka και Czarnigowska, ωστόσο προσαρμόστηκε στα δεδομένα της μελέτης. Για την

εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε ως βασικό πρόγραμμα το Ms Excel καθώς επίσης και το πρόσθετο πρόγραμμα βελτιστοποίησης Analytic Solver, της εταιρίας Frontline.

1.3. Δομή

Αρχικά, μετά τις εισαγωγικές καταχωρήσεις στο Κεφάλαιο 1, γίνεται η μετάβαση στο Κεφάλαιο 2, με μία γενική επισκόπηση των όρων εφοδιαστική αλυσίδα και logistics. Με σκοπό την κατανόηση της σημασίας των όρων αυτών, παρουσιάζονται οι γενικοί ορισμοί ενώ παράλληλα αναλύονται τα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι τρόποι οργάνωσης αυτής μέσα σε μια επιχείρηση, καθώς και ο ρόλος των logistics ως μέρος αυτού του συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται η σύνδεση της εφοδιαστικής αλυσίδας με τα κατασκευαστικά έργα. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιαιτερότητες των τεχνικών έργων, όπως επίσης και τα προβλήματα που προκύπτουν εξαιτίας αυτών των χαρακτηριστικών. Ακόμη, γίνεται ανάλυση των μορφών διαχείρισης της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας και αναδεικνύεται η σημασία αυτής για την επιτυχία του έργου.

Στη συνέχεια, αφού έγινε ενδελεχής αναγνώριση των στοιχείων και των προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας στον τομέα των τεχνικών έργων, στο Κεφάλαιο 4, συστήνεται η αποδοτική διαχείριση αυτής μέσα από την ενσωμάτωση κατάλληλων μοντέλων και στρατηγικών. Στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της μοντελοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας και στη συνέχεια αναλύονται εκτενώς ποιοτικά και ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης στον κατασκευαστικό κλάδο τα οποία αντιμετωπίζουν ζητήματα στρατηγικών σχεδιασμού οργάνωσης, βελτιστοποίησης, αποδοτικής διαχείρισης ώστε να αναδεχθεί η σημασία της χρήσης αυτών στην κατασκευή.

Για την καλύτερη κατανόηση και ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της χρήσης μοντέλων, στο Κεφάλαιο 5, γίνεται εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, με στόχο την αποδοτικότερη οργάνωση των καναλιών τροφοδοσίας υλικών σε ένα έργο. Το μοντέλο βασίζεται σε υφιστάμενη έρευνα, ωστόσο κατά την εφαρμογή του σε προτεινόμενη μελέτη περίπτωσης εξελίχθηκε υπολογιστικά, με στόχο να τονίσει την προσαρμοστικότητα των μοντέλων σε κάθε περίπτωση.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της εργασίας και την εφαρμογή του μοντέλου όπως περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο 2 - Ανάλυση Βασικών Εννοιών

2.1. Ορισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply chain)

Μέσα από μια σύντομη ιστορική αναδρομή, ήδη από τη δεκαετία του '80, οι έννοιες της μεταφοράς, της διανομής και της διαχείρισης των υλικών ενσωματώθηκαν σε ένα συλλογικό ορισμό: τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο ορισμός φαίνεται πως πρωτοεμφανίστηκε σε έντυπη μορφή το 1982 και αποδίδεται στον Keith Oliver. Στη συνέχεια, το 1985, ο καθηγητής του Harvard, Michael Porter, μέσα από το βιβλίο του *Competitive Advantage*, περιέγραψε πώς μια εταιρία μπορεί να γίνει πιο κερδοφόρα αναλύοντας πέντε πρωταρχικές διαδικασίες στις οποίες βασίζεται η εφοδιαστική αλυσίδα (Blanchard, 2010):

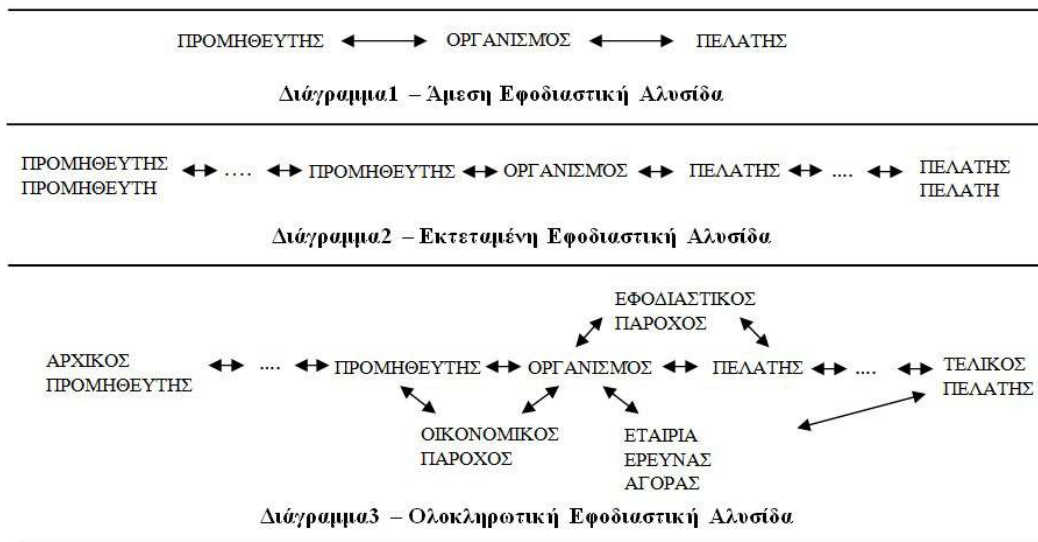
- *Εισερχόμενη διαχείριση.* Αφορά διαδικασίες που σχετίζονται με τη λήψη, αποθήκευση και τη διάδοση των εισροών προς ένα προϊόν (διαχείριση υλικών, αποθήκευση, διαχείριση αποθηκευτικού χώρου, οργάνωση μεταφορών και επιστροφές προς τους προμηθευτές)
- *Λειτουργίες.* Αναφέρεται στις δραστηριότητες που σχετίζονται με τη μεταποίηση των πρώτων υλών στο τελικό προϊόν (μηχανήματα, συσκευασία, συνδεσμολογία, συντήρηση εξοπλισμού, δοκιμές και λειτουργίες υποδομής)
- *Εξερχόμενη διαχείριση.* Αυτές οι δραστηριότητες σχετίζονται με τη συλλογή, αποθήκευση και παράδοση των προϊόντων στους αγοραστές (τελικά προϊόντα, αποθήκευση, υλικά, μεταφορές, παραγγελίες και προγραμματισμός)
- *Πωλήσεις και marketing.* Εντός της έννοιας της εφοδιαστικής αλυσίδας, σε αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνονται όλες οι δραστηριότητες που προτρέπουν τους αγοραστές να επιλέξουν το τελικό προϊόν και τούς καθιστά ικανούς να το αγοράσουν (διαφήμιση, προώθηση, πωλήσεις, ερωτηματολόγια, έρευνα αγοράς, τιμολόγηση)
- *Εξυπηρέτηση.* Αναφέρεται στις δραστηριότητες που σχετίζονται με την εξυπηρέτηση των πελατών ώστε να ενισχυθεί ή να διατηρηθεί η αξία του προϊόντος (εγκατάσταση, επισκευή, εκπαίδευση, ανταλλακτικά και τοποθέτηση)

2.1.1. Σχέσεις των εμπλεκόμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα

Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί ένα δίκτυο οργανισμών που εμπλέκονται, μέσω ανοδικών και καθοδικών συνδέσεων, στις διαφορετικές διαδικασίες και δραστηριότητες που παράγουν αξία με τη μορφή προϊόντων ή υπηρεσιών στα χέρια του τελικού καταναλωτή (Christopher, 2011). Περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως την προμήθεια πρώτων υλών σύμφωνα με τις απαιτήσεις, την οργάνωση των σταδίων της παραγωγικής

διαδικασίας και τον προγραμματισμό, την επεξεργασία των εισερχόμενων παραγγελιών, την μεταποίηση των αρχικών πρώτων υλών, την αποθήκευση (μακροχρόνια ή βραχυχρόνια) και τέλος τη διανομή στον τελικό αποδέκτη, ο οποίος μπορεί να είναι είτε ο πελάτης- χρήστης είτε ο έμπορος.

Βασιζόμενοι στον παραπάνω ορισμό, οι Mentzer και DeWitt διέκριναν περαιτέρω τρεις βαθμούς περιπλοκότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας: την «άμεση ΕΔ», την «εκτεταμένη ΕΔ» και την «ολοκληρωτική ΕΔ». Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μία επιχείρηση, έναν προμηθευτή και έναν πελάτη, οι οποίοι εμπλέκονται στη εισερχόμενη ή/και εξερχόμενη ροή προϊόντων, υπηρεσιών, χρηματοροών ή/και πληροφοριών. Η εκτεταμένη ΕΔ πηγαίνει ένα στάδιο μετέπειτα και περιλαμβάνει προμηθευτές των άμεσων προμηθευτών και πελάτες των άμεσων πελατών, οι οποίοι συνολικά συμμετέχουν στις προαναφερόμενες εισερχόμενες και εξερχόμενες διαδικασίες. Τέλος η ολοκληρωτική ΕΔ περιλαμβάνει όλους τους οργανισμό θα που εμπλέκονται ξεκινώντας από ολόκληρο το σύνολο των προμηθευτών μέχρι ολόκληρο το σύνολο των τελικών αποδεκτών. (Mentzer, et al., 2001) Η θεωρία αυτή απεικονίζεται ξεκάθαρα στο *Σχήμα1* που ακολουθεί:



Σχήμα 2.1: Τύποι συνδέσεων εμπλεκόμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα, (Πηγή: Mentzer, και συν., 2001)

Ο όρος εφοδιαστική αλυσίδα υπονοεί μια γραμμική διαδικασία. Παρόλα αυτά η γραμμικότητα αυτή υφίσταται μόνο σαν έννοια ή αποσπασματικά. Στην πραγματικότητα, η φύση της εφοδιαστικής αλυσίδας εκτείνεται σε παράλληλα επίπεδα και επικρατούν δυναμικά δίκτυα σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων.

2.2. Η οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management)

Εξαιτίας της περιπλοκότητας του όρου της εφοδιαστικής αλυσίδας, έχει εισαχθεί η έννοια της οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, με σκοπό την εύρυθμη λειτουργία μεταξύ των συμμετεχόντων σε όλη την παραγωγική διαδικασία, από την προμήθεια μέχρι τον τελικό αποδέκτη. Ουσιαστικά, η οργάνωση της αλυσίδας αποτελεί τη φιλοσοφία που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο ο κάθε οργανισμός πρέπει να διαχειρίζεται όλες τις διαδικασίες ώστε να δημιουργεί κερδοφόρες στρατηγικές. Σκοπός είναι να συντονίζονται οι απαιτήσεις του πελάτη με τη χρήση αποδοτικής ροής των πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια, μέχρι να επιτευχθεί μία ισορροπία μεταξύ των αναγκών αυτού και του κόστους παραγωγής.

Σημαντικό να αναφερθεί πως μέσα από την έρευνα και την εξέλιξη γύρω από το θέμα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, εισάγεται η έννοια της διαχείρισης των σχέσεων (relationship management) που συνδέει τα εμπλεκόμενα μέλη. Όπως αναφέρει ο Lambert «Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί τη διαχείριση των σχέσεων εντός του δικτύου των οργανισμών, από τους τελικούς αποδέκτες στους αρχικούς προμηθευτές, χρησιμοποιώντας στοχευόμενες επιχειρηματικές μεθόδους ώστε να δημιουργηθεί αξία τόσο για τους πελάτες όσο και για τα υπόλοιπα ενδιαφερόμενα μέρη» (Lambert D. M., 2014)

Σε μια αρχική προσέγγιση, η οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελείται από τρεις κύριες διαστάσεις: τον προμηθευτή, τον πελάτη και τις εσωτερικές σχέσεις (Munir, Jajja, Chatha, & Farooq, 2020). Οι εξωτερικές σχέσεις, οι οποίες αφορούν συνήθως σχέσεις μεταξύ πελατών και προμηθευτών, αναφέρονται στο βαθμό στον οποίο μια επιχείρηση συνεργάζεται με τους βασικούς προμηθευτές και πελάτες της για να διαρθρώσει οργανωτικές στρατηγικές στο εσωτερικό της, πρακτικές και διαδικασίες με συγχρονισμένο και συνεργατικό τρόπο για τη δημιουργία αμοιβαίας αξίας. Οι σχέσεις με τους προμηθευτές αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών και τον συντονισμό με τους βασικούς προμηθευτές, παρέχοντας μια εμπειριστατωμένη εικόνα των δυνατοτήτων, των διαδικασιών και των περιορισμών που έχουν, επιτρέποντας αποτελεσματική πρόβλεψη και προγραμματισμό, σχεδιασμό διαδικασιών και προϊόντων και γενική αποτελεσματική διαχείριση λειτουργιών. Οι σχέσεις των πελατών περιλαμβάνουν δραστηριότητες ανταλλαγής πληροφοριών και στενή συνεργασία με βασικούς πελάτες που διευκολύνει την επιχείρηση να αναπτύξει στρατηγικές γνώσεις σχετικά με τις ευκαιρίες και τις προσδοκίες της αγοράς, επιτρέποντας έτσι την άμεση ανταπόκριση στις ανάγκες αυτών πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά. Οι εσωτερικές σχέσεις, από την άλλη πλευρά, αναφέρονται στην εξάπλωση μιας σταθερής εσωτερικής συνεργασίας και στην ανταλλαγή πληροφοριών που πραγματοποιούνται μέσω συγχρονισμένων και διασυνδεδεμένων συστημάτων και διαδικασιών για την εκπλήρωση των απαιτήσεων των πελατών.

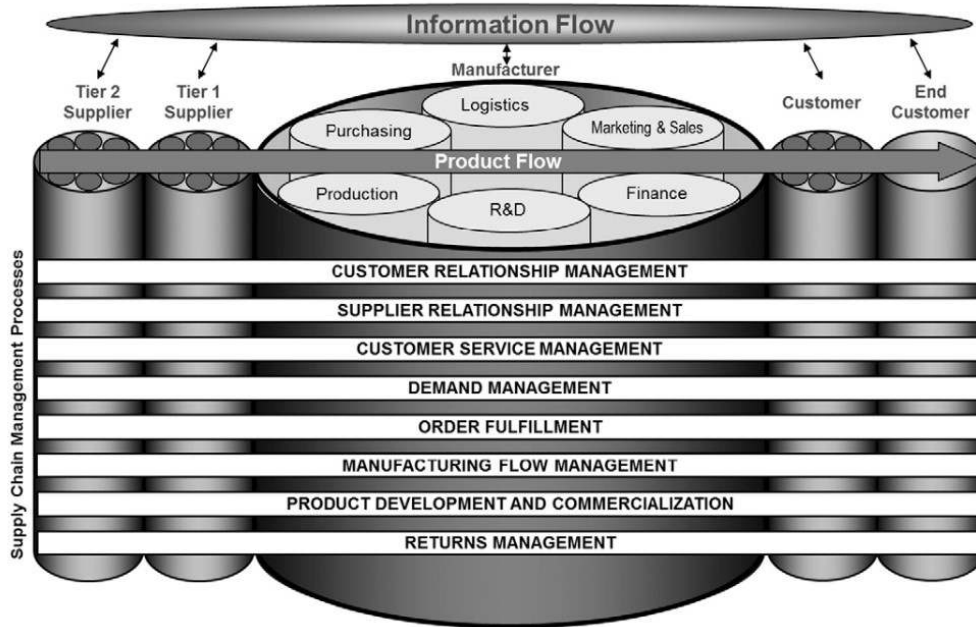
Η οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει σκοπό να διαχειριστεί με αποδοτικό τρόπο όλες τις εισερχόμενες πληροφορίες και σχέσεις των εμπλεκόμενων με σκοπό την αποδοτική λειτουργία της. Σε μια επιχείρηση, οι εμπλεκόμενες οντότητες όπως οι προμηθευτές, οι κατασκευαστές μπορεί να ανήκουν σε έναν οργανισμό ή σε ξεχωριστούς. Σύμφωνα με τους Kouvelis, Chambers και Wang (Kouvelis, Chambers, & Wang, 2006) μπορεί κανείς να διακρίνει μία εγωκεντρική εφοδιαστική αλυσίδα, όπου ο κεντρικός manager παίρνει όλες τις αποφάσεις που αφορούν συνολικά το σύστημα. Από την άλλη πλευρά, υφίσταται το μη εγωκεντρικό σύστημα οργάνωσης όπου κάθε μέρος λειτουργεί σαν ανεξάρτητη ομάδα και διαχειρίζεται μεμονωμένα. Σε ένα τέτοιο σύστημα, οι πολιτικές μπορούν να εισαχθούν ευκολότερα και να αναλυθούν σε τοπικό επίπεδο, ωστόσο γίνεται δυσκολότερος ο συντονισμός κάθε ανεξάρτητης μονάδας ώστε να επιτευχθεί ολική βελτιστοποίηση στην εφοδιαστική αλυσίδα.

2.2.1. Κρίσιμα σημεία οργάνωσης

Η μελέτη σχετικά με την οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι εκτενής μέχρι σήμερα και εξαιτίας της πολυπλοκότητας της, έχει προκύψει η ανάγκη για την εισαγωγή νέων όρων διαχείρισης των μερών της, σε ένα εκ βάθους επίπεδο. Το 2000, οι Lambert και Cooper (Lambert & Cooper, 2000) διαχώρισαν την οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, σε οκτώ επιμέρους διαδικασίες. Στη συνέχεια ο Lambert (Lambert & Enz, 2017), σε εξέλιξη της έρευνας του, ανέλυσε περαιτέρω τις έννοιες αυτές. Συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Διαχείριση των πελατειακών σχέσεων (Customer Relationship Management):** Ο τομέας αυτός εξετάζει τη δομή των σχέσεων μεταξύ της εταιρίας και των πελατών και τρόπους με τους οποίους μπορούν να αναπτυχθούν και να διατηρηθούν σε ικανοποιητικά επίπεδα. Η ομάδα διαχείρισης, χωρίζει τους πελάτες σε υποσύνολα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και στοχεύει στην ανάπτυξη στρατηγικών για την κάλυψη των αναγκών τους μέσα από τα προϊόντα. Σε πολλές περιπτώσεις, η ομάδα διαχείρισης, συντάσσει μη διαπραγματεύσιμα συμβόλαια μεταξύ του πελάτη και της εταιρίας, με σκοπό την ανάδειξη μιας μερίδας πελατών αλλά και την επίτευξη των κερδοφόρων στόχων της εταιρίας.
- **Διαχείριση των σχέσεων μεταξύ των προμηθευτών (Supplier Relationship Management):** Το συγκεκριμένο τμήμα ασχολείται με τη σχέση προμηθευτών και εταιρίας και το πώς αυτή μπορεί να διατηρηθεί σε βάθος χρόνου. Όπως η εταιρία πρέπει να αναπτύσσει σχέσεις με τους πελάτες, αντίστοιχα σημαντικές είναι και αυτές με τους προμηθευτές. Ανάλογα με το ενδιαφέρον και το πόσο κερδοφόρο μπορεί να αποβεί, η εταιρία και σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να συντάσσει συμβόλαια δέσμευσης με κάποιους προμηθευτές ή ακόμη και μερικό συνεταιρισμό.

- **Διαχείριση της εξυπηρέτησης πελατών (Customer Service Management):** Η διαχείριση της εξυπηρέτησης πελατών αποτελεί ένα εξειδικευμένο υποσύνολο της διαχείρισης των πελατειακών σχέσεων και ασχολείται με τη σύνταξη και το συντονισμό των συμβολαίων παροχής προϊόντων και υπηρεσιών. Μέσα στις δραστηριότητές τους, εντάσσεται και η ανάλυση του ρίσκου για το κατά πόσο μπορεί να εκπληρωθεί ο στόχος της εκάστοτε συμφωνίας
- **Διαχείριση των απαιτήσεων (Demand Management):** Η ομάδα διαχείρισης των απαιτήσεων είναι αυτή ασχολείται με τη ζήτηση της αγοράς και τις δυνατότητες παραγωγής της εταιρίας. Ο τομέας αυτός δεν ασχολείται μόνο με την πρόβλεψη των αναγκών αλλά δίνει βάση και στο συγχρονισμό της παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με τις απαιτήσεις δημιουργώντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ελαστικότητα ώστε να επιτευχθεί το υψηλότερο κέρδος με τις χαμηλότερες απώλειες.
- **Εκτέλεση παραγγελιών (Order Fulfilment):** Το τμήμα διαχείρισης των παραγγελιών περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό ενός κατάλληλου δικτύου που συνδέει τον τελικό αποδέκτη με την εταιρία. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος των τελικών πελατών και ειδικότερα όταν μιλά κανείς για παγκόσμιο επίπεδο, η ανάγκη για ανάπτυξη στρατηγικών, γίνεται σαφώς κρίσιμη γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη του συγκεκριμένου τμήματος
- **Διαχείριση της κατασκευαστικής ροής (Manufacturing Flow Management):** Το παρόν τμήμα ασχολείται με τη διαχείριση όλων των δραστηριοτήτων που αφορούν την παραγωγή του προϊόντος περιλαμβάνοντας τις προμήθειες, τη γραμμή παραγωγής, τη διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού, τη διανομή, τη διαχείριση της ροής των πληροφοριών κ.α. Ωστόσο η διαχείριση δεν πρέπει να υφίσταται μόνο εντός του "εργοστασίου". Ανάλογα με τις απαιτήσεις των πελατών, η κάθε μία από τις διεργασίες πρέπει να εξετάζεται χωριστά και να δημιουργούνται ανεξάρτητες στρατηγικές.
- **Ανάπτυξη των προϊόντων και εμπορευματοποίηση (Product Development and Commercialization):** Το συγκεκριμένο τμήμα, αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ των αναγκών της αγοράς, τις πελατειακές σχέσης και τη γραμμή παραγωγής. Η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος και η ετοιμασία του για την είσοδο στην αγορά, προβλέπει τη δημιουργία ενός δικτύου συντονισμού που ενώνει τις ανάγκες των πελατών, με τον αποδοτικό σχεδιασμό του προϊόντος, τη βέλτιστη διαχείριση των εισερχόμενων πρώτων υλών και την άμεση παραγωγή του.
- **Διαχείριση επιστροφών (Returns Management):** Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της ΕΑ αποτελεί η διαχείριση της επιστροφής ενός προϊόντος που περιλαμβάνει την εναποθήκευση του, τη φύλαξη αλλά και την αποφυγή διαπλοκής με τη βασική παραγωγική γραμμή της εταιρίας. Η ομάδα διαχείρισης σκοπεύει στην αποδοτική αντιμετώπιση των επιστροφών με μείωση του κόστους, αποφυγή ανεπιθύμητων επιστροφών, διαχείριση των μεταφορών και της αποθήκευσης καθώς και σύνταξη νέων πολιτικών επιστροφής.

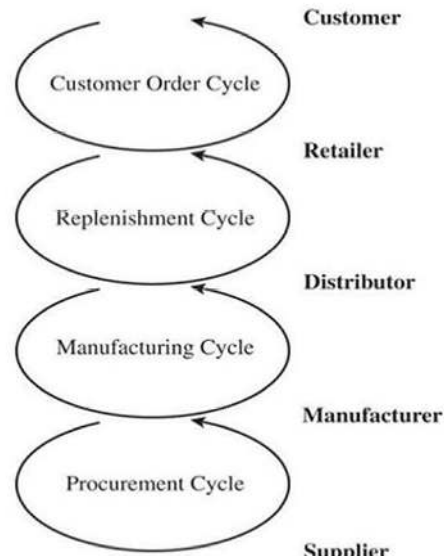


Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ροής διεργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, (Πηγή: Lambert, 2014)

2.2.2. Θεωρίες οργάνωσης της αλυσίδας

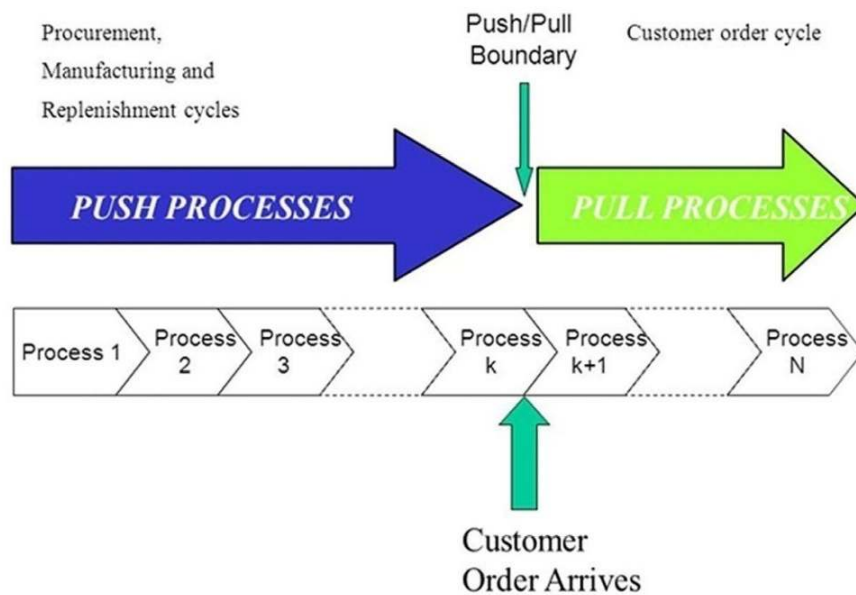
Η μελέτη γύρω από την οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι εκτενής και περιλαμβάνει έρευνα γύρω από διαφορετικά επίπεδα. Σε μια διαφορετική οπτική για την εσωτερική οργάνωση της, σύμφωνα με τους Kain και Verma (Kain & Verma, 2017) μπορεί κανείς να διακρίνει δύο ειδών θεωρίες εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας:

Την κυκλική θεωρία, στην οποία οι διαδικασίες εντός της αλυσίδας χωρίζονται σε υποσύνολα κυκλικών κινήσεων, τα οποία συνδέονται διαδοχικά μεταξύ τους. Σε αυτό το μοντέλο οι ενέργειες τοθ κάθε συνόλου εκτελούνται κατά την επαφή με τον υποκείμενο "κύκλο" και είναι αλληλένδετες μεταξύ τους.



Σχήμα 2.3: Κυκλική θεωρία της εφοδιαστικής αλυσίδας, (Πηγή: Kain & Verma, 2017)

Τη θεωρία έλξης/ώθησης σύμφωνα με την οποία οι διεργασίες εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν εκτελούνται κατά παραγγελία των πελατών ή ως απόθεμα σε μία προσδοκώμενη παραγγελία. Οι διαδικασίες έλξης εισάγονται από την άμεση ζήτηση του πελάτη ενώ οι διαδικασίες ώθησης εισάγονται και εκτελούνται ως απόθεμα, αναμένοντας τις μελλοντικές παραγγελίες.



Σχήμα 2.4: Θεωρία έλξης / ώθησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, (Πηγή: Kain & Verma, 2017)

2.3. Η έννοια των logistics

Τα *logistics* αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στη σημερινή εποχή, με τις ανάγκες της αγοράς να έχουν αυξηθεί, την τεχνολογία να έχει λάβει τον πρώτο ρόλο και την παγκοσμιοποίηση όσο αφορά το εμπόριο και τα προϊόντα, ο ρόλος των *logistics* στην παραγωγική διαδικασία έχει λάβει δυναμικό χαρακτήρα και καλείται να αντιμετωπίσει και να προσαρμοστεί στην πολυπλοκότητα και τις απαιτήσεις της εποχής.

Ο όρος *logistics* μπορεί να μεταφραστεί ως «ο προγραμματισμός και έλεγχος της ροής των φυσικών αγαθών και τελικών προϊόντων, από τον τόπο προμήθειας μέχρι τον τελικό αποδέκτη εξυπηρετώντας τις ανάγκες του πελάτη σε συνδυασμό με το κέρδος» (Kotler & Keller, 2005)

Σε ένα άλλο ορισμό, το Council of Logistics Management ορίζει: «τα *logistics* αποτελούν μέρος της εφοδιαστικής αλυσίδας που αφορούν στον σχεδιασμό, τον έλεγχο και την υλοποίηση μιας αποτελεσματικής και αποδοτικής ροής προϊόντων (forward or reverse), αποθήκευσης αυτών καθώς και την παροχή πληροφοριών μεταξύ προμηθευτή και καταναλωτή ώστε να εξυπηρετηθούν τα συμφέροντα του πελάτη» (Neeraja, Mehta, & Chandani, 2014)

2.3.1. Ο ρόλος των logistics στην εφοδιαστική αλυσίδα

Τα *logistics* αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα μέρη της αλυσίδας εστιάζοντας κυρίως στα υλικά και τις μεταφορές. Αναλυτικά μπορεί κανείς να διακρίνει τέσσερις βασικές λειτουργίες που καλύπτονται από τον κλάδο των *logistics* (Sadler, 2007):

- **Διαχείριση παραγγελιών και πρόβλεψη της ζήτησης:** Το τμήμα αυτό ασχολείται με την άμεση παραλαβή των παραγγελιών από τους πελάτες καθώς και τη διασταύρωση της παραγωγικής δυνατότητας της μονάδας και του αποθέματος. Πολλές παραγωγικές μονάδες λειτουργούν σε αυτό το στάδιο με μεθόδους προβλέψεων, οι οποίες βασίζονται στην έρευνα αγοράς αλλά και σε δεδομένα παρελθοντικών πωλήσεων. Όσο πιο άμεση η σχέση με τους πελάτες μιας εταιρίας, τόσο πιο έγκυρη είναι η πρόβλεψη, με συνέπεια τη μείωση εξόδων και μη αναγκαίων ενεργειών. Από την άλλη πλευρά διακρίνει κανείς παραγωγικές μονάδες οι οποίες ξεκινούν την παραγωγή κατόπιν παραγγελίας. Σε αυτή την περίπτωση ελαχιστοποιείται η πιθανότητα ζημίας ωστόσο υπάρχει κίνδυνος για διατάραξη των πελατειακών σχέσεων σε περίπτωση καθυστερήσεων παράδοσης. Κρίνεται έτσι απαραίτητη η ύπαρξη σωστής διαχείρισης στο συγκεκριμένο τμήμα καθώς και πολύπλευρη ανταλλαγή πληροφοριών με κάθε κρίκο της αλυσίδας.
- **Εφοδιασμός:** Το εφοδιαστικό τμήμα των *logistics* αφορά τις διαδικασίες αγοράς πρώτων υλών, τη μεταποίηση τους καθώς και την παράδοση τους στο επόμενο

στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αρχικά, η αγορά των πρώτων υλών απαιτεί τη δημιουργία ενός αξιόπιστου δικτύου σχέσεων με προμηθευτές. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ανταγωνισμός, τόσο περισσότερη έρευνα και σωστή διαχείριση απαιτείται από την πλευρά της εταιρίας με σκοπό να εξασφαλίζεται η επιθυμητή ισορροπία τιμής και ποιότητας. Σε επόμενο στάδιο βρίσκεται η διαδικασία παραγωγής, κατά την οποία απαιτείται η οργάνωση των παραγωγικών σταδίων με ενδιάμεσο έλεγχο ποιότητας στα επιμέρους μέρη. Σε τελικό στάδιο βρίσκεται η συναρμολόγηση και διάθεση των παραγόμενων αγαθών προς επόμενα πεδία της αλυσίδας ή προς τους τελικούς αποδέκτες.

- **Μεταφορές:** Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα εντός της αλυσίδας αποτελεί ο τομέας των μεταφορών. Οι τύποι μεταφοράς ποικίλουν ανάλογα με το είδος του φορτίου και την ποσότητα αλλά και τις σχέσεις της εταιρίας με τον μεταφορέα. Πολλές εταιρίες ανάλογα με τις ανάγκες τους, δημιουργούν δικό τους τμήμα μεταφορών, έχοντας τον απόλυτο έλεγχο των κινήσεων και διανομών, ενώ άλλες επιλέγουν τη συνεργασία με τρίτους. Κάθε περίπτωση κρίνεται δόκιμη και η επιλογή εξαρτάται από τη σχέση κόστους που δημιουργείται. Στο πεδίο των μεταφορών εντάσσονται και οι εσωτερικές μεταφορές αγαθών, εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας κάτω από τον όρο «διαχείριση υλικού». Γραμμές παραγωγής που περιλαμβάνουν πολλά κατασκευαστικά στάδια, συνήθως απαιτούν τη μεταφορά των υλικών από το ένα τμήμα στο άλλο. Η διαδικασία αυτή καλύπτεται από την ίδια την εταιρία και απαιτεί σωστή διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού της.
- **Διαχείριση της Αποθήκης:** Το τέταρτο μέρος των logistics αποτελεί η αποθήκευση των πρώτων υλών, των ενδιάμεσων μερών και των τελικών προϊόντων. Η αποθήκη αποτελεί τον πιο σημαντικό δεσμό μεταξύ των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς μπορεί να διατηρήσει απόθεμα από τα προϊόντα όταν η ζήτηση δεν είναι επαρκής, να διαχειριστεί χωρικά τα ενδιάμεσα παραγόμενα μέρη ώστε να μην παρεμποδίζεται η παραγωγική διαδικασία, να αποθηκεύει και να διανέμει τις πρώτες ύλες ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Η οργάνωση της αποθήκης με έξυπνα συστήματα, προσφέρει άμεση ροή πληροφοριών προς τα ενδιαφερόμενα τμήματα, ωφελώντας συνολικά τη ροή της αλυσίδας.

Συνοπτικά, όσο αφορά τα *logistics* ως μέρος της οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούμε να αναφέρουμε τέσσερα βήματα μετρίασης των προβλημάτων που προκύπτουν:

- I. επίδοση: καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών, βελτίωση της αποδοτικότητας, τροποποίηση σε πραγματικό χρόνο, ευελιξία και άμεση ανταπόκριση στις ανάγκες
- II. δόμηση συστήματος: καλύτερη σχέση μεταξύ των προμηθευτών, των πελατών και τρίτων μερών για καλύτερη διαχείριση.

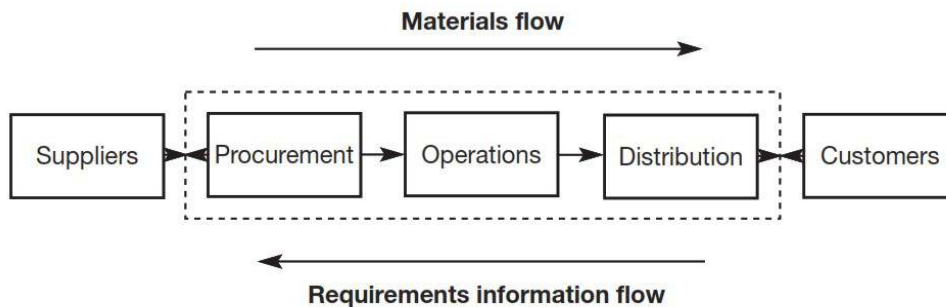
III. ενσωμάτωση της τεχνολογίας: καλύτερο σύστημα πληροφοριών που συνδέει τους εμπλεκόμενους. Σκοπός είναι ο συνδυασμός όλων των πληροφοριών και των συστημάτων διαχείρισης των υλικών ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής.

2.3.2. Logistic management

Η διαχείριση των *logistics* αποτελεί μια έννοια που εμπεριέχεται στην συνολική οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, σχετίζεται με τα μέσα για την ικανοποίηση των αναγκών των πελατών καθώς και το συντονισμό της ροής των υλικών και των πληροφοριών, που ξεκινάει από τις αγορές μέχρι τους προμηθευτές (Christopher, 2011) και αποτελεί έναν από τους κρίσιμους παράγοντες για την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Chan & Chung, 2004).

Το Council of Supply Chain Management Professional ορίζει το logistic management ως:

Εκείνο το τμήμα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management) που σχεδιάζει, εφαρμόζει και ελέγχει την αποδοτική και αποτελεσματική ροή των αγαθών (ευθύγραμμη και αντίστροφη), των υπηρεσιών και των σχετικών πληροφοριών μεταξύ του σημείου προέλευσης και του σημείου κατανάλωσης, με σκοπό να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του πελάτη.



Σχήμα 2.5: Πεδίο αναφοράς του logistic management, (Πηγή: Christopher, 2011)

Για πολλά χρόνια, το marketing και η παραγωγική διαδικασία μιας επιχείρησης, αντιμετωπίζονταν ως δύο ανεξάρτητες λειτουργίες σε μια επιχείρηση. Στην καλύτερη περίπτωση συνυπήρχαν, ενώ αντίθετα σε πολλές περιπτώσεις λειτουργούσαν υπό καθεστώς διαμάχης. Οι προτεραιότητες και στόχοι της παραγωγής, επικεντρώνονταν στη λειτουργική αποδοτικότητα της εταιρίας μέσω της συνεχούς παραγωγής, με ελαχιστοποίηση αλλαγών και τυποποίηση των προϊόντων. Από την άλλη πλευρά, το τμήμα του μάρκετινγκ, επεδίωκε να επιτύχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσω ποικιλίας στα προϊόντα, υψηλού επιπέδου παροχή υπηρεσιών και συχνών αλλαγών.

Στο σημερινό ανταγωνιστικό περιβάλλον της αγοράς, δεν υπάρχει πιθανότητα το μάρκετινγκ και η παραγωγή να λειτουργούν ανεξάρτητα. Μέσα σε ένα τέτοιο πλαίσιο, είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας μορφής διαχείρισης της διαδικασίας των *logistics* με σκοπό την ανάπτυξη ενός ανοιχτόμυαλου και καινοτόμου συστήματος για την εταιρία.

2.3.2.1. Διαφοροποίηση των όρων *SCM* και *logistics*

Στη βιβλιογραφία, οι όροι «διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας» και «*logistics*», είναι αρκετά συγκεχυμένοι και δεν υπάρχουν σαφή όρια διαχωρισμού της έννοιας και του πεδίου εφαρμογής τους. Οι Larson και Halldorsson (Larson & Halldorsson, 2004), σε έρευνα που δημοσίευσαν, ανέλυσαν τη βιβλιογραφία γύρω από το θέμα της εφοδιαστικής αλυσίδας και των *logistics* και διαχώρισαν τις ομάδες των ερευνητών σε τέσσερις κατηγορίες συσχέτισης των όρων:

- Οπαδοί της παραδοσιακής άποψη: θέτουν το *management* της εφοδιαστικής αλυσίδας ως ένα υποσύνολο του ευρύτερου όρου *logistics*
- Οπαδοί του επαναπροσδιορισμού του όρου: καταργούν τον όρο *Logistics* και τον αντικαθιστούν με ένα γενικότερο πλαίσιο καινοτομίας που ονομάζεται *supply chain management*
- Οι «συνδικαλιστές»: διαχειρίζονται τα *logistics* ως ένα μέρος του ευρύτερου συνόλου της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Οι οπαδοί της αλληλεπίδρασης: υποστηρίζουν πως το *management* της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν περιέχει ολοκληρωτικά τις λειτουργίες των *logistics* αλλά συνδέεται ως ένα βαθμό προσφέροντας στρατηγικές διαχείρισης. Ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος και των δύο πλευρών λειτουργεί ανεξάρτητα.

Στην παρούσα εργασία και για το σκοπό της έρευνας, υιοθετείται η άποψη των «συνδικαλιστών», θεωρώντας τα *logistics* ως μία σειρά διεργασιών που περικλείονται στο όρο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και επηρεάζονται ή επηρεάζουν άμεσα τις αποφάσεις και στρατηγικές που επιλέγει κάθε εταιρία.

Κεφάλαιο 3 - Η εφοδιαστική αλυσίδα στα κατασκευαστικά έργα

3.1. Χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων

Ο όρος τεχνικό έργο, εμπεριέχει ένα μεγάλο σύνολο κατασκευών όπως ένα απλό οικοδομικό έργο, ένα έργο υποδομής, συγκοινωνιακά έργα, υδραυλικά, ενεργειακά κτλ ή ακόμη και συνδυασμό αυτών. Τα τεχνικά έργα αποτελούν ένα περίπλοκο «μοναδικό προϊόν», περιλαμβάνοντας διασυνδεδεμένα μέρη, απαιτώντας μεγάλη ανθρώπινη προσπάθεια και οικονομική στήριξη.

Τα τρία βασικά στάδια που απαιτούνται για την ολοκλήρωση ενός έργου είναι ο σχεδιασμός, η προμήθεια των υλικών και η κατασκευή. Ο σχεδιασμός αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία οι ανάγκες και οι επιθυμίες του πελάτη καθορίζονται και ποσοτικοποιούνται ξεκάθαρα, ώστε να γίνουν αντιληπτές από τον κατασκευαστή ή τον εργολάβο. Το στάδιο του σχεδιασμού ξεκινά με την αρχική ιδέα του έργου μεταβαίνοντας στα σχέδια της οριστικής μελέτης και μετέπειτα στη μελέτη εφαρμογής και τα κατασκευαστικά σχέδια. Το στάδιο του σχεδιασμού, έχει το μεγαλύτερο βαθμό επιρροής στο έργο, καθώς πολλές κρίσιμες αποφάσεις θα παρθούν στο σημείο αυτό. Κατά συνέπεια, αυτές οι αποφάσεις θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό τον προϋπολογισμό του έργου.

Στη συνέχεια μεταβαίνουμε στο στάδιο των προμηθειών, όπου ο εργολάβος ή κατασκευαστής, έχοντας την απαραίτητη πληροφορία από τα υφιστάμενα σχέδια, ξεκινά τις παραγγελίες των απαραίτητων υλικών και μηχανικού εξοπλισμού. Οι κύριες δραστηριότητες στο στάδιο αυτό αφορούν την έρευνα, τις αγορές, τη διαχείριση των υπεργολαβιών και τη διαχείριση των υλικών στο χώρο του έργου.

Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας, ο εργολάβος-κατασκευαστής ξεκινά την προετοιμασία για την έναρξη της κατασκευής του έργου, ακολουθώντας μία προδιαγεγραμμένη σειρά εργασιών ώστε να ακολουθείται το χρονοδιάγραμμα του έργου με την πιο αποδοτική προσέγγιση.

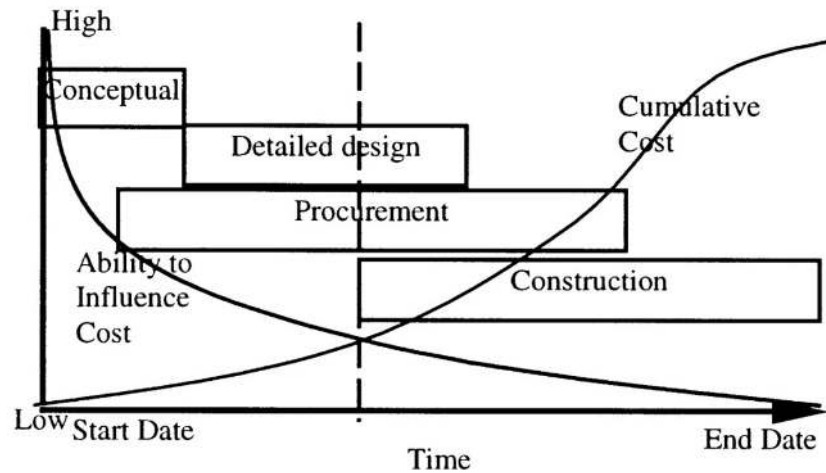
3.1.1. Προκλήσεις στον κατασκευαστικό κλάδο

Τα κατασκευαστικά έργα έρχονται αντιμέτωπα με ένα μεγάλο αριθμό προκλήσεων όπως χαρακτηριστικά η ανεξαρτησία των επιμέρους δραστηριοτήτων, ο κατακερματισμός των εργασιών και η παράλληλη διεκπεραίωση τους, η πολυπλοκότητα του δικτύου των σχέσεων και η αβεβαιότητα των προβλέψεων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες ορίζουν την ανάθεση δραστηριοτήτων σε επιμέρους θυγατρικές εταιρίες, αυξάνοντας το διαμελισμό των

εργασιών. Σύμφωνα με τους Nam και Tatum (Nam & Tatum, 1988) πέντε είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στα τεχνικά έργα:

- **Ακινήττητα:** Παραδοσιακά η κατασκευαστική βιομηχανία αναφέρεται σε όλες τις διαδικασίες ανέγερσης και επισκευής σταθερών κατασκευών όπου οι εργασίες πραγματοποιούνται στο χώρο παράδοσης του τελικού προϊόντος, ο οποίος είναι αμετακίνητος. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί μεγάλη αντίθεση σε σχέση με την παραγωγή ενός προϊόντος, όπου αυτό πρέπει να μεταβιβαστεί με κάποιο μέσο στον τελικό αποδέκτη.
- **Περιπλοκότητα:** Τα κατασκευαστικά έργα χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό ποικιλομορφίας και πολυπλοκότητας όσο αφορά το γεωγραφικό τόπο τους, τα υλικά και τις τεχνοτροπίες που χρησιμοποιούνται, τον εξοπλισμό αλλά και την απαίτηση για ειδικές κατασκευές. Παρόλο που γίνονται προσπάθειες για την ανάπτυξη τυπικών μοντέλων, ο βαθμός συμβατότητας παραμένει χαμηλός.
- **Ανθεκτικότητα:** Μία από τις μεγαλύτερες απαιτήσεις του κατασκευαστικού τομέα είναι η ανθεκτικότητα του έργου και η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του. Τα τεχνικά έργα έχουν μεγάλο προσδόκιμο ζωής, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη χρήσης υλικών και τεχνικών που καλύπτουν τέτοιες απαιτήσεις.
- **Δαπανηρότητα:** Η περιπλοκότητα και η ανάγκη για αντοχή στο χρόνο ωθούν σε αυξημένες δαπάνες κατασκευής και συντήρησης. Τα κατασκευαστικά έργα απαιτούν χρήση μεγάλης ποσότητας υλικών τα οποία καλύπτουν τα ποιοτικά πρότυπα, καθώς και μηχανολογικού και τεχνολογικού εξοπλισμού, προσαρμοσμένου στις ιδιαίτερες ανάγκες του καθενός από αυτά γεγονός που οδηγεί σε αυξημένα κοστολόγια.
- **Κοινωνική ευθύνη:** Τα κατασκευαστικά έργα φέρουν υψηλό βαθμό ευθύνης απέναντι στο κοινό. Καθώς εξυπηρετούν άμεσα και έμμεσα τις ανάγκες του κοινού και η χρήση τους από τους ανθρώπους είναι συνήθως μακροπρόθεσμη, πρέπει να προσαρμόζονται σύμφωνα με τους κανόνες ασφαλείας και υγιεινής. Επιπρόσθετα, οι κατασκευές, αποτελούν μέρος του περιβάλλοντος φέροντας μία περαιτέρω κοινωνική ευθύνη απέναντι στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο που προκαλούν.

Σε ένα τεχνικό έργο, εμπλέκονται οι ιδιοκτήτες, αρχιτέκτονες, μηχανικοί, προμηθευτές δικηγόροι, κατασκευαστές, εργολάβοι και υπεργολάβοι, εργάτες αλλά και το ίδιο το κράτος. Ο μεγάλος αριθμός συμμετεχόντων δυσχεράνει την επικοινωνία, καθώς σε πολλές περιπτώσεις συναντούμε αντικρουόμενα συμφέροντα. Ο χρονικός προγραμματισμός του έργου είναι εύαλωτος καθώς επηρεάζεται από αποφάσεις εξωτερικών φορέων, όπως η λήψη κρατικής έγκρισης και απαραίτητης άδειας, η καθυστέρηση στην παράδοση πρώτων υλών εξαιτίας των μεταφορικών, οι έλλειψη σωστών σχεδίων εφαρμογής κ.α. Γενικά τα κατασκευαστικά έργα υπόκεινται σε μεγάλα ρίσκα, καθυστερήσεις και δυσαρέσκεια εκ μέρους των πελατών, γεγονός που αυξάνει το τελικό κόστος.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα κατασκευαστικών σταδίων και κόστους έργου, (Πηγή Yeo & Ning, 2002)

3.2. Η εφοδιαστική αλυσίδα στα τεχνικά έργα

Τα τεχνικά – κατασκευαστικά έργα αποτελούν ένα μέρος του φάσματος που καλύπτει η έννοια της παραγωγής ενός προϊόντος, απαιτώντας όλη τη διαχείριση που διενεργείται σε μια απλή γραμμή παραγωγής, ωστόσο κρύβοντας πολλές ιδιαιτερότητες. Η έρευνα γύρω από τον όρο εφοδιαστική αλυσίδα, ξεκίνησε αρχικά από τον τομέα παραγωγής προϊόντων και αφορούσε κυρίως τη διαδικασία από την παραγωγή στη μεταφορά και στον τελικό αποδέκτη. Ωστόσο, οι αυξημένες ανάγκες της εποχής οδήγησαν στην εφαρμογή των μηχανισμών διαχείρισης της αλυσίδας και σε άλλους τομείς, με έναν από αυτούς τον κατασκευαστικό.

Σύμφωνα με τον Muya (Muya, Price, & Thorpe, 1999) θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι υπάρχουν τριών ειδών υπό κατηγορίες στην κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα:

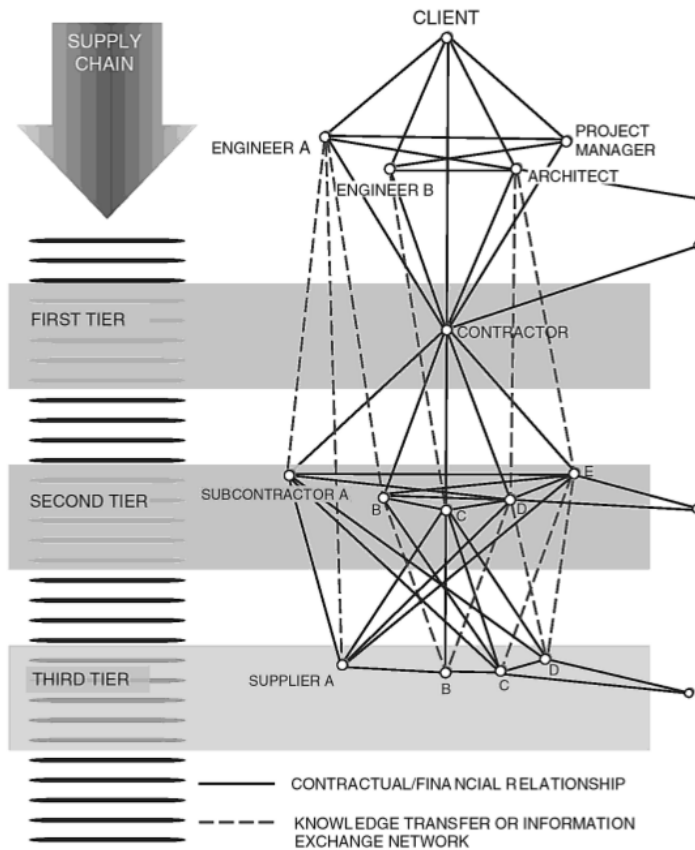
- **Η βασική εφοδιαστική αλυσίδα** – που αφορά στην παράδοση των υλικών για την κατασκευή του έργου
- **Η υποστηρικτική αλυσίδα** – για την παροχή εξοπλισμού, γνώσης και υλικών που θα στηρίξουν την κατασκευή
- **Η εφοδιαστική αλυσίδα του ανθρώπινου δυναμικού** – που περιλαμβάνει τους εργάτες και όλα τα άτομα που απασχολούνται στην εκτέλεση του έργου.

Η εφοδιαστική αλυσίδα στα τεχνικά έργα παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες και μια μοναδικότητα σε σχέση με την εφοδιαστική αλυσίδα άλλων τομέων. Ουσιαστικά καλύπτει απαιτήσεις για μεμονωμένα "προϊόντα έργα" χωρίς να υπάρχει η έννοια της

τυποποίησης. Γενικότερα, η κατασκευή είναι μια διαδικασία με έντονο κατακερματισμό, όσο αφορά τα στάδια, γεγονός που αποδεικνύεται από τη δυσκολία παρακολούθησης της ροής της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έτσι η διαχείριση της αποτελεί μια πολύ ελκυστική προσέγγιση για την επίτευξη της ολοκλήρωσης των σχέσεων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών προμηθευτών, σχεδιαστών, μηχανικών, εργολάβων, υπεργολάβων και πελατών (Heredia & Serpell, 2004)

Συχνά στα τεχνικά έργα παρατηρείται η ανάθεση του σχεδιασμού σε μία συγκεκριμένη ομάδα, είτε μέσω άμεσης ανάθεσης είτε μέσω διαδικασίας διαγωνισμού και η κατασκευή αυτού από ξεχωριστή εταιρία, παρεμποδίζοντας το διάυλο επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων γεγονός που καθιστά περίπλοκη την αλληλεπίδραση μεταξύ σχεδίου και εφαρμογής. Παρόλο που ο όρος εφοδιαστική αλυσίδα παραπέμπει σε μία γραμμική διαδικασία, στην περίπτωση των κατασκευαστικών έργων, οι σχέσεις των μερών αναπτύσσονται δυναμικά. Τα μέρη αυτά συνδέονται μεταξύ τους με σκοπό τη μεταφορά πληροφορίας, τεχνογνωσίας αλλά και εξαιτίας της ύπαρξης οικονομικών και κατασκευαστικών σχέσεων πάντα με μία παροδικότητα. Αποτελούν νευρωτικά δίκτυα με επαναληπτικές ροές, οι κόμβοι συνδέονται και αποσυνδέονται συνεχώς με βάση την εκτελούμενη διαδικασία (Σχορετσανίτη, 2015)

Η μορφή της κατασκευαστικής αλυσίδας σύμφωνα με τον Pryke, ως γραμμικό και ως δυναμικό δίκτυο σχέσεων



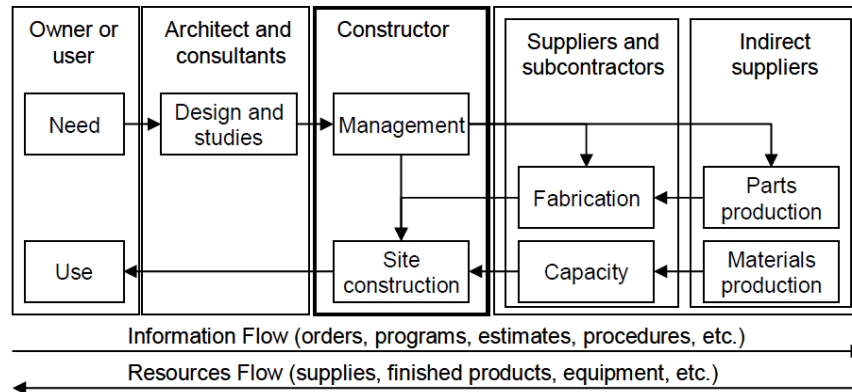
Σχήμα 3.2: Η μορφή της κατασκευαστικής αλυσίδας (Πηγή: Pryke, 2009)

3.2.1. Χαρακτηριστικά οργάνωσης της ΚΕΑ

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κατασκευαστικού έργου που επηρεάζουν την οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι (Heredia & Serpell, 2004):

- I. Το κατασκευαστικό έργο αφορά έναν τελικό πελάτη – παραλήπτη στην πλειοψηφία των περιπτώσεων
- II. Το τελικό προϊόν αλλάζει για κάθε project – (μοναδικότητα έργου)
- III. Η τοποθεσία, ο εξοπλισμός και οι κατασκευαστικές μέθοδοι αλλάζουν σε κάθε έργο
- IV. Το εργατικό δυναμικό παρουσιάζει μεγάλη κινητικότητα και έντονο rotation σε ένα έργο αλλά και μεταξύ παράλληλων έργων
- V. Δεν είναι πάντα δυνατή η αποθήκευση όλων των υλικών στον χώρο κατασκευής
- VI. Δεν είναι εύκολο να επωφεληθείς από την ανταγωνιστικότητα της αγοράς

Στην κατασκευαστική βιομηχανία ο πελάτης είναι αυτός που καθορίζει την έναρξη κατασκευής ενός έργου, γεγονός που οδηγεί σε μία λογική αλυσίδα με την ίδια αρχή και τέλος (Butković, Grilec, & Mikulic, 2016).



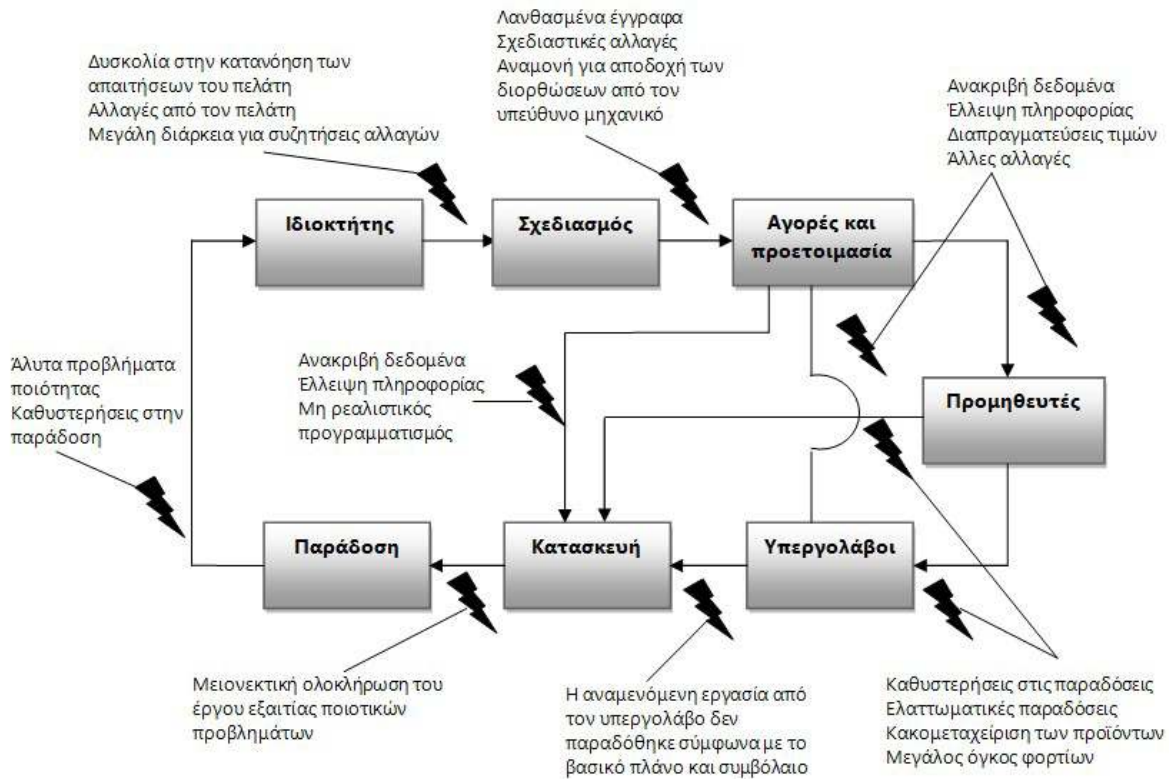
Σχήμα 3.3: Γενικό μοντέλο της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, (Πηγή: Vrijhoef y Koskela, 1999, όπως προσαρμόστηκε από τους Heredia & Serpell, 2004)

Συγκεντρωτικά, σύμφωνα με τους Vrijhoef και Koskela (Vrijhoef & Koskela, 2000), η εφοδιαστική αλυσίδα στα κατασκευαστικά έργα χαρακτηρίζεται από τα εξής στοιχεία:

- Πρόκειται για μια συγκλίνουσα αλυσίδα εφοδιασμού που κατευθύνει όλα τα υλικά στο εργοτάξιο όπου το τελικό αντικείμενο συναρμολογείται από αυτά. Το "εργοστάσιο κατασκευής" είναι αυτό που δημιουργείται γύρω από ένα μεμονωμένο προϊόν, σε αντίθεση με τη γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου, στην οποία περνούν πολλά προϊόντα και διανέμονται σε πολλούς πελάτες.
- Είναι, εκτός από σπάνιες εξαιρέσεις, μια προσωρινή αλυσίδα που παράγει ένα κατασκευαστικό έργο μέσα από επαναλαμβανόμενη επανεξέταση άλλων παρόμοιων έργων. Ως αποτέλεσμα, η εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής χαρακτηρίζεται από αστάθεια, διαμελισμό και ειδικότερα από τον έντονο διαχωρισμό μεταξύ του αρχικού σχεδιασμού και του τελικού κατασκευαστικού αποτελέσματος.
- Πρόκειται για μια τυπική "κατόπιν παραγγελία" εφοδιαστική αλυσίδα που δημιουργεί ένα νέο προϊόν ή ένα πρωτότυπο. Υπάρχει μικρή επανάληψη με μικρές εξαιρέσεις. Η διαδικασία μπορεί να είναι πολύ παρόμοια, ωστόσο, μόνο για έργα συγκεκριμένου είδους και ποτέ πανομοιότυπη.

3.2.2. Προβλήματα της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας

Μέσα από την κατανόηση της φύσης της κατασκευαστικής αλυσίδας, μπορεί κανείς να αντιληφτεί μία σειρά προβλημάτων που αποτελούν τροχοπέδη στην τελική διεκπεραίωση ενός έργου.



Σχήμα 3.4: Διαγραμματική απεικόνιση των προβλημάτων στην εφοδιαστική αλυσίδας της κατασκευής, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από τους (Vrijhoef, Koskela, & Howell, 2001)

Αρχικά υπάρχει μεγάλη έλλειψη συντονισμού, συνεργασίας και αφοσίωσης μεταξύ προμηθευτών και πελατών μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα (Heredia & Serpell, 2004) Όπως αναφέρθηκε, ο πελάτης που αποτελεί και τον αρχικό εντολέα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν έρχεται σε επαφή με τον κατασκευαστή και τους προμηθευτές και δεν έχουν αναπτυχθεί σχέσεις εμπιστοσύνης μεταξύ των μερών.

Παράλληλα στα τεχνικά έργα παρατηρούνται προβλήματα στο σχεδιασμό. Συγκεκριμένα το αρχικό σχέδιο μπορεί να προβεί σε πολλές αλλαγές εξαιτίας της μελέτης εφαρμογής ή την αλλαγή στις ανάγκες του πελάτη. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οδηγούν σε μεγάλες καθυστερήσεις και άσκοπες μετακινήσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων.

Οι έλλειψη σχέσεων εμπιστοσύνης οδηγεί σε μη αποδοτική επικοινωνία και χαμηλή ροή πληροφορίας. Οι τέσσερις βασικοί συντελεστές της αλυσίδας (πελάτης, σχεδιαστής, προμηθευτής, κατασκευαστής) δεν έχουν αναπτύξει συνεργατικές σχέσεις και πολλές φορές έχουν αντικρουόμενα συμφέροντα. Η μη ύπαρξη οικειότητας και συνεχόμενης συνεργασίας οδηγεί σε επικοινωνιακά εμπόδια με αποτέλεσμα την καθυστέρηση του έργου.

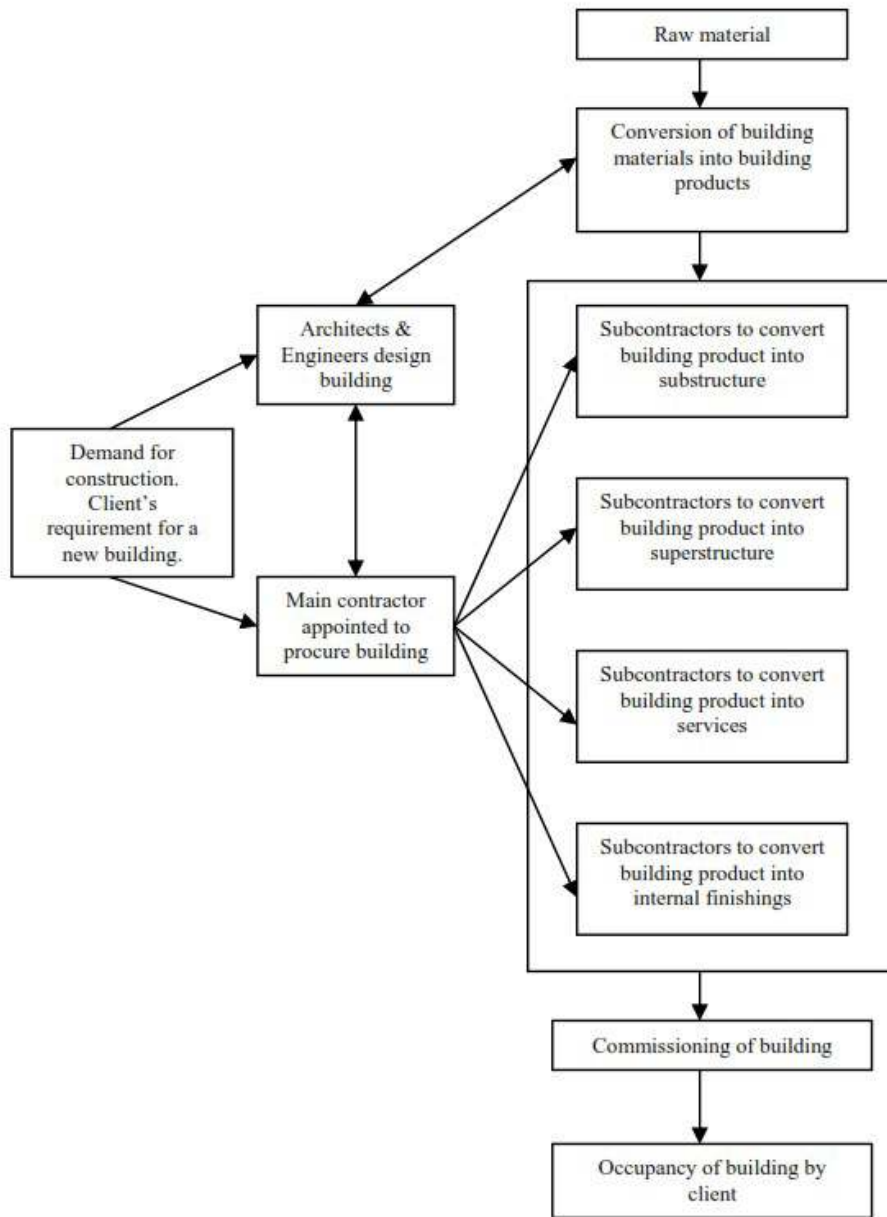
Σε πολλές περιπτώσεις γίνεται χρήση χαμηλής ποιότητας υλικών σε σχέση με τα προβλεπόμενα, για οικονομικούς λόγους. Σε συνδυασμό με την έλλειψη ελέγχου και αξιολόγησης των επιμέρους μερών, καταλήγουμε σε μη επιθυμητά αποτελέσματα και σε αποκλίσεις σε σχέση με τον αρχικό στόχο.

Καθώς το κατασκευαστικό έργο είναι μοναδικό, δεν μπορεί να γίνει επαρκής εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού πάνω στις εκάστοτε εξειδικευμένες ανάγκες.

Τέλος, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των τεχνικών έργων, που πηγάζει από τις παραπάνω αδυναμίες, είναι οι χρονικές καθυστερήσεις στην παράδοση. Το γεγονός αυτό ισχυροποιείται και από την έλλειψη συνολικού management και οργάνωσης όλων των εμπλεκόμενων μερών.

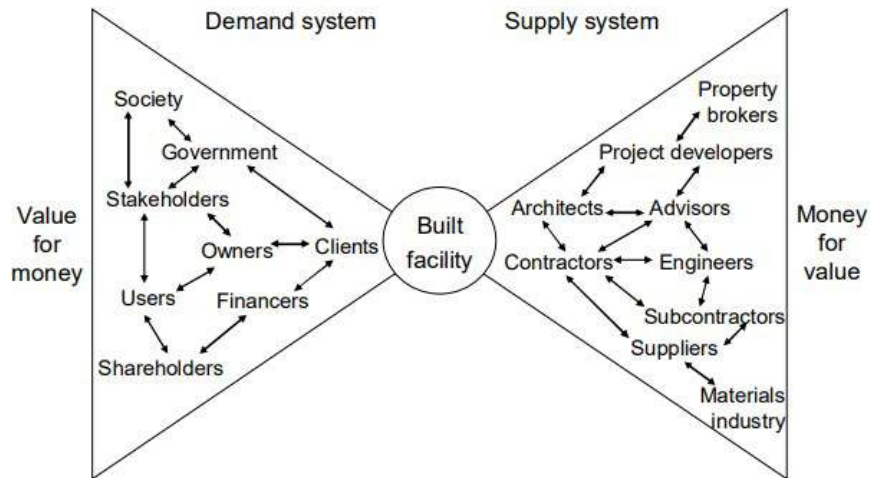
3.3. Ο ρόλος του management στην εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής

Τα κατασκευαστικά έργα, αποτελώντας μία μορφή γραμμής παραγωγής, με τις εκάστοτε ιδιαιτερότητες, είναι δεδομένο πως εμπερικλείουν τον όρο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαχείριση της αλυσίδας αυτής περιγράφεται στη βιβλιογραφία ως η σύνθεση ενός δικτύου εμπλεκόμενων οργανισμών με στόχο την ομαλή διεξαγωγή της επιχειρηματικής διαδικασίας. Στην κατασκευαστική βιομηχανία, το δίκτυο αυτό εμπεριέχει μεγάλη πολυπλοκότητα καθώς ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών εμπλέκεται για την αποπεράτωση ενός μεγάλου έργου. Στο παρακάτω διάγραμμα που διαμορφώθηκε από τους Briscoe, Dainty και Millet (Briscoe, Dainty, & Millett, 2001) παρουσιάζεται ένα τυπικό δίκτυο σχέσεων σε ένα τεχνικό έργο περιλαμβάνοντας τους βασικούς συντελεστές του:



Σχήμα 3.5: Τυπικό δίκτυο σχέσεων ενός τεχνικού έργου, (Πηγή: Briscoe, Dainty, & Millett, 2001, όπως προσαρμόστηκε από Khalfan, McDermott, & Asad, 2005)

Ο κλάδος των κατασκευών είναι λιγότερο δομημένος σε σχέση με άλλες βιομηχανίες (Vrijhoef & De Ridder, 2007), με ένα μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων με διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις. Για την ενσωμάτωση ενός μοντέλου διαχείρισης στη διαδικασία της αλυσίδας, πρέπει να κατανοήσουμε τις σχέσεις των μερών και τα κίνητρα του καθενός.



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα ζήτησης στην κατασκευή σε σχέση με τα εμπλεκόμενα μέρη, (Πηγή: Vrijhoef & De Ridder, 2007)

3.3.1. Μορφές διαχείρισης της αλυσίδας στον κατασκευαστικό κλάδο

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες διαχείρισης εντός της θεωρίας της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας (Khalfan, McDermott, & Asad, 2005). Η μία σχετίζεται με τα logistics και αντιπροσωπεύεται από τη μείωση των αποβλήτων μέσα από την αποτελεσματική διαχείριση της ροής των υλικών στην αλυσίδα. Η άποψη αυτή εστιάζει στην υλικοτεχνική υποδομή της κατασκευής και θεωρεί την έννοια του προμηθευτή ως μια συστάδα υπεργολάβων συγκεντρωμένων γύρω από τον κύριο ανάδοχο. Η θεωρία αυτή εξετάστηκε και από τον Bertelsen, ο οποίος κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο καθορισμός των απαιτούμενων υλικών από το εργοτάγιο και η «just in time» παράδοση των υλικών, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας. Το επιπλέον κόστος που δημιουργείται από μια τέτοια απαίτηση, μπορεί εύκολα να καλυφθεί από ενέργειες εξοικονόμησης εντός του εργοταξίου. Η δεύτερη κατηγορία συνδέεται με τη νοοτροπία της λιτής διαχείρισης (lean management) επιδιώκοντας να δημιουργήσει αξία στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Σε μία διαφορετική οπτική, οι Tennant και Fernie (Tennant & Fernie, 2014) εξετάζουν τη διαχείριση της κατασκευαστικής αλυσίδας μέσα από τρεις βασικές τυπολογίες:

- **Αγορές:** Το management της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, καθοδηγούμενο από τις δυνάμεις της αγοράς, αποτελεί αναμφισβήτητα την πιο διαδεδομένη μορφή στον κλάδο των κατασκευών. Η αποδοτικότητα της διαχείρισης αυτής, έγκειται σε δύο βασικούς παράγοντες, την επιδίωξη χαμηλού κόστους και

την καιροσκοπία και υιοθετείται στο μεγαλύτερο βαθμό από τις κατασκευαστικές εταιρίες. Οι οπαδοί αυτής της θεωρίας, δίνουν έμφαση στα συμφέροντα του κατασκευαστή, υποστηρίζοντας πως η συνεργατικότητα μεταξύ των εταίρων μπορεί να επιφέρει επιπλέον κόστη στην κατασκευή. Γενικότερα, η διαχείριση της ΕΑ, με βάση τις αγορές, λειτουργεί προς όφελος μικρότερων έργων με περιορισμένο αριθμό εμπλεκόμενων. Στα μεγαλύτερα κατασκευαστικά έργα, λειτουργεί αντίθετα, δημιουργώντας ένα κλίμα έντονου ανταγωνισμού και χαμηλής συνεργασίας, που είναι απαραίτητη για μια ολοκληρωμένη διαχείριση.

- **Υβρίδια (δίκτυα και συνασπισμοί):** η υβριδική τυπολογία του management στην κατασκευή, καθρεπτίζει την έννοια της εμπιστοσύνης σε αντίθεση με το κόστος ή την ηγεσία, καθώς και την έννοια της συνεργασίας σε αντίθεση με τον ανταγωνισμό και τη γραφειοκρατία που ελέγχει τις σχέσεις. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η μορφή της συνεργατικής διαχείρισης κερδίζει μεγαλύτερο έδαφος στον τομέα των κατασκευών. Δύο βασικοί παράγοντες συντέλεσαν στη μεγάλη αποδοχή: η ανθεκτικότητα του κατασκευαστικού κλάδου απέναντι στην οικονομική ύφεση των τελευταίων ετών μέσω της συνεργατικότητας καθώς και η μεγάλη υποστήριξη από τον ερευνητικό χώρο ως μια πιο αποδοτική μορφή διαχείρισης. Η τυπολογία του υβριδικού management, χαρακτηρίζεται από την προθυμία όλων των συμβαλλόμενων μερών να συνεργαστούν για την επίλυση απρόοπτων εξελίξεων. Ωστόσο, συχνά πίσω από τέτοιου είδους σχέσεις κρύβεται ο οικονομικός ανταγωνισμός του κάθε εταίρου. Για το λόγο αυτό, σε πολλές περιπτώσεις εγκαθίστανται ειδικά πρωτόκολλα διαφωνίας ώστε να αντισταθμιστεί οποιαδήποτε δυσλειτουργική συμπεριφορά που θα κλονίσει την εξέλιξη του έργου.
- **Ιεραρχίες:** η ιεραρχική μορφή διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα στην κατασκευή εξυπηρετεί μία "επί τούτου" λύση. Παρόλο που συχνά παραβλέπεται από άλλες εναλλακτικές μορφές διαχείρισης, το ιεραρχικό management δημιουργεί μοναδικές επιχειρηματικές ευκαιρίες μέσα από τη σαφή οριοθέτηση των κινήσεων, τη ρητή γραμμή εντολών και τα εκτεταμένα εργαλεία μέτρησης της απόδοσης. Ειδικότερα, οι ιεραρχίες στην αλυσίδα εφοδιασμού δημιουργούν οργανωτική ικανότητα για επενδύσεις, έρευνα, ανάπτυξη, καθώς και αναπτύσσουν ανταγωνιστικές ικανότητες στην αγορά, παρέχοντας πρόσβαση σε πολύπλοκες κατασκευαστικές υπηρεσίες και προϊόντα. Παρά την εμφάνιση μοναδικών χαρακτηριστικών, η ιεραρχική τυπολογία δεν είναι άνοση σε δυσλειτουργικές πρακτικές. Συγκεκριμένα, υπάρχει ένας έμφυτος λειτουργικός και οργανωτικός κίνδυνος, οι εσωτερικές οικονομικές ανταλλαγές να γίνουν περισσότερο γραφειοκρατικές και θεσμοθετημένες. Στην περίπτωση μιας σημαντικής ύφεσης στην διαδικασία της κατασκευής ενός έργου, η επακόλουθη έλλειψη εμπορικής ευελιξίας μπορεί να οδηγήσει σε ανάγκη για ρευστοποίηση του κεφαλαίου.

3.3.2. Η σημασία των σχέσεων των συμμετεχόντων

Σύμφωνα με τον O' Brien, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνεται στην κατανόηση και τη βελτίωση του συντονισμού διαφόρων εταίρων και η βαρύτητα πρέπει να μεταφερθεί από το τελικό αποτέλεσμα, το ίδιο το έργο, στη συνολική διαχείριση όλων των εμπλεκόμενων. Η αξιοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτυγχάνεται με την ανεμπόδιστη επικοινωνία όλων των συμμετεχόντων, με κεντρικό παράγοντα το διαχειριστή του έργου, ο οποίος θα οργανώνει συνολικά τις υποκείμενες ενέργειες του κάθε μέρους.

Όσο αφορά τις σχέσεις των εμπλεκόμενων μερών σε μια κατασκευαστική αλυσίδα, σε αντίθεση με την παραδοσιακή εφοδιαστική αλυσίδα, η τεχνογνωσία και η πληροφορία μεταφέρονται μεταξύ των εταιριών που συμμετέχουν στην κατασκευή, μέσω διαβιβαστών. Οι σχέσεις δεν αναπτύσσονται άμεσα, καθώς τα μέρη της αλυσίδας δεν έχουν εγκαθιδρύσει μηχανισμούς που υφίστανται σε ένα καθαρά επιχειρηματικό περιβάλλον. Η απαιτούμενη διασύνδεση μεταξύ των μερών δεν επέρχεται άμεσα, αλλά προϋποθέτει μία σειρά από όρους που σχετίζονται με το κατασκευαστικό κομμάτι, τη συμβατότητα μεταξύ προμηθευτών, τα δεδομένα κλπ. Οι Hong-Minh, Barker και Naim συνοψίζουν τρεις βασικούς παράγοντες βελτίωσης των σχέσεων (Hong-Minh, Barker, & Naim, 1999):

- **Αλλαγή της νοοτροπίας των συμμετεχόντων.** Ένα τυπικό χαρακτηριστικό στην κατασκευαστική κουλτούρα αποτελεί η ύπαρξη πολύ φτωχών σχέσεων ή ακόμη και ανταγωνισμός μεταξύ των μερών της αλυσίδας, όπως μεταξύ του πελάτη και του κατασκευαστή ή μεταξύ του εργολάβου και των υπεργολάβων. Το επίπεδο των σχέσεων γίνεται ακόμη χειρότερο εξαιτίας της έλλειψης εμπιστοσύνης ανάμεσά τους.
- **Προσανατολισμός προς την οργάνωση του διαδικαστικού πλαισίου.** Η κατασκευαστική βιομηχανία, ειδικότερα όσο αφορά τις μικρό μεσαίες επιχειρήσεις, αποτελεί έναν τομέα ιδιαίτερα στραμμένο στο «δια χειρός» έργο. Οι διαδικασίες στην κατασκευή συντρέχουν με μία γραμμικότητα, όπου το κάθε τμήμα αφοσιώνεται στο εκάστοτε έργο που πρέπει να εκτελεστεί με αποτέλεσμα να απαξιώνεται η έννοια του πελάτη. Τέτοιου είδους ενέργειες πρέπει να εκτελούνται παράλληλα κάτω από την ομπρέλα μιας σωστής διαχείρισης.
- **Ανταλλαγή προσωπικού και τεχνογνωσίας.** Λίγες είναι οι επιχειρήσεις που δέχονται να ανταλλάξουν προσωπικό και γνώση με άλλες, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης εμπιστοσύνης και των εμπλεκόμενων συμφερόντων. Ωστόσο μία τέτοια ενέργεια θα οδηγούσε στη δημιουργία ενός πιο καταρτισμένου προσωπικού που θα αποτελούσε τελικά όφελος τόσο για τις εμπλεκόμενες εταιρίες όσο και για το τελικό προϊόν.

3.3.3. Αποτελέσματα της εφαρμογής διαχείρισης της κατασκευαστικής αλυσίδας

Σε μία έρευνα που δημοσιεύθηκε από τους Gor και Pitroda (Gor & Pitroda, 2018) , υπογραμμίστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας στα τεχνικά έργα. Η έρευνα διεξάχθηκε σε τέσσερις πόλεις της Ινδίας, με έντονη κατασκευαστική δραστηριότητα όπου διατέθηκαν ερωτηματολόγια σε κατασκευαστές, εργολάβους και προμηθευτές. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση δείκτη σχετικής σημασίας και συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν ότι η εφαρμογή μιας μορφής οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας οδηγεί σε:

- Βελτίωση της ασφάλειας της ποιότητας, αύξηση του κέρδους και επιτυχία των στόχων, όσο αφορά την πλευρά του κατασκευαστή
- Δημιουργία σταθερότητας στη διαδικασία, απλοποίηση συνολικά της κατασκευαστικής διαδικασίας και υποστήριξη από το διαχειριστή, όσο αφορά τους πελάτες

Αντίθετα, τα μεγαλύτερα εμπόδια που διαταράσσουν την ομαλή εφαρμογή ενός μοντέλου οργάνωσης αποτελούν οι λανθασμένες και αργοπορημένες πληρωμές, τα μη ακριβή δεδομένα και οι σχεδιαστικές ελλείψεις στη μελέτη εφαρμογής καθώς και η άστοχη παράδοση και μεταφορά των υλικών.

Συνολικά, τα τρία μεγαλύτερα οφέλη που προέκυψαν από την έρευνα αποτελούν **η μείωση του κόστους, ποσοτικά και ποιοτικά καλύτερη ροή της πληροφορίας και η αύξηση του συντονισμού με τους προμηθευτές.**

3.4. Ο ρόλος του logistic management στην κατασκευή

Η εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής, αποτελείται ένα πολύπλοκο δίκτυο οργανισμών, από τους αρχικούς προμηθευτές μέχρι τον τελικό πελάτη και τις σχέσεις μεταξύ αυτών. Ωστόσο, είναι σαφές πως όταν αναφερόμαστε σε ένα τεχνικό έργο, το μεγαλύτερο βάρος πέφτει στην ίδια την κατασκευή. Η κατασκευαστική βιομηχανία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εκτεταμένο δίκτυο των μηχανικών, των προμηθευτών και τον υπεργολάβων (Tennant & Fernie, 2014) με την επιτυχία του έργου να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα των υλικών και υπηρεσιών και τη διαχείριση των logistics. Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζεται στο ποσοστό που καταλαμβάνουν τα υλικά και οι υπηρεσίες σε ένα έργο, το οποίο κυμαίνεται από 75% έως 90%. Το logistic management μέσα σε μια κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα, αποτελεί αρμοδιότητα, κατά κύριο λόγο, των ενδιάμεσων οργανισμών (Vidalakis, Tookey, & Sommerville, 2011). Πράγματι, οι έμποροι οικοδομικών υλικών και οι

προμηθευτές υλικών, αποτελούν το συνδετικό κρίκο μεταξύ κατασκευαστών και εργολάβων και είναι αυτοί που παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος των απαιτούμενων υλικών στην κατασκευή.

Τα logistics της κατασκευής αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα στα οποία βασίζεται η επιτυχία ενός έργου και για τη σωστή τους διαχείριση, τα υλικά θα πρέπει να παραδίδονται στο σωστό τόπο τη σωστή χρονική στιγμή και η πληροφορία για το απόθεμα εντός εργοταξίου θα πρέπει να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο (Lee, Kwon, Choi, Song, Chin, & Kim, June 2008)

Όσο αφορά την έρευνα γύρω από τα logistics στην κατασκευή, μπορεί κανείς να εντοπίσει δύο βασικές προσεγγίσεις. Η πρώτη εστιάζει στα logistics μέσα σε ένα συνολικό κατασκευαστικό περιβάλλον με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της κατασκευής μέσα από τον αποδοτικό προγραμματισμό των παραδόσεων και της διαχείρισης των υλικών. Επομένως, συνδέεται κυρίως με τη ροή των υλικών εντός των εγκαταστάσεων παραγωγής και στην προκειμένη περίπτωση της κατασκευής, το εργοτάξιο. Η δεύτερη προσέγγιση λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κλιμάκια της εφοδιαστικής αλυσίδας με σκοπό να βελτιώσει τις σχέσεις μεταξύ προμηθευτών και πελατών (Vidalakis, Tookey, & Sommerville, 2011).

3.5. Η επιρροή του χρονοδιαγράμματος στη διαχείριση της κατασκευαστικής αλυσίδας

Στην κατασκευαστική βιομηχανία, ο στόχος της διαχείρισης του έργου είναι να εξασφαλίσει ότι η κατασκευή θα τελειώσει εντός του αναμενόμενου χρόνου και εντός προϋπολογισμού ενώ ταυτόχρονα πρέπει να επιτυγχάνονται και οι υπόλοιποι στόχοι που έχουν τεθεί (Olawale & Sun, 2010). Αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία για τους διαχειριστές η οποία περιλαμβάνει συνεχή καταγραφή της αποδοτικότητας, αξιολόγηση των σχεδίων και ανάληψη των κατάλληλων μέτρων όταν αυτό απαιτείται. Η διασφάλιση της επιτυχίας ενός τεχνικού έργου μέσα από μια ολοκληρωμένη διαχείριση της αλυσίδας, εκτός από την επιτυχημένη σύσταση της, προϋποθέτει έναν άρτιο χρονοπρογραμματισμό του έργου λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των πόρων και το κόστος μέσα από μια συνεχή παρακολούθηση.

Ο όρος προγραμματισμός (programming) βασίζεται στην παραδοσιακή αντίληψη σύνταξης προγραμμάτων με τη χρήση γραφιστικών μεθόδων, πάνω σε χαρτί. Η δημιουργία τέτοιου είδους προγραμμάτων, απαιτεί από το σχεδιαστή να αναγνωρίσει το είδος κάθε εμπλεκόμενης δραστηριότητας, το χρόνο εκκίνησης καθώς και τη διάρκεια (Baldwin & Bordoli, 2014). Μέσα από όλες αυτές τις πληροφορίες, παράγεται ένας πίνακας που περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες, σημαντικές ημερομηνίες, τα απαιτούμενα υλικά και τον εξοπλισμό, την κατανομή του ανθρώπινου δυναμικού και τις χρονικές στιγμές κατά τις οποίες κάθε υπεργολάβος πρόκειται να ξεκινήσει την εργασία στο εργοτάξιο.

Η χρονοδρομολόγηση (scheduling) του έργου ασχολείται με την αλληλουχία και τον συγχρονισμό των εργασιών. Οι δύο αυτοί παράγοντες λαμβάνουν υπόψη τη σχέση χρόνου και κόστους. Όσο περισσότερες πληροφορίες συλλέγονται και όσο το έργο προχωρά, θα υπάρξει αδιαφιλονίκητα η ανάγκη για επανεξέταση των αρχικών προβλέψεων. Έτσι ο προγραμματισμός και η χρονοδρομολόγηση του έργου, αποτελούν μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Ένα αξιολογικό χρονοδιάγραμμα δεν αποτελεί μια απλή γραφική αποτύπωση της ροής των εργασιών. Είναι ένα εργαλείο ανάλυσης και παραγωγικότητας, εντοπίζοντας τις δυσκολίες του παρόντος και επαναπροσδιορίζοντας τις μελλοντικές.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός εργαλείων διαχείρισης του χρονοδιαγράμματος όπως το διάγραμμα Gantt, η μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique) και η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής CPM (Critical Path Method) υποστηριζόμενες από μια ποικιλία υπολογιστικών προγραμμάτων, όπως για παράδειγμα το Microsoft Project, Primavera, Asta Power Project κ.α. Παρόλη την ευρεία χρήση τέτοιου είδους μεθόδων, στην πράξη πολλά κατασκευαστικά έργα συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν υπερβάσεις στο χρόνο και στο κόστος (Olawale & Sun, 2010).

Οι Olawale και Sun, σε έρευνα που διεξήγαγαν στον κατασκευαστικό χώρο της Μεγάλης Βρετανίας εντόπισαν πέντε βασικούς παράγοντες που αναστέλλουν τον έλεγχο του χρόνου και του κόστους στην κατασκευή. Αυτοί είναι οι αλλαγές στα σχέδια, το ρίσκο και οι αβεβαιότητες προερχόμενα από την ανακριβή αξιολόγηση της διάρκειας του έργου, η πολυπλοκότητα των εργασιών και η χαμηλή απόδοση των υπεργολάβων.

3.6. Διαχείριση των υλικών (material management)

Η διαχείριση των υλικών είναι η διαδικασία που αφορά στο σχεδιασμό, την εκτέλεση και τον έλεγχο του εργοταξίου ώστε να εξασφαλίσει ότι τα κατασκευαστικά υλικά θα είναι διαθέσιμα όπου απαιτούνται την κατάλληλη στιγμή (Patel & Vyas, 2011), αποτελώντας ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Εξαιτίας του μεγάλου ανταγωνισμού της αγοράς, τις υψηλές απαιτήσεις του πελάτη ως προς το χρόνο παράδοσης, το κόστος και την ποιότητα των υπηρεσιών καθώς και την αυξανόμενη τεχνική πολυπλοκότητα των έργων, η αποτελεσματική διαχείριση των logistics και κατά συνέπεια η διαχείριση των υλικών, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχία του έργου (O'Brien, Formoso, Vrijhoef, & London, 2009). Τυπικά, τα υλικά και η διαχείρισή τους κατέχουν ένα από τα υψηλότερα μερίδια στο συνολικό κόστος της κατασκευής (μέχρι και 70%) και γι αυτό το λόγο η αναζήτηση για μια οικονομική προσέγγιση εστιάζει στη διαχείριση αυτών με τον πιο αποδοτικό τρόπο (Jaśkowski, Sobotka, & Czarnigowska, 2014).

Σύμφωνα με τον Dey, (όπως παρατέθηκε από (Kasim, Anumba, & Dainty, 2005), τα συνήθη προβλήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των υλικών είναι:

- Η παραλαβή υλικών πριν την αναμενόμενη ζήτηση, προκαλώντας αυξημένο κόστος διατήρησης αποθέματος και πιθανότητα για επιδείνωση της ποιότητας.
- Αντίθετα, η μη παραλαβή υλικών τη στιγμή της ζήτησης, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγικότητας
- Η λανθασμένη επιλογή υλικών σε σχέση με τα σχέδια που κατατέθηκαν
- Οι μεταγενέστερες αλλαγές στα σχέδια του έργου
- Η καταστροφή ή απώλεια προϊόντων
- Η επιλογή του τύπου σύμβασης προμήθειας υλικών
- Τα κριτήρια αξιολόγησης του πωλητή
- Η συσσώρευση εμπορευμάτων και ο έλεγχος των ίδιων πραγμάτων
- Η διαχείριση πλεονασματικών υλικών

Για την αντιμετώπιση των προαναφερόμενων προβλημάτων και κατά συνέπεια την βέλτιστη απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για την αποτελεσματικότερη διαχείριση των υλικών εντός αυτής. Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς να διακρίνει πέντε βασικές διαδικασίες που απαρτίζουν την οργάνωση των υλικών σε ένα κατασκευαστικό έργο: τον προγραμματισμό, τις προμήθειες, τα logistics, την επεξεργασία και τον έλεγχο της σπατάλης. Ο προγραμματισμός των υλικών περιλαμβάνει την καταγραφή των απαιτούμενων ποσοτήτων, τις παραγγελίες και το σχεδιασμό προγράμματος, σε βραχυπρόθεσμο ή μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Οι προμήθειες σχετίζονται με την αγορά των υλικών και υπηρεσιών από εξωτερικούς οργανισμούς και περιλαμβάνουν διαδικασίες διαπραγμάτευσης με τους πωλητές, έρευνα αγοράς, παραγγελίες και αξιολόγηση των προμηθευτών. Ο χειρισμός των υλικών περιλαμβάνει σχεδόν όλες τις πτυχές των μετακινήσεων των πρώτων υλών που βρίσκονται στο εργοτάξιο είτε για περαιτέρω επεξεργασία είτε για άμεση χρήση.

Οι Patel και Vyas (Patel & Vyas, 2011) ανέπτυξαν δύο κατηγορίες συναρτήσεων που πρέπει να εκπληρώνονται από τις επιχειρήσεις για την αποτελεσματική διαχείριση των υλικών. Η βασική συνάρτηση περιλαμβάνει τον προγραμματισμό και την αγορά των υλικών, τον έλεγχο του εμπορεύματος, τη διατήρηση της ροής των υλικών στην αλυσίδα, τον έλεγχο ποιότητας και η δευτερεύουσα συνάρτηση αφορά στην τυποποίηση και την απλοποίηση των διαδικασιών, τις αποφάσεις για τα επεξεργάσιμα υλικά, την κωδικοποίηση και ταξινόμηση αυτών καθώς και τις προβλέψεις για μελλοντική ζήτηση.

Σε γενικό πλαίσιο, η διαχείριση των υλικών παίζει καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας και γι αυτό το λόγο θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα ενεργό και εξελισσόμενο στοιχείο. Μέσα από τα συμπεράσματα των ερευνών στη βιβλιογραφία προτείνεται γενικά η ύπαρξη ενός κεντρικού συστήματος διαχείρισης των υλικών το οποίο θα συντονίζει τους εμπλεκόμενους με τις

ανάγκες του εργοταξίου και θα υπάρχει έλεγχος και επίβλεψη του συστήματος που αφορά τα υλικά από τις παραγγελίες και τη μεταφορά μέχρι την τελική χρήση.

Κεφάλαιο 4 - Μοντέλα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στα κατασκευαστικά έργα

4.1. Σχεδιασμός μοντέλων

Η μοντελοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, έκανε την εμφάνιση της αρχικά στον παραγωγικό τομέα, βρίσκοντας ένα περιβάλλον μεγαλύτερης τυποποίησης σε σχέση με την κατασκευή. Σε γενικές γραμμές, η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές προϊόντων και πληροφοριών και σχέσεις ιεραρχίας μεταξύ των εμπλεκόμενων. Καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί ένα πολλαπλών επιπέδων δυναμικό σύστημα όπου οι γραμμικές κινήσεις είναι ασυνήθεις, κάθε μέρος της αλυσίδας έχει τις δικές του πληροφορίες και οι αποφάσεις καθορίζονται με βάση τα συμφέροντα του καθενός, η διαχείριση της αποτελεί ένα ιδιαίτερα περίπλοκο αντικείμενο μελέτης. Με γνώμονα την κατανόηση της φύσης της αλυσίδας, μία λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι ο σχεδιασμός μιας βέλτιστης πλατφόρμας που έχει προκύψει από τον κατάλληλο σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας της.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η πρόκληση στην οποία έρχονται αντιμέτωποι οι διαχειριστές είναι η λήψη στρατηγικών (πχ. τοποθεσία, χώροι αποθήκευσης, εγκαταστάσεις εργοστασίου), τακτικών (πχ. Προμηθευτές, κανάλια διανομής, επιλογή μεταφορικού τύπου) και λειτουργικών (πχ. Πρώτες ύλες, ροή τελικών αγαθών) αποφάσεων ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των πελατών με το μικρότερο δυνατό κόστος, λαμβάνοντας υπόψη ότι κάποιος βασικοί παράμετροι του σχεδιασμού, όπως η ζήτηση της αγοράς, οι τιμές και η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, είναι γενικά αβέβαιες (Martínez-Olivera & Davison-Castillo, 2015). Ο σχεδιασμός της κατάλληλης εφοδιαστικής αλυσίδας δημιουργεί ισχυρό αντίκτυπο στην επιτυχία και στην αύξηση κέρδους μιας επιχείρησης. Για το λόγο αυτό καθίσταται μείζονος σημασίας η ανάγκη ανάπτυξης μοντέλων τα οποία θα παρέχουν κυρίως κατανόηση της πολυπλοκότητας και διορατικότητα ως προς τις συνέπειες λήψης αποφάσεων, παρά μια μονοδιάστατη συμπεριφορά ως προς τον υπολογισμό κερδοφορίας.

4.1.1. Λόγοι ώθησης στη δημιουργία μοντέλων διαχείρισης

Η κατανόηση της λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και όλων των εμπλεκόμενων μερών, αποτελεί ένα από τα βασικά στάδια για την ανάπτυξη μοντέλων. Οι Min και Zhou (Min & Zhou, 2002) αναλύουν ενδεικτικά κάποιες από τις «κινητήριες δυνάμεις» που ωθούν στην ανάπτυξη ενός μοντέλου, οι οποίες αξίζει να αναφερθούν:

- **Εξυπηρέτηση πελατών:** Παρόλο που δεν είναι μια ποσοτική έννοια, η ικανοποίηση των αναγκών των πελατών, αποτελεί τον ολοκληρωτικό στόχο κάθε εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς ο πελάτης βρίσκεται στην τελική θέση αυτής της διαδικασίας. Ο βαθμός ικανοποίησης καθορίζεται από δύο βασικές παραμέτρους, τη διαθεσιμότητα του προϊόντος και το χρόνο ανταπόκρισης. Η διαθεσιμότητα ενός προϊόντος αποτελεί μία εύθραυστη παράμετρο καθώς επηρεάζεται άμεσα από τη ζήτηση και συχνά αποτυγχάνει ως διεργασία σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Επομένως ένα επιτυχημένο μοντέλο θα πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα για αποδοτική εξυπηρέτηση, όπως το ποσοστό αποθέματος ημερησίως, το βαθμό ικανοποίησης των παραγγελιών και το ποσοστό ακρίβειας στις παραγγελίες. Από την άλλη πλευρά, ο χρόνος ανταπόκρισης περιλαμβάνει έννοιες όπως ο χρόνος παράδοσης του προϊόντος, ο χρόνος διάθεσης στην αγορά, ο χρόνος εκταμίευσης των πωλήσεων και αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη ευελιξίας για την αλυσίδα.
- **Χρηματική αξία:** η χρηματική αξία χαρακτηρίζεται ως η αναλογία εσόδων προς το συνολικό κόστος. Η εφοδιαστική αλυσίδα, μπορεί να ενισχύσει την αξία της σε χρήμα μέσα από την αύξηση πωλήσεων, το μερίδιο της αγοράς και την παραγωγικότητα ενώ ταυτόχρονα προχωρά στη μείωση δαπανών, ελαττωμάτων και άσκοπων διεργασιών. Καθώς η χρηματική αξία αντικατοπτρίζει άμεσα την αποδοτική διαχείριση του κόστους και την κερδοφορία της αλυσίδας, αποτελεί την πιο διαδεδομένη αντικειμενική συνάρτηση σε ένα μοντέλο.
- **Ροή πληροφορίας και γνώσης:** Η πληροφορία λειτουργεί ως ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των διεργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας δίνοντας τη δυνατότητα στα εμπλεκόμενα μέρη να συντονίζουν τις κινήσεις τους με σαφή ορατότητα με βασική προϋπόθεση την ύπαρξη κλίματος εμπιστοσύνης και συνεργατικότητας. Τέτοιου είδους πληροφορία αποτελεί για παράδειγμα η συλλογή δεδομένων, η διαθέσιμη τεχνολογία, τα τεχνικά σχέδια, οι εξειδικεύσεις, τα δείγματα, η λίστα και το προφίλ των πελατών, οι προγνώσεις, το ιστορικό παραγγελιών κ.α. Δύο βασικοί παράμετροι ενισχύουν τη ροή της πληροφορίας και συνίσταται να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό της αλυσίδας: η επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και η ανταλλαγή τεχνογνωσίας.
- **Στοιχεία κινδύνου:** Οι εφοδιαστικές αλυσίδες εκτίθενται σε μεγάλο κίνδυνο αποτυχίας εξαιτίας της πολύπλοκης φύσης τους και της αστάθειας που παρουσιάζουν. Συχνά οι κίνδυνοι εμφανίζονται στο εσωτερικό της αλυσίδας εξαιτίας για παράδειγμα λάθων και καθυστερήσεων στις παραγγελίες, αλλά και από εξωγενείς παράγοντες, οι οποίοι είναι δύσκολο να διευκρινιστούν και να κατηγοριοποιηθούν. Επομένως ο υπεύθυνος σχεδιαστής ενός μοντέλου, θα πρέπει να προσδιορίσει τέτοιου είδους κινδύνους με σωστή διαχείριση, μετριάζοντας το ρίσκο για την ομαλή λειτουργία της αλυσίδας. Τα δύο βασικά είδη κινδύνων αποτελούν η αποτυχία στην εξασφάλιση της ποιότητας και η αποτυχία στη διακίνηση της πληροφορίας. Για παράδειγμα, η αστάθεια στην ποιότητα οφείλεται στην αλληλεξάρτηση πολλών εταίρων εντός της αλυσίδας καθώς η συμπεριφορά

του ενός επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα πολλές λειτουργίες. Το ίδιο συμβαίνει και με την πληροφορία, καθώς μπορεί να μεταφερθεί με παραποιημένα δεδομένα δημιουργώντας μη επιθυμητά αποθέματα ή αντίστοιχα ελλείψεις. Τέτοιου είδους κίνδυνοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε ένα μοντέλο διαχείρισης και να προλαμβάνονται σε όσο το δυνατό πρώιμα στάδια.

4.1.2. Περιορισμοί στο σχεδιασμό μοντέλων

Αφού καταγραφούν οι στόχοι και τα κίνητρα, για τη σύνταξη ενός μοντέλου διαχείρισης είναι απαραίτητος ο ορισμός των περιορισμών καθώς και των μεταβλητών απόφασης. Οι περιορισμοί στην εφοδιαστική αλυσίδα αναφέρονται ως απαγορεύσεις ή ελλείψεις οι οποίες επηρεάζουν το διαθέσιμο σύνολο εναλλακτικών αποφάσεων, από το οποίο μια εταιρεία πρέπει να επιλέξει τη στρατηγική της. Τέτοιου είδους περιορισμοί αφορούν κυρίως:

- **Τις δυνατότητες των μερών:** οι δυνατότητες αυτές αφορούν τον ρυθμό παραγωγής, τον όγκο προμηθειών, το διαθέσιμο οικονομικό κεφάλαιο, τον τεχνολογικό εξοπλισμό, το απόθεμα, τις εγκαταστάσεις, τις ικανότητες του προσωπικού και καθορίζουν το τελικό προϊόν και τους στόχους της εταιρίας.
- **Την ικανοποίηση των πελατών:** Η εξυπηρέτηση των αναγκών του τελικού αποδέκτη αποτελεί το σημαντικότερο στόχο για της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το αποτέλεσμα αυτό βασίζεται σε πολλούς παράγοντες όπως το χρονικό περιθώριο παράδοσης ή ο χρόνος μεταφοράς, οι οποίοι αποτελούν βασικούς περιορισμούς για την ανάπτυξη ενός μοντέλου διαχείρισης
- **Το μέγεθος της ζήτησης:** η ικανότητα παραγωγής ενός προϊόντος μέσα σε μια αλυσίδα είναι προκαθορισμένη και κινείται σε ένα σταθερό πλαίσιο με υψηλότερο και χαμηλότερο όριο. Το πλαίσιο αυτό αποτελεί αναμφισβήτητα περιορισμό για τη λειτουργία της αλυσίδας

4.1.3. Μεταβλητές απόφασης

Όσο αφορά τις μεταβλητές απόφασης, γενικά εισάγουν ένα όριο στο εύρος των αποτελεσμάτων και σχετίζονται λειτουργικά με την απόδοση της αλυσίδας. Επομένως η μέτρηση της αποδοτικότητας της εφοδιαστικής εκφράζεται ως συναρτήσεις μίας ή πολλών μεταβλητών απόφασης (Min & Zhou, 2002). Μερικές από αυτές τις μεταβλητές είναι: η τοποθεσία, η κατανομή, η δομή του δικτύου, ο αριθμός των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, ο αριθμός των σταδίων που απαρτίζουν την αλυσίδα, η συχνότητα της εξυπηρέτησης, ο όγκος της παραγωγής.

4.1.4. Είδη μοντελοποίησης

Στην έρευνα τους με τίτλο «*Supply chain modelling: past, present and future*», οι συγγραφείς λαμβάνοντας υπόψη το ευρύ πεδίο έρευνας γύρω από τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων μοντέλων της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και τη σχετική βιβλιογραφία, ταξινόμησαν τα είδη μοντελοποίησης με βάση το περιεχόμενό τους και τους τρόπους ανάπτυξής τους.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ταξινόμησης των μοντέλων της εφοδιαστικής αλυσίδας, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Min & Zhou, 2002)

- **Ντετερμινιστικά μοντέλα:** στη συγκεκριμένη τυπολογία όλοι οι παράμετροι και οι μεταβλητές, είναι γνωστοί και καθορισμένοι εξ αρχής με βεβαιότητα. Η υποκατηγορία του μοντέλου χρησιμοποιείται για να περιγράψει του διαφορετικούς στόχους σε μία αλυσίδα καθώς μπορεί να υπάρχουν αντικρουόμενα συμφέροντα
- **Στοχαστικά μοντέλα:** στην κατηγορία αυτή ανήκει το είδος μοντελοποίησης με παραμέτρους που χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα και τυχαιότητα.
- **Υβριδικά μοντέλα:** περιλαμβάνουν στοιχεία τόσο των ντετερμινιστικών όσο και των στοχαστικών μοντέλων και χρησιμοποιούν τόσο τη θεωρία όσο και την προσομοίωση για να διαχειριστούν τη βεβαιότητα ή την ασάφεια των παραμέτρων.
- **Μοντέλα βασισμένα στα IT:** αποτελεί μία νέα κατηγορία μοντέλων εξαιτίας της έντονης παρουσίας της τεχνολογία επικοινωνίας και του internet στις επιχειρήσεις. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στην ενσωμάτωση κατάλληλων τεχνολογιών, με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών ώστε να συντονίζουν τις λειτουργίες στις αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο.

4.2. Μοντελοποίηση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας

Η έρευνα γύρω από την εφαρμογή μοντέλων και στρατηγικών για την ενσωμάτωση και τη βελτίωση της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας στα κατασκευαστικά έργα αυξάνεται ολοένα και περισσότερο και πολλοί συγγραφείς αναγνωρίζουν πως η μοντελοποίηση της κατασκευαστικής αλυσίδας είναι προαπαιτούμενο για μια αποδοτική διαχείριση.

Οι εφοδιαστικές αλυσίδες αποτελούν πολύπλοκα συστήματα, των οποίων το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από ένα συνδυασμό εκατοντάδων αποφάσεων που παίρνουν διαφορετικά ανεξάρτητα μέρη (Özlem & Tek, 2013). Εξαιτίας του πλήθους των μεταβλητών απόφασης προς επεξεργασία, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα και εργαλεία με σκοπό να υποστηρίξουν τη διαχείριση της αλυσίδας και να βοηθήσουν τούς εμπλεκόμενους να κατανοήσουν τη σημασία κάθε τους απόφασης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα περισσότερα προτεινόμενα μοντέλα, βασίζονται στην υφιστάμενη έρευνα της παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για ελαστικότητα και προσαρμοστικότητα εξαιτίας της μοναδικότητας του κάθε έργου.

Τα μοντέλα για την ανάλυση και οργάνωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, στην παρούσα εργασία, θα ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: τα ποιοτικά και τα ποσοτικά.

- **Οι ποιοτικές μέθοδοι** εστιάζουν στους τρόπους με τους οποίους θα γίνει η συλλογή της απαραίτητης πληροφορίας μέσα από ένα σύνολο μετρήσεων και στον τρόπο που θα εφαρμοστεί αποτελεσματική αξιολόγηση. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι ποιοτικές (ικανοποίηση πελατών, προσαρμοστικότητα, αποτελεσματική διαχείριση των πόρων κ.α.) ή και ποσοτικές. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μέθοδοι ενσωματώνουν υπολογιστικές φόρμουλες και παρέχουν προτάσεις και πρακτικές για την αντιμετώπιση ενός αναμενόμενου αποτελέσματος.
- **Οι ποσοτικές μέθοδοι** προτείνουν ένα τρόπο σχεδιασμού ενός μοντέλου που θα καταγράψει τη δυναμική της εφοδιαστικής αλυσίδας και θα παρέχει τρόπους ανάλυσης της. Συνήθως αναφερόμαστε σε μαθηματικά και υπολογιστικά μοντέλα. Εντός της τυπολογίας των ποσοτικών μεθόδων, μπορούμε να διακρίνουμε δύο υποκατηγορίες: τα μοντέλα βελτιστοποίησης και τα μοντέλα προσομοίωσης. Σε αντίθεση με τις ποιοτικές μεθόδους, τα ποσοτικά μοντέλα μπορούν να "εκτελεστούν" προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

4.2.1. Ποιοτικά μοντέλα ανάπτυξης στρατηγικών

Η ποιοτική προσέγγιση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και των Logistics γίνεται ολοένα και πιο αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα και προσφέρει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, λαμβάνοντας πάντα υπόψη πως η επιλογή της κατάλληλης

μεθόδου είναι κρίσιμη για την έρευνα. Η ποιοτική έρευνα δεν αφορά μόνο στη χρήση ποιοτικών μεθόδων συλλογής δεδομένων αλλά και στο πως αυτά τα δεδομένα εκλαμβάνονται, την ποιοτική σκοπιά μέσα από την οποία διεξάγεται η έρευνα και διερευνώνται τα στοιχεία συλλογής (Houé & Murphy, 2017).

Ένα αξιόλογο ποσοστό της βιβλιογραφίας πάνω στη μοντελοποίηση της κατασκευαστικής αλυσίδας βασίζεται σε ποιοτικά ή συμβολικά ή σε διαδικαστικά μοντέλα. Πολλές από τις έρευνες στοχεύουν στην περιγραφή των δικτύων εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας και της αξίας των διαφορετικών μορφών στρατηγικών συμμαχιών, στη διαχείριση της αλυσίδας, το συντονισμό των προμηθευτών και την ανάπτυξη αξιολόγησης για τη βελτίωση της απόδοσης (O'Brien, London, & Vrijhoef, 2002). Με αυτές τις προθέσεις σχηματίστηκαν θεωρητικά μοντέλα της κατασκευαστικής αλυσίδας, με τα περισσότερα από αυτά να επικεντρώνονται στη ροή της πληροφορίας και στοχεύουν στην βελτίωση της επικοινωνίας και του συντονισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών (Koutsokosta & Katsavounis, 2015).

Καθώς η μελέτη γύρω από τα προβλήματα και τις ανεπάρκειες της παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας είναι εκτενέστερη, πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να αναπτύξουν σύγχρονα μοντέλα της κατασκευαστικής αλυσίδας, βασιζόμενοι σε εργαλεία του παραγωγικού κλάδου. Τέτοιου είδους μοντέλα έχουν εξεταστεί επί τούτω, αναδεικνύοντας πολύτιμη γνώση σχετικά με τη μοντελοποίηση στην κατασκευή (Özlem & Tek, 2013). Σε αυτή τη λογική, οι ερευνητές έχουν υιοθετήσει παραλλαγές της λιτής διαχείρισης (lean management) με τη χρήση VSM (Value Stream Mapping) για την απεικόνιση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και τη μέθοδο SCOR (Supply Chain Operation Reference) ως εργαλείο συνολικής διαχείρισης. Ωστόσο πολλοί ερευνητές έχουν προτείνει μοντέλα εξειδικευμένα στη κατασκευή και στις ιδιαιτερότητες αυτού του επιστημονικού κλάδου.

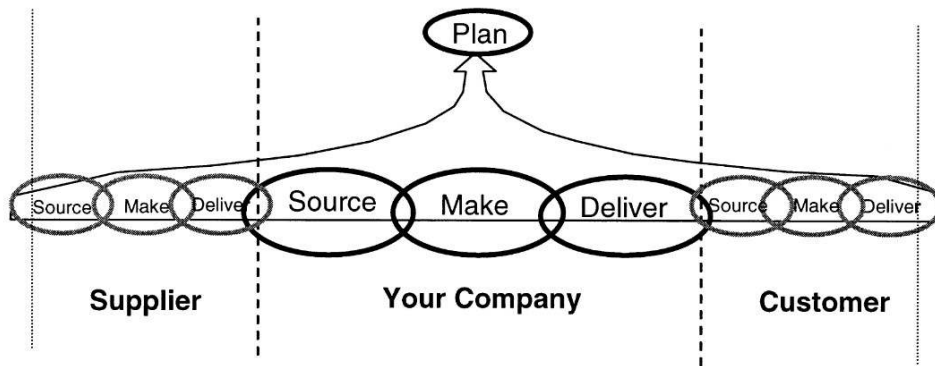
4.2.1.1. Μεθοδολογία SCOR (Supply Chain Operation Reference)

Το μοντέλο αναφοράς της εφοδιαστικής αλυσίδας των επιχειρήσεων (SCOR) αποτελεί ένα ποιοτικό μοντέλο αξιολόγησης και αρχικά αναπτύχθηκε από το Supply Chain Council, ως ένα εργαλείο οργάνωσης και διαχείρισης ενσωματώνοντας έννοιες γύρω από επιχειρησιακές δραστηριότητες της κατασκευής, συγκριτική αξιολόγηση, επιμετρήσεις και οργάνωση του σχεδιασμού σε ένα διαλειτουργικό πλαίσιο (apics.com). Το μοντέλο είναι ιεραρχικό, διαδραστικό και αλληλένδετο με τις δραστηριότητες και βασίζεται σε πέντε βασικούς παράγοντες τις εφοδιαστικής αλυσίδας: το σχεδιασμό, τις προμήθειες, την κατασκευή, την παράδοση και τις επιστροφές (Plan, Source, Make, Deliver, Return).

Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει διαδικασίες οργάνωσης των πόρων με στόχο την καλύτερη εξισορρόπηση μεταξύ των υλικών αναγκών τις παραγωγικής διαδικασίας σε σχέση με τις προμήθειες, την κατασκευή, την παράδοση και τις επιστροφές. Οι προμήθειες περιλαμβάνουν διαδικασίες οργάνωσης των σταδίων της κατασκευής, τις

παραδόσεις, τη μεταφορά πρώτων υλών και επεξεργασία, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες. Το στάδιο της κατασκευής αφορά τη διαδικασία μετατροπής των πρώτων υλών σε τελικό προϊόν. Η παράδοση περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες παροχής του τελικού προϊόντος στον πελάτη και οι επιστροφές σχετίζονται με την εξυπηρέτηση πελατών μετά την παράδοση καθώς και την επιστροφή προϊόντος ή εξοπλισμού.

Το μοντέλο SCOR επιτρέπει στους χρήστες να δομούν την εφοδιαστική αλυσίδα και να αναπτύσσουν σχέσεις με προοδευτικό και συστηματικό τρόπο (Cheng, Law, Bjornsson, Jones, & Sriram, 2010) Η γενική μορφή του μοντέλου απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 4.2: Μοντέλο SCOR, (Πηγή: Yeo & Ning, 2002)

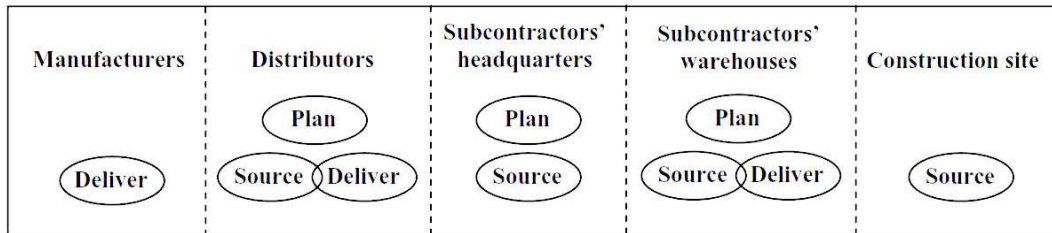
Όπως προαναφέρθηκε η μεθοδολογία SCOR αποτελεί ένα προοδευτικό και εξελικτικό μοντέλο που αναπτύσσεται σε τέσσερα επίπεδα:

- Επίπεδο1: το μοντέλο παρέχει έναν ευρύ ορισμό του πεδίου εφαρμογής και του περιεχομένου
- Επίπεδο2: η μοντελοποίηση στο δεύτερο στάδιο διαχωρίζει τις πέντε βασικές διαδικασίες διαχείρισης, γεγονός που επιτρέπει στις εταιρίες να περιγράψουν λεπτομερέστερα τη διαμόρφωση της εφοδιαστικής τους αλυσίδας. Τα μοντέλα του επιπέδου 2 ορίζουν εννοιολογικά τη σχέση και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών της αλυσίδας
- Επίπεδο3: Επέκταση της εννοιολογικής αποτύπωσης με σκοπό την περιγραφή της ροής εργασίας. Η μοντελοποίηση σε αυτό το επίπεδο, παρέχει στις εταιρίες τις απαραίτητες πληροφορίες για λεπτομερή σχεδιασμό και καθορισμό των στόχων. Σε αυτό το επίπεδο επιπρόσθετα, γίνεται η βάση για τον ορισμό της μέτρησης της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Επίπεδο4: Η μοντελοποίηση του επιπέδου 4 επικεντρώνεται στην υλοποίηση των στόχων. Τα μοντέλα αυτού του επιπέδου είναι μοναδικά για κάθε εταιρία καθώς ορισμένα στοιχεία που έχουν εισαχτεί στο στάδιο αυτό, δεν καθορίστηκαν στα

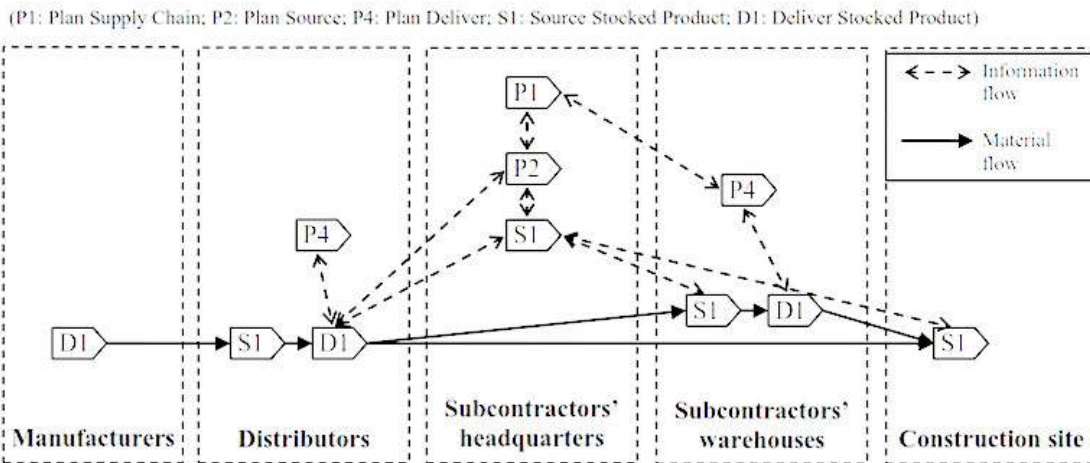
προηγούμενα επίπεδα. Στο επίπεδο 4, οι χρήστες κλίνονται να καθορίσουν το σχεδιασμό του έργου με λεπτομέρεια, ανταποκρινόμενοι στις δικές τους ανάγκες.

Παρόλο που το μοντέλο SCOR αναπτύχθηκε έχοντας υπόψη τυπικές εφοδιαστικές αλυσίδες, η ενσωμάτωση του στον κατασκευαστικό τομέα, έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Παράδειγμα αποτελεί η μελέτη περίπτωσης που εξετάστηκε από τους Cheng, Law, Bjornsson, Jones και Sriram, με εφαρμογή του μοντέλου SCOR στην εφοδιαστική αλυσίδα των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε ένα οικοδομικό έργο. Τα διαγράμματα επιπέδων που προέκυψαν για τη διαχείριση τυπικών προϊόντων είναι:

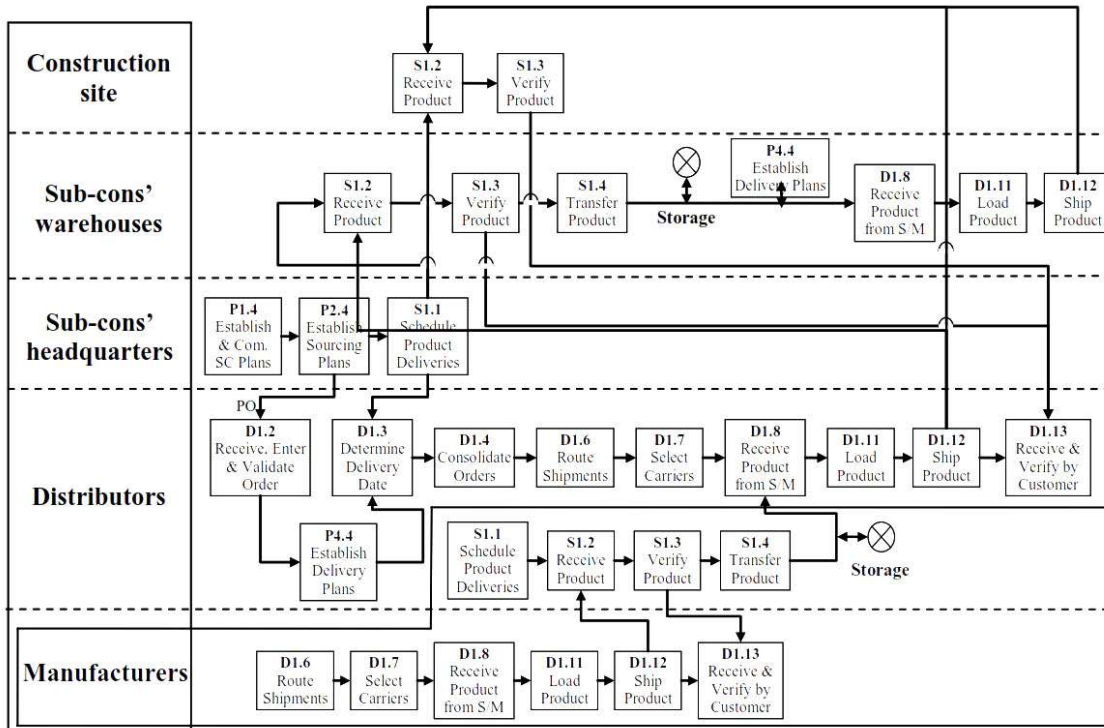
Διάγραμμα Επιπέδου 1



Διάγραμμα Επιπέδου 2



Διάγραμμα Επιπέδου 3



Σχήμα 4.3a, 14b, 14c: Διαγράμματα τριών επιπέδων διαχείρισης με βάση το μοντέλο SCOR, (Πηγή: Cheng, Law, Bjornsson, Jones, & Sriram, 2010)

Η χρήση του μοντέλου SCOR σε μέρος της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, εξετάστηκε επίσης από τους Persson, Bengtsson και Gustad (Persson, Bengtsson, & Gustad, 2009) σε μελέτη περίπτωσης για την κατασκευή του κτιρίου *Tornet* στη Σουηδία. Μέσα από την αξιολόγηση των συμπερασμάτων και στις δύο περιπτώσεις, προκύπτει ότι η μεθοδολογία SCOR αποτέλεσε ως ένα βαθμό, εργαλείο για τον εντοπισμό προβλημάτων και τη διαχείριση της ροής της κατασκευαστικής φάσης. Ωστόσο, προβλήματα που προκύπτουν από τη μη επαρκή επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων, δεν μπόρεσαν να αντιμετωπιστούν.

Συμπερασματικά, το μοντέλο SCOR είναι δυνατό να παρέχει μία βάση για τη βελτίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Yeo & Ning, 2002) αδυνατώντας στην παρούσα φάση να καλύψει ολοκληρωτικά τις ανάγκες ενός ολικού συστήματος διαχείρισης.

4.2.1.2. Λιτή διαχείριση στην κατασκευή

Η λιτή διαχείριση έκανε την εμφάνιση της στην παραγωγική γραμμή της αυτοκινητοβιομηχανίας Toyota και αναφέρεται ως ένα κοινωνικοτεχνικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει μία φιλοσοφία και τα αντίστοιχα εργαλεία διαχείρισης, με έμφαση

στη μείωση ή και εξάλειψη της σπατάλης. Η φιλοσοφία αυτή εκδηλώθηκε σε ποικίλες μορφές όπως η αποδοτικότητα της αλυσίδας μέσα από τη συνεχή ροή των προϊόντων ανάλογα με τη ζήτηση των πελατών, υπό το καθεστώς της just in time παραγωγής.

Η λιτή κατασκευή αναφέρεται στην εφαρμογή και προσαρμογή στις αρχές και τις ιδέες του Toyota Production System σε ένα κατασκευαστικό έργο (Boateng, 2019). Στον κατασκευαστικό κλάδο, υπάρχει η τάση για την ανάλυση ενός έργου μέσα από τα μέρη που εμπλέκονται σε αυτό. Η λιτή διαχείριση προτείνει την ανάλυση του έργου μέσα από τις ροές του και όχι μέσα από τα διαφορετικά τμήματα και μέρη (Özlem & Tek, 2013), την επανεξέταση της αξίας από την οπτική του πελάτη, τον καθορισμό συγκεκριμένης αξίας για ένα προϊόν, τη δυνατότητα του πελάτη να παράγει αξία για τον κατασκευαστή και την αναζήτηση της τελειότητας.

Ως σπατάλη μπορεί να θεωρηθεί η οποιαδήποτε ανεπάρκεια η οποία οδηγεί στην χρήση εξοπλισμού, υλικών, εργασίας ή κεφαλαίου, σε μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές που είναι απαραίτητες για την παραγωγική διαδικασία (Boateng, 2019). Σύμφωνα με τον Liker (όπως προσαρμόστηκε από Boateng, 2019), υπάρχουν οκτώ κατηγορίες σπατάλης σε μία παραγωγική διαδικασία και αφορούν:

- Την υπερ-παραγωγή: αναφέρεται στην παραγωγή πλεονάσματος σε προϊόντα πέραν αυτών που απαιτεί η ζήτηση οδηγώντας σε μεγάλο όγκο αποθεμάτων στις αποθήκες, μη ισορροπημένη ροή υλικών, πλεόνασμα στις πρώτες ύλες και περίπλοκη διαχείριση του συστήματος
- Την αναμονή: ο άσκοπος χρόνος που δημιουργείται μεταξύ διεργασιών στην αλυσίδα και παράγεται είτε από τους υπαλλήλους ήτους πελάτες είτε από τον εξοπλισμό.
- Την μεταφορά: κάθε άσκοπη μετακίνηση ανθρώπων ή προϊόντων ή πληροφορίας που δεν αποδίδει αξία στο προϊόν, θεωρείται βς σπατάλη. Η γραφειοκρατία και η έλλειψη συντονισμού συνλήθως αυξάνουν αυτό το είδος σπατάλης.
- Την υπερ – επεξεργασία: αφορά στην μεγαλύτερη προσθήκη αηίας σε ένα προϊόν από αυτή που αναμένει ο πελάτης. Τέτοιες κινήσεις συνήθως είναι αποτέλεσμα της έλλειψης διευκρινήσεων και πλήρους κατανόησης των αναγκών του πελάτη καθώς και μη αποτελεσματικών και ανεπαρκών πολιτικών.
- Την κίνηση: αυτή η σπατάλη οφείλεται σε κάθε άσκοπη κίνηση των ανθρώπων ή των μηχανιμάτων όπως για παράδειγμα η ανάγκη για να μετακινηθεί κάποιος ψάχνοντας ένα εργαλείο ή να μεταφέρει μια πρώτη ύλη σε ένα μηχάνημα.
- Το απόθεμα: οποιαδήποτε πρώτη ύλη, προϊόν, εξαρτημα που αποθηκεύεται χωρίς να έχει άμεση χρήση δημιουργεί σπατάλη χώρου και χρόνου και αυξάνει την περιπλοκότητα οργάνωσης της αποθήκης.
- Τις ελλείψεις: κάθε ενέργεια που δεν καλύπτει τις ανάγκες του πελάτη και οδηγεί σε επισκευή, ανακατασκευή, υπολείμματα, θεωρείται ως σπατάλη
- Την αχρηστία ανθρώπινου δυναμικού: αφορά στη κακή επιλογή υπαλλήλων, την ανεπαρκή διαχείριση των ανθρώπων και την τοποθέτηση τους σε θέσεις που συνάδουν με τις δυνατότητές τους

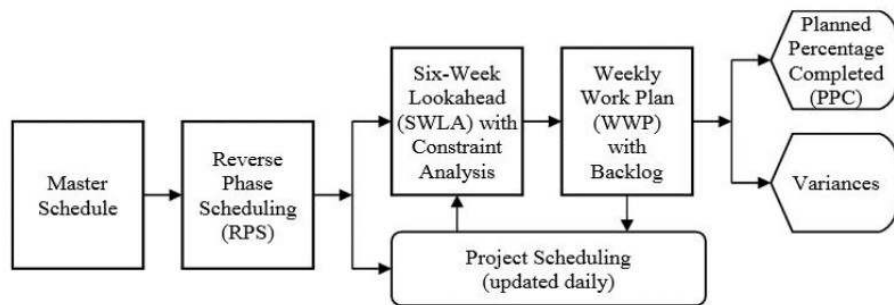
Οι τεχνικές της λιτής διαχείρισης χρησιμοποιούνται τόσο από τον παραγωγικό κλάδο όσο και από τον κατασκευαστικό για να μειώσουν τις σπατάλες, να βελτιώσουν την παραγωγικότητα και να εξοικονομήσουν χρόνο και κόστος δίνοντας αξία στο προϊόν. Μερικά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από τη λιτή κατασκευή για τον προσδιορισμό και την εξάλειψη αδυναμιών είναι (Vidhate & Salunkhe, 2018):

- **Value Stream Mapping (VSM):** Η χαρτογράφηση της κυκλοφορίας της αξίας θεωρείται ως ένα από τα πιο χρηστικά εργαλεία για την εφαρμογή της λιτής κατασκευής με σκοπό την αναγνώριση κάθε πηγής σπατάλης. Το VSM βασίζεται στη δημιουργία ενός οπτικού χάρτη που απεικονίζει τη ροή των υλικών και της πληροφορίας από τους προμηθευτές μέχρι τον τελικό πελάτη καταγράφοντας τις διεργασίες που δημιουργούν ή όχι αξία με σκοπό τη μελλοντική βελτιστοποίηση αυτών.
- **Ελκτικό σύστημα:** η ιδέα του ελκτικού συστήματος αποτελεί πρωταρχικά μια γνωστική προσέγγιση. Σε στρατηγικό επίπεδο, η έλξη φανερώνει την πραγματική ανάγκη ενός πελάτη για την παράδοση ενός προϊόντος, τη στιγμή που το έχει ανάγκη. Η παραδοσιακή κατασκευαστική διαδικασία συχνά ωθεί τον [ελάτη προς μία κατασκευαστική αντίληψη που εμπεριέχει ρίσκο και αβεβαιότητα. Οι αρχές της έλξης προτείνουν την αναγνώριση των αναγκών του πελάτη σε σχέση με την κατασκευή και τις εμπλεκόμενες επιχειρήσεις με στόχο μία προσαρμοσμένη παράδοση τη στιγμή που ο πελάτης το χρειάζεται.
- **Η τεχνική του Just in Time:** Η προσέγγιση της παράδοσης "ακριβώς στην ώρα", αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία της λιτής διαχείρισης με σκοπό την εξάλειψη κάθε περιττής δραστηριότητας και τη μείωση της μεταβλητότητας των εργασιών. Η φιλοσοφία αυτή υποστηρίζει πως κάθε απόθεμα που δεν προσφέρει αξία στον πελάτη αποτελεί πηγή σπατάλης. Έτσι τα υλικά, ο εξοπλισμός ή ακόμη και το ανθρώπινο δυναμικό, θα πρέπει να είναι διαθέσιμα μόνο όταν είναι απαραίτητο.
- **Πίνακας Kanban:** Η διαχείριση των προμηθειών με τη χρήση καρτών *kanban*, αποτελεί μία από τις πιο αποδοτικές τεχνικές εξασφάλισης του χαμηλότερου αριθμού υλικών σε συνάρτηση με τις πραγματικές ανάγκες της κατασκευής. Η τεχνική αυτή προτείνει μία άλλη λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης, εντοπίζοντας τα κατασκευαστικά σημεία με στόχο κάθε ένα από αυτά να έχει το δικό του χώρο αποθήκης, ακόμη και κατά τη μεταφορά από το ένα σημείο στο άλλο. Μία τέτοια λύση η οποία ακολουθεί την κατασκευή στο φυσικό χώρο, βοηθά στη μείωση πολλών πηγών σπατάλης όπως οι εσφαλμένες τοποθετήσεις από τους διαχειριστές, η αναμονή και ο μεγάλος όγκος αποθέματος.
- **Σύστημα Last Planner:** Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό του έργου και τον αμοιβαίο συντονισμό των εμπλεκόμενων, αποτελώντας ένα από τα βασικά εργαλεία της λιτής διαχείρισης. Το εργαλείο αυτό εξασφαλίζει πως ο κάθε εργάτης σε μια κατασκευή παίρνει το ρόλο του ενδιαφερόμενου, παρακολουθώντας

και αναθέτοντας ευθύνη σε ολόκληρη την κατασκευαστική ροή. Η τεχνική LPS εφαρμόζεται ακολουθώντας πέντε βασικά βήματα:

1. Δημιουργία κύριου προγράμματος: Το βήμα αυτό καθορίζει τη συνολική κατασκευαστική ροή. Σε αυτό το σημείο ο κύριος εργολάβος και οι υπεργολάβοι δουλεύουν μαζί με σκοπό να καθορίζουν τα βασικά σημεία και τους στόχους του έργου. Σε αυτό το σημείο παρατίθεται λεπτομερώς ολόκληρο το έργο, εντοπίζοντας και πιθανούς περιορισμούς. Στο τέλος αυτής της φάσης, ο προγραμματισμός όχι μόνο είναι πιστός στην πραγματικότητα αλλά και κάθε βήμα έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τη συμβολή όλων των εμπλεκόμενων
2. Δημιουργία προγράμματος κατασκευαστικών φάσεων: Σε αυτό το βήμα, η ευθύνη για κάθε εργασία ανατίθεται στους ενδιαφερόμενους. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης οι τελικοί εμπλεκόμενοι κάθε φάσης (Last Planners) καθορίζουν το χρονικό ορίζοντα της εργασίας που έχουν αναλάβει, δημιουργώντας ένα αξιόπιστο διάγραμμα ροής του έργου.
3. Σχέδιο ετοιμότητας: Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης είναι κρίσιμο να διασφαλιστεί πως κάθε άτομο στο εργοτάξιο έχει τους απαραίτητους πόρους για να ολοκληρώσει το δικό του τμήμα του έργου. Σε αυτό το σημείο γίνεται μια συνάντηση των ενδιαφερόμενων για την προετοιμασία των εργασιών που θα ολοκληρωθούν από τέσσερις έως έξι εβδομάδες από τη ημερομηνία της συνάντησης. Σκοπός είναι ο εντοπισμός τυχόν περιορισμών που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη διάρκεια του έργου. Καθώς εντοπίζονται περιορισμοί, μπαίνουν σε ένα ημερολόγιο όπου κάθε στοιχείο μπορεί στη συνέχεια να ανατεθεί σε ένα άτομο που είναι υπεύθυνο για την επίλυση του ζητήματος έως μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Θέματα όπως υλικά που δεν φθάνουν εγκαίρως ή μη κατάλληλα εργαλεία είναι μερικοί από τους μεγαλύτερους περιορισμούς που αντιμετωπίζουν τα εργοτάξια.
4. Εβδομαδιαίοι έλεγχοι: Αυτό το στάδιο στο LPS πραγματοποιείται κάθε εβδομάδα κατά τη διάρκεια ενός κατασκευαστικού έργου. Στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι οι Last Planners και οι εργαζόμενοι γνωρίζουν ποιες είναι οι επερχόμενες εργασίες τους για κάθε εβδομάδα. Κατά τη διάρκεια της εβδομαδιαίας συνάντησης, κάθε άτομο στο οποίο έχει ανατεθεί μια εργασία θα επιβεβαιώσει ότι η εργασία του θα ολοκληρωθεί εγκαίρως. Παρόλο που ο χρόνος διεκπεραίωσης κάθε εργασίας έχει ήδη καθοριστεί κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού φάσεων, γίνεται επαλήθευση κατά τη διάρκεια της εβδομαδιαίας συνάντησης ότι οι στόχοι αυτοί θα ικανοποιηθούν. Εάν δεν τηρούνται οι προθεσμίες, ολόκληρο το έργο μπορεί να εκτροχιαστεί από το χρονοδιάγραμμα, με αποτέλεσμα τη σπατάλη υλικών, χρημάτων και χρόνου.
5. Ημερήσιες συναντήσεις "εκμάθησης" για τους Last Planners: Το τελικό στάδιο του LPS εμφανίζεται στο τέλος κάθε εργάσιμης ημέρας. Πριν την αποχώρηση

από το εργοτάξιο, οι Last Planners θα συναντηθούν για να επιβεβαιώσουν ότι τα καθήκοντά τους για την ημέρα πραγματοποιήθηκαν όπως τους ανατέθηκε. Σε ένα περιβάλλον λιτής κατασκευής, ακόμη και μικρά σφάλματα προγραμματισμού πρέπει να διορθωθούν το συντομότερο δυνατό. Οι συναντήσεις "εκμάθησης" αποτελούν μια τέλεια ευκαιρία για διαφορετικές στατιστικές αναλύσεις (ή KPI) ώστε να βεβαιωθεί ότι το έργο είναι εντός χρόνου και εντός του προϋπολογισμού. Τέτοιοι είδους αναλύσεις μπορεί να παρουσιάζουν το ποσοστό ολοκλήρωσης (PPC analysis) ή τον αριθμό ολοκληρωμένων εργασιών (TMR analysis) ή προσδοκώμενων εργασιών (TA analysis).



Σχήμα 4.4: Ενδεικτικό παράδειγμα διαγράμματος ενός "Last Planner" συστήματος, (Πηγή: Zimmer, 2005)

- **Η μεθοδολογία των 5S** (Sort – διαλογή, Straighten – τακτοποίηση, Shine – καθαριότητα, Standardize – προτυποποίηση και Sustain – διατήρηση): Το σύστημα 5S είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση και τη διατήρηση της ποιότητας του εργασιακού περιβάλλοντος σε έναν οργανισμό. Αναλυτικά οι όροι που εμπεριέχονται είναι:

Sort – διαλογή: διαχωρισμός των απαραίτητων υλικών και εφοπλισμού που απαιτούνται σε κάθε κατασκευαστικό στάδιο

Straighten – τακτοποίηση: τοποθέτηση των υλικών και του εξοπλισμού στη σωστή θέση για την άμεση χρήση

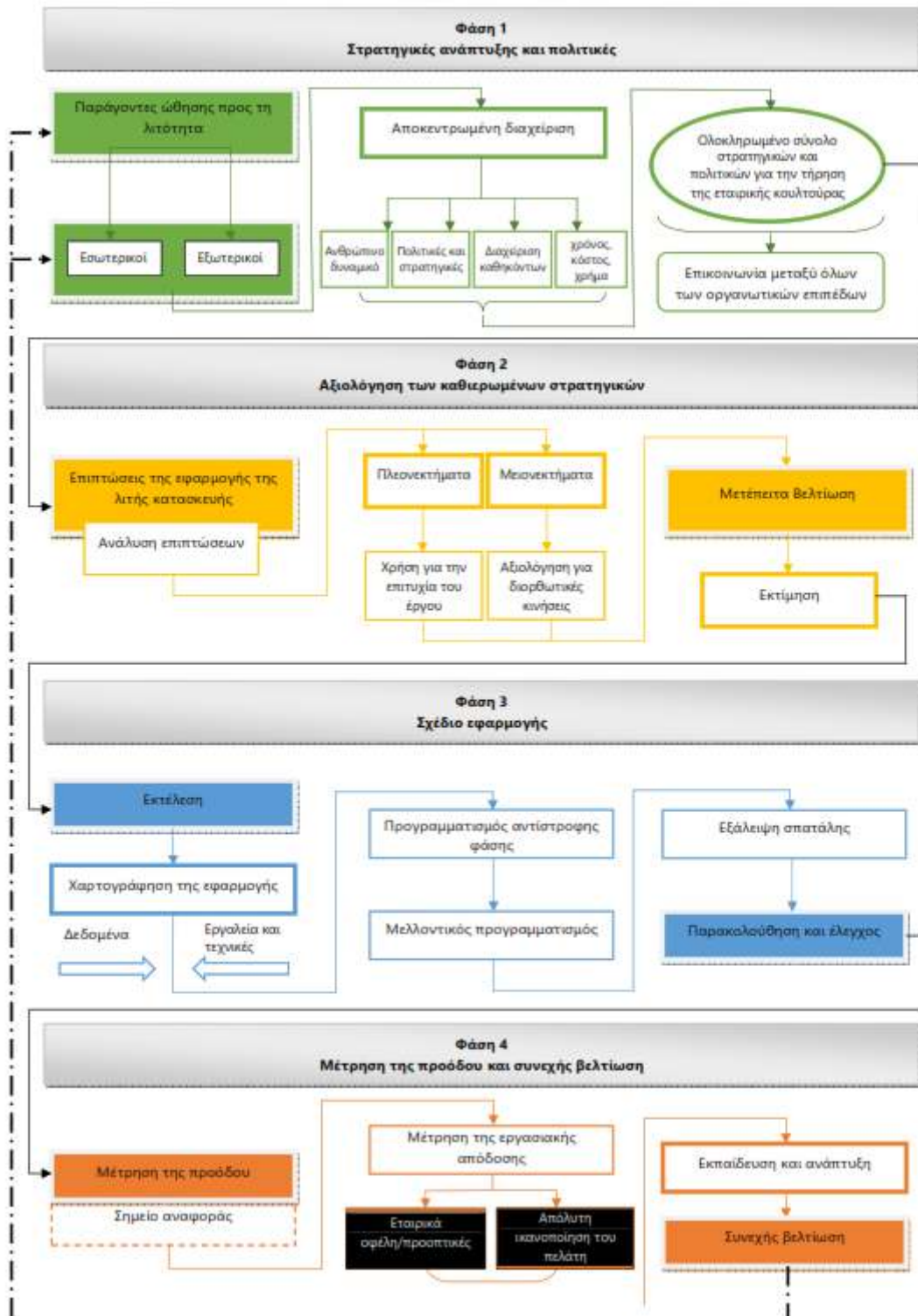
Shine – καθαριότητα: διατήρηση μιας καθαρής και ελεύθερης ζώνης

Standardize – προτυποποίηση: προτυποποίηση των κανόνων και πιστή εφαρμογή των τριών πρώτων βημάτων

Sustain – διατήρηση: συνεχής πρόοδος και εξέλιξη.

Έρευνες δείχνουν ότι οι κατασκευαστικές εταιρείες με αποτελεσματική οργάνωση είναι αυτές που έχουν ξεκινήσει την ανάπτυξη μιας λιτής διαχείρισης με την εφαρμογή αυτού του συστήματος, διατηρώντας ένα καλά οργανωμένο εργοτάξιο, με μείωση της

ζημιάς σε εξοπλισμό/υλικά από ακατάλληλη αποθήκευση και αύξηση της ασφάλειας του προσωπικού. Οι Diekmann, Krewedl, Balonick, Stewart και Won (Diekmann, Krewedl, Balonick, Stewart, & Won, 2004) ανέλυσαν την εφαρμογή της λιτής διαχείρισης σε διάφορους κατασκευαστικούς κλάδους κατέληξαν στο γεγονός ότι υπάρχουν εμφανή οφέλη στη διαχείριση όσο αφορά τη σπατάλη, ωστόσο η λιτότητα δεν είναι τόσο διαδεδομένη στην κατασκευή και δεν μπορεί να εφαρμοστεί στο επίπεδο του παραγωγικού κλάδου. Η Madanayake (Madanayake, 2015) εντόπισε επίσης τα σημεία ενδιαφέροντος της λιτής διαχείρισης στην κατασκευή προτείνοντας ένα θεωρητικό πλαίσιο εφαρμογής το οποίο συμβάλει στην αποδοτικότερη διαχείριση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας μέσα από τη λιτή φιλοσοφία.



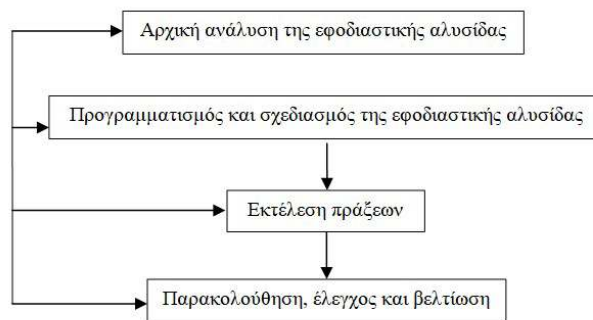
Σχήμα 4.5: Εννοιολογικό πλαίσιο της λιτής κατασκευής, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Madanayake, 2015)

4.2.1.3. Ο κύκλος PDCA των Serpell και Heredia

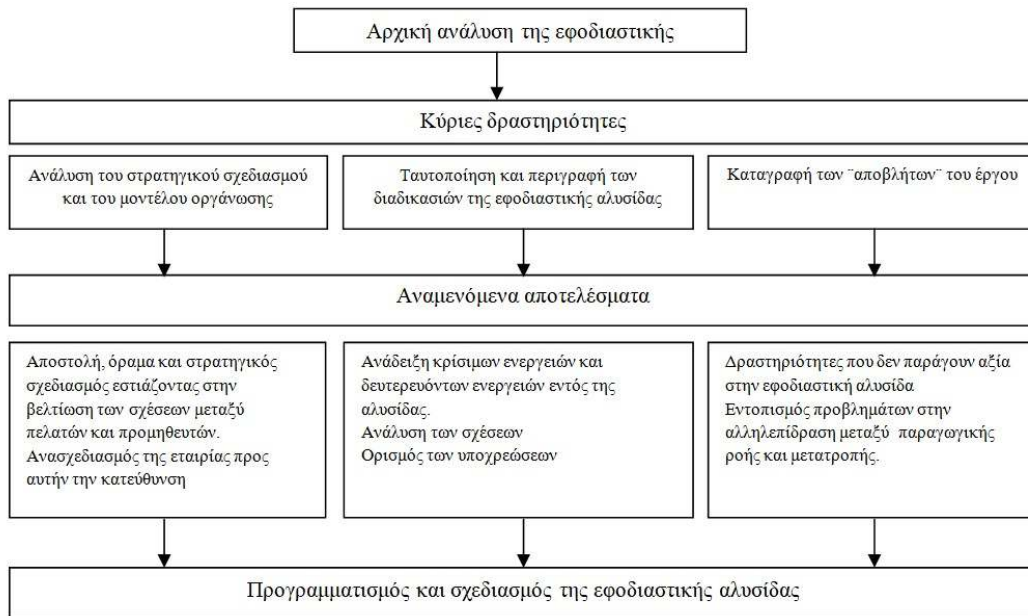
Αναφερόμενοι σε εξειδικευμένα μοντέλα της κατασκευαστικής αλυσίδας, σε έρευνα που διεξήχθη από τους Serpell και Heredia (Heredia & Serpell, 2004) εξετάζοντας την εφοδιαστική αλυσίδα στον τομέα των κατασκευών της Χιλής, παρουσιάζεται μια προτεινόμενη μεθοδολογία για την άρτια εφαρμογή μιας μορφής διαχείρισης της αλυσίδας στον τομέα αυτό που στοχεύει κυρίως στις ίδιες τις κατασκευαστικές εταιρίες, ωστόσο μπορεί να υιοθετηθεί από όλα τα μέρη που συμμετέχουν στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η μεθοδολογία βασίζεται στον τροχό του Deming ή αλλιώς στον κύκλο PDCA (plan-do-check-act), που αποτελεί ουσιαστικά μία επαναληπτική μέθοδο τεσσάρων βημάτων διαχείρισης με σκοπό τον προγραμματισμό, την εκτέλεση και τον έλεγχο.

Σε αρχικό στάδιο γίνεται ανάλυση της εφοδιαστικής αλυσίδας από την εταιρία, προσδιορίζοντας τα προβλήματα καθώς και τις αιτίες τους. Σε αυτό το στάδιο προκύπτει μια εκτενέστερη εικόνα των σχέσεων μεταξύ πελατών και προμηθευτών, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

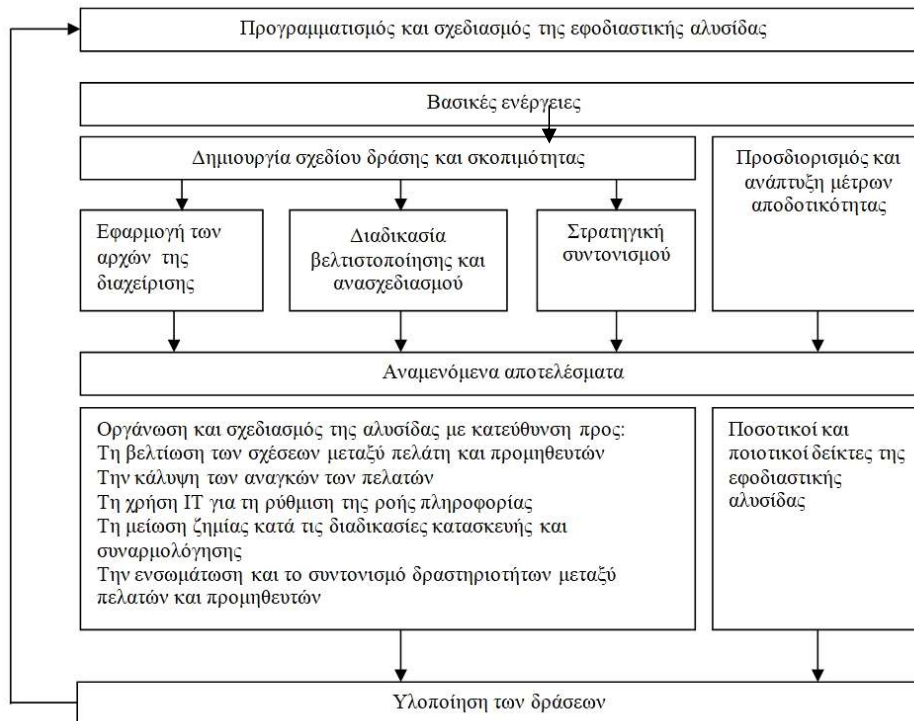
Στο δεύτερο στάδιο κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός στόχων και ενεργειών με σκοπό την μείωση ή και εξάλειψη των αιτιών που προκαλούν τα προβλήματα, όπως καταγράφηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Οι δραστηριότητες του επόμενου σε σειρά διαγράμματος εστιάζουν στο σχεδιασμό μιας νέας δομής οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία θα βελτίωση τον ανταγωνισμό μέσω παραγωγής αξίας για τον πελάτη και μείωση κόστους κατά την παραγωγή αποβλήτων για την εταιρία.



Σχήμα 4.6: Στάδιο 1^ο – βασικά βήματα εφαρμογής της διαχείρισης της αλυσίδας, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Heredia & Serpell, 2004)

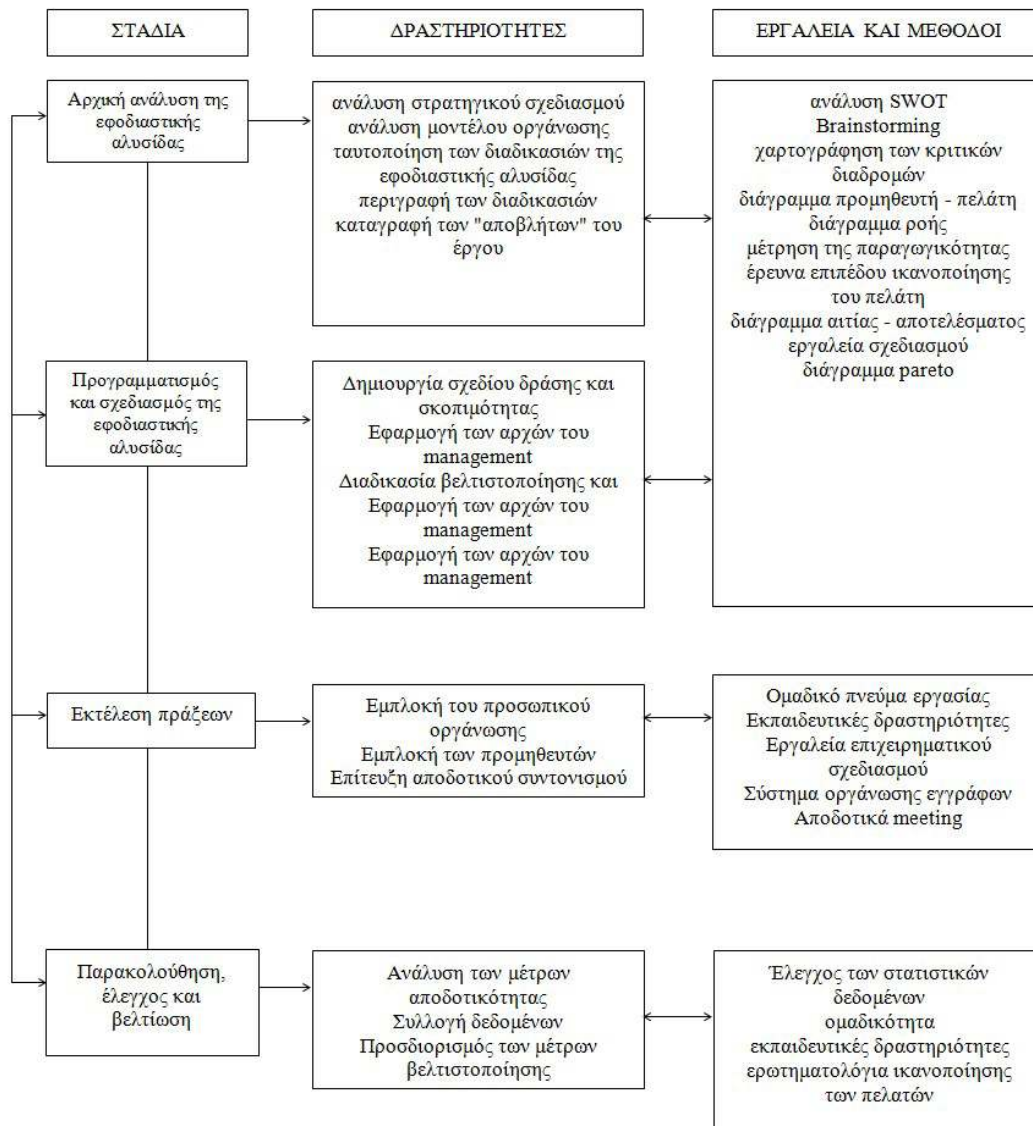


Σχήμα 4.7: Στάδιο 2^ο – Δραστηριότητες και αποτελέσματα της αρχικής ανάλυσης, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Heredia & Serpell, 2004)



Σχήμα 4.8: Στάδιο 3^ο – Δραστηριότητες και αποτελέσματα της φάσης σχεδιασμού, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Heredia & Serpell, 2004)

Σε επόμενο στάδιο γίνεται εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων, όπως αναλύθηκαν καθώς και η ενσωμάτωση του απαιτούμενου τεχνολογικού εξοπλισμού για τη διαχείριση των πόρων και του ανθρώπινου δυναμικού. Στη συνέχεια γίνεται συλλογή των αποτελεσμάτων και σύγκριση με τα προσδοκώμενα. Εάν υφίσταται θετική εξέλιξη, τα νέα μέτρα που θα προταθούν αποσκοπούν σε περαιτέρω βελτιώσεις ενώ εάν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό τότε γίνονται διορθωτικές πράξεις. Συνολικά, το διάγραμμα με βάση τα στάδια, τις δραστηριότητες και τις μεθόδους διαμορφώνεται ως εξής:



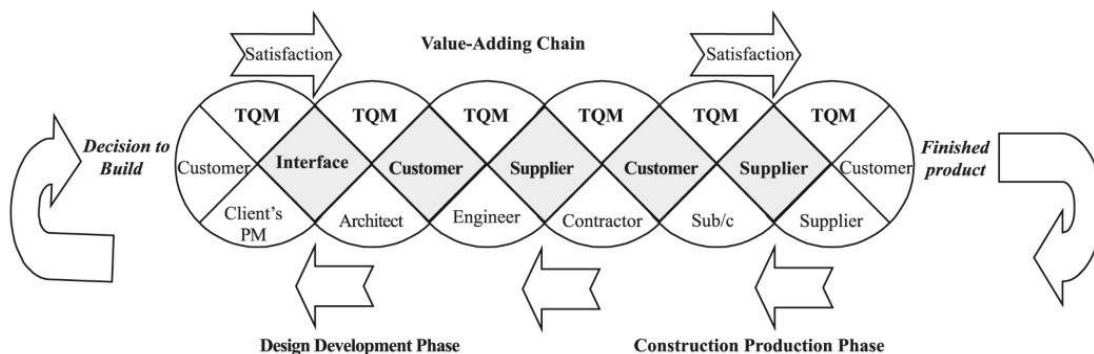
Σχήμα 4.9: Στάδιο 4^ο – Ανάλυση εργαλείων και μεθόδων για την εφαρμογή της μεθοδολογίας, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Heredia & Serpell, 2004)

Συμπερασματικά αναφέρεται πως με τη χρήση τέτοιου είδους ποιοτικών προσεγγίσεων για την εφαρμογή μιας μορφής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας στα τεχνικά έργα, επιτυγχάνεται κατάλληλη εσωτερική οργάνωση ώστε η εταιρία να προσαρμόζεται αποδοτικότερα μεταξύ των ανταγωνιστών. Παράλληλα, αναπτύσσονται στρατηγικές που επιτρέπουν την παράδοση ενός άρτιου προϊόντος και των υπηρεσιών που το συνοδεύουν καθώς και η δημιουργία ενός αποτελεσματικού δικτύου ανταλλαγής πληροφοριών που οδηγεί στη βελτίωση των σχέσεων μεταξύ των προμηθευτών, το κατασκευαστή και του πελάτη.

4.2.1.4. Αδιάλειπτο μοντέλο διαχείρισης

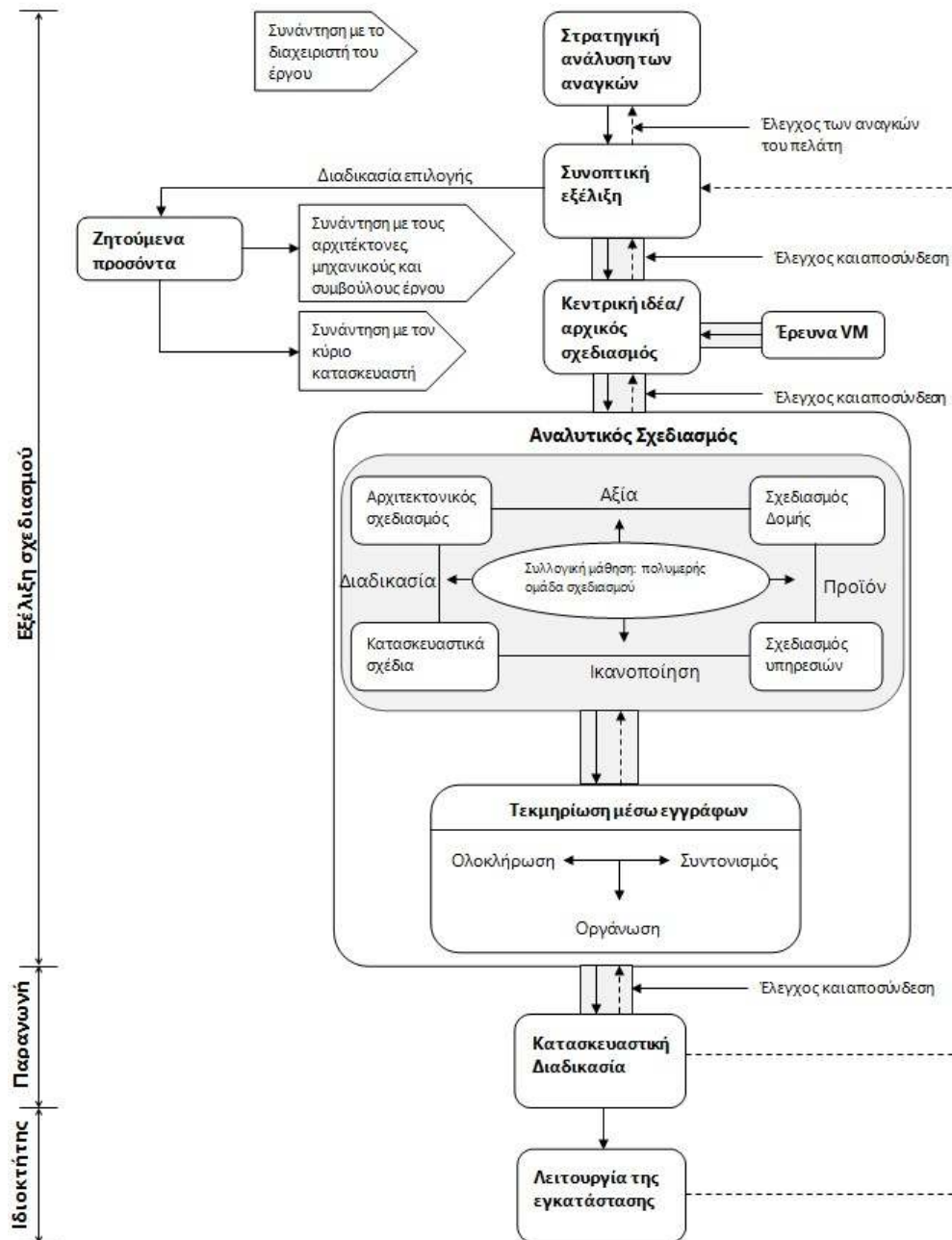
Οι Love, Irani και Edwards (Love, Irani, & Edwards, 2004), έχουν προτείνει ένα μοντέλο διαχείρισης, γνωστό με τον όρο *seamless supply chain management*, το οποίο αφορά την ενσωμάτωση της εφοδιαστικής αλυσίδας στον τομέα των κατασκευών. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι τέτοιου είδους πρωτοβουλίες συχνά χρησιμοποιούνται σε συνεργασία με παραδοσιακές πρακτικές σχεδιασμού και οργάνωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας των έργων, ωστόσο το αποτέλεσμα αφορά τμηματικά μέρη της αλυσίδας και όχι το σύνολο. Διαδικασίες βασιζόμενες σε πρακτικές ολικής ποιοτικής διαχείρισης (TQM – total quality management), δεν έχουν εισαχθεί στη φιλοσοφία του κατασκευαστικού κλάδου, πιθανότατα εξαιτίας της έλλειψης των απαιτούμενων δεξιοτήτων από τις εταιρίες.

Ήδη ο διαχωρισμός μεταξύ σχεδιασμού και κατασκευής των έργων έχει δεχθεί αυστηρή κριτική τα τελευταία 50 χρόνια περίπου, με διαρκή έρευνα γύρω από την ενοποίηση των φάσεων της κατασκευαστικής διαδικασίας. Ο Love σε προηγούμενη έρευνα, έχει σχολιάσει πως κάθε οργανισμός που εμπλέκεται σε ένα έργο, έχει τις ιδιότητες τόσο του πελάτη όσο και του προμηθευτή και για το λόγο αυτό πρέπει να εξεταστεί ο τρόπος που το κάθε μέρος μπορεί να εισάγει αξία στην εφοδιαστική αλυσίδα. Ο συλλογισμός αυτός φαίνεται ξεκάθαρα στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα συσχέτισης πελάτη-προμηθευτή στην εφοδιαστική αλυσίδα, (Πηγή: Love, Irani, & Edwards, 2004)

Ο σκοπός της ανάπτυξης ενός αδιάλειπτου μοντέλου, πέρα από την αντιμετώπιση του φαινομένου του κατακερματισμού της αλυσίδας, είναι να εισάγει μια καθολική γλώσσα επικοινωνίας. Πρόκειται για μια μορφή διαχείρισης που στοχεύει στην οργάνωση του σχεδιασμού και της κατασκευαστικής διαδικασίας, προσφέροντας έδαφος για περαιτέρω έρευνα και εξέλιξη και γεφυρώνοντας το κενό μεταξύ σχεδιασμού και κατασκευής του έργου.



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα ενός αδιάλειπτου μοντέλου της κατασκευαστικής αλυσίδας, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από τους Love, Irani, & Edwards, 2004)

Για τη βελτίωση της επικοινωνίας και την ελαχιστοποίηση των εμποδίων στη διάδοση της πληροφορίας, ο Love πρότεινε τα παραδοσιακά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των έργων να αντικατασταθούν με ένα οριζόντιο μοντέλο οργάνωσης που βασίζεται σε μια πολυθεματική ομαδική προσέγγιση. Αυτό σημαίνει ότι τα άτομα και οι ομάδες θα συνεργάζονται παράλληλα και όχι διαδοχικά με σκοπό το σχεδιασμό και την ανάπτυξη τόσο του έργου όσο και των απαιτούμενων διαδικασιών και θα επιλέγουν τα απαραίτητα υλικά και εξοπλισμό μέσα σε ένα πλαίσιο συνεργασίας.

Στο μοντέλο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 22, τα μέρη της ομάδας που συμμετέχουν, διατηρούν επαφή με τον πελάτη καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας του σχεδιασμού. Επιπρόσθετα, το μοντέλο έχει αναπτυχθεί με σκοπό να παρακινήσει τη συγκέντρωση γνώσης, την ομαδικότητα και να αναπτύξει ένα ψυχοκοινωνικό σύστημα που θα επηρεάζει την εξέλιξη του. Μία θεμελιώδης υπόθεση είναι ότι κάθε οργανισμό εφαρμόζει μία φιλοσοφία TQM (total quality management) ώστε να εγγυάται την εγκαθίδρυση των βέλτιστων πρακτικών κατασκευής. Σκοπός του μοντέλου, είναι να προσφέρει έναν τρόπο συνεργασίας με διαρκή και συστηματική επίλυση των προβλημάτων. Τα εμπλεκόμενα μέρη έχουν πιο ξεκάθαρη αντίληψη όταν υπάρχει διαμοιρασμός των ευθυνών. Το γεγονός αυτό επιδρά θετικά στην μείωση του χρόνου κατασκευής και την αποφυγή παραλλαγών και συμβιβασμών στην ποιότητα. Η διαδικασία του μοντέλου διασφαλίζει τη διατήρηση μια ολοκληρωμένης καινοτόμου δομής της εφοδιαστικής αλυσίδας και των αγορών, εφαρμόζοντας μία ποιοτική σκοπιά στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε την κατασκευαστική βιομηχανία.

Σημαντικό να αναφερθεί πως μείζονος σημασίας ρόλο στη σωστή εφαρμογή ενός αδιάλειπτου μοντέλου διαχείρισης, παίζει ο συντονιστής του έργου ή project manager, ο οποίος πρέπει να κατέχει στοιχεία διαπραγματευτή, με γνώσεις των υλικών και των εργαλείων και να αξιολογεί συνεχώς μαζί με τον πελάτη, την πρόοδο του έργου.

4.2.2. Ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης

Τα ποσοτικά μοντέλα της κατασκευαστικής αλυσίδας χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και ιδιαιτερότητες και συνήθως βασίζονται σε συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης. Η έρευνα γύρω από τέτοιο είδους μοντέλα είναι ετερογενής αλλά πολύ πιο περιορισμένη. Παρόλο που οι μελέτες βελτιστοποίησης καταλαμβάνουν ένα μεγάλο μερίδιο γύρω από τη συνολική έρευνα της διαχείρισης της παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας, λίγα είναι τα παραδείγματα για τον κατασκευαστικό τομέα, χρησιμοποιώντας είτε μαθηματικά μοντέλα είτε προσομοίωση (Koutsokosta & Katsavounis, 2015).

Οι τεχνικές βελτιστοποίησης αποτελούν τα κατάλληλα εργαλεία για το σχεδιασμό και την οργάνωση της κατασκευής και των *logistics*. Τέτοιου είδους τεχνικές περιλαμβάνουν μοντέλα βασισμένα σε πράκτορες (Agent-Based Models), γραμμικό προγραμματισμό, ακέραιο προγραμματισμό, δυναμικό προγραμματισμό, στοχαστικό

προγραμματισμό, μοντέλα βελτιστοποίησης πολλαπλών αντικειμένων, θεωρία παιγνίων, ευρετικές μέθοδοι κ.α. Τα μοντέλα βασιζόμενα σε πράκτορες χαρακτηρίζονται ως μία εξελισσόμενη τεχνολογία, στην οποία έξυπνοι "πράκτορες" αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέχρι να φτάσουν τους στόχους που έχουν τεθεί από τον σχεδιαστή του μοντέλου. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτύχουν τις σύμφωνες λύσεις για τα logistics μέσα από μια διαδικασία διαπραγματεύσης και αλληλεπίδρασης μεταξύ των μελών της αλυσίδας (Le, Elmughrabi, Dao, & Chaabane, 2018). Η προσομοίωση έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εξηγήσει τις συμπεριφορές των εμπλεκόμενων κάτω από διαφορετικά σενάρια και για παράδειγμα να αναδείξει πως επηρεάζονται οι αλλαγές στη ζήτηση και οι τιμές των υλικών υπό καθεστώς αβεβαιότητας στην κατασκευή. Τέλος ο μαθηματικός προγραμματισμός, μέσα από τη συνεχή εξέλιξη πέρα από τις παραδοσιακές τεχνικές, μπορεί να προσφέρει τις βέλτιστες λύσεις σε ποσοτικά προβλήματα.

Εξαιτίας της φύσης τους, τα ποσοτικά μοντέλα εστιάζουν σε συγκεκριμένες φάσεις τις αλυσίδας, όπως τα logistics, το χρονοδιάγραμμα του έργου, αδυνατώντας να παρέχουν μια συνολική στρατηγική διαχείρισης. Λαμβάνοντας υπόψη το ευρύ πεδίο που καλύπτει μια εφοδιαστική αλυσίδα, μπορεί να υποστηριχτεί ότι δεν υπάρχει μοντέλο που δύναται να καλύψει όλες τις πλευρές των διεργασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Για να συμβιβαστεί το δίλλημα μεταξύ της πολυπλοκότητας του μοντέλου και της πραγματικότητας, πρέπει ο κατασκευαστής του μοντέλου να καθορίσει το σκοπό που εξυπηρετεί η μοντελοποίηση με τέτοιο τρόπο ώστε να διαφαίνονται οι πραγματικές διαστάσεις του προβλήματος και ταυτόχρονα να αιωρούνται οι πολυπλοκότητες που δυσχεραίνουν την επίλυση (Κουτσοκώστα, 2012).

4.2.2.1. Μοντέλα προσομοίωσης

Η προσομοίωση χαρακτηρίζεται ως η τέχνη και η επιστήμη του σχεδιασμού ενός μοντέλου το οποίο συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όπως ένα σύστημα σε πραγματικές συνθήκες. Με άλλα λόγια η προσομοίωση, αναπαριστά επακριβώς τις διαδικασίες ενός συστήματος με τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων με βασικά πλεονεκτήματα τη γενίκευση, την προσαρμοστικότητα και τη δυνατότητα να αποδίδει σχεδόν κάθε πιθανή συμπεριφορά ενός συστήματος.

Όσο αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα, η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσής της και στη συνέχεια αν υποστηρίζει τη διαδικασία διαχείρισης της μέσα από κατάλληλες σχεδιαστικές αποφάσεις και στρατηγικές σε σχέση με την τοποθεσία του έργου και των εγκαταστάσεων, τη θέση του αποθέματος, την επιλογή προμηθευτών και εταίρων αλλά και πολιτικών ελέγχου και προγραμματισμού και σχέσεις συνεργατικότητας.

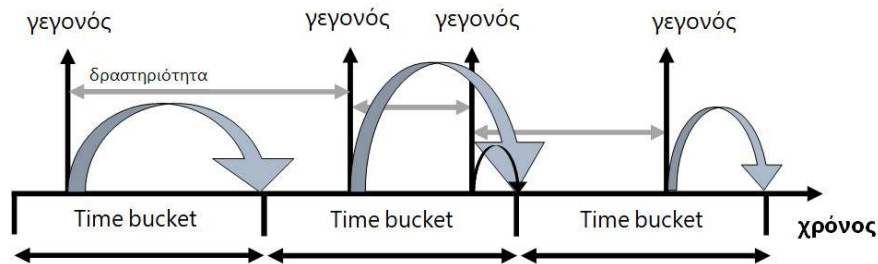
Αρχικό βήμα για τη χρήση προσομοίωσης είναι ο ορισμός του πραγματικού συστήματος και του συστήματος προσομοίωσης (Thierry, Bel, & Thomas, 2008). Ένα τέτοιο μοντέλο αποτελείται από αντικείμενα και τις σχέσεις που τα συνδέουν. Καθένα

από αυτά χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο γνωρισμάτων (π.χ. η ονομασία του) και από μία σειρά αξιών η οποία μπορεί να διαφέρει με την πάροδο του χρόνου (πχ. η θέση ενός προϊόντος). Εξαιτίας των χαρακτηριστικών και της πολυπλοκότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας, η χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη εξαιτίας δύο βασικών παραγόντων :

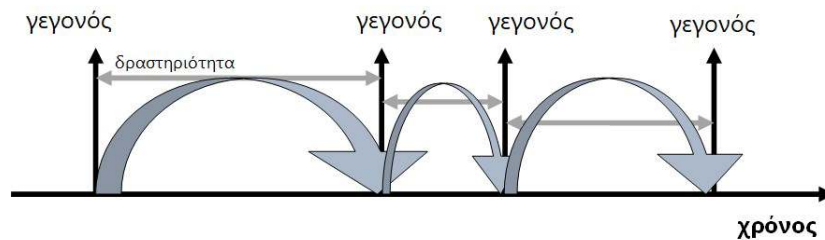
- **Το μέγεθος του συστήματος:** Σε μία προσομοίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ο αριθμός των αντικειμένων προς μοντελοποίηση είναι τεράστιος. Η αλυσίδα αποτελείται από μία σειρά εμπλεκόμενων, εκ των οποίων ο καθένας διαχειρίζεται διαφορετικά προϊόντα ή ενέργειες, δημιουργώντας τελικά πολυπληθή αντικείμενα προς προσομοίωση.
- **Η πολυπλοκότητα του συστήματος:** Σε μια εφοδιαστική αλυσίδα είναι απαραίτητη η προσομοίωση τόσο του υλικού συστήματος όσο και των σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων. Παρόλη την πολυπλοκότητα, είναι αναγκαία η αναπαράσταση τους με λεπτομέρεια, καθώς αυτές είναι που διακινούν όλη την παραγωγική διαδικασία.

Στη βιβλιογραφία γύρω από τα μοντέλα προσομοίωσης για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι ανάλογα με τη φύση του προβλήματος και τις ανάγκες του διαχειριστή. Σύμφωνα με τους Thierry, Bel και Thomas μερικές από αυτές είναι:

- **Προσομοίωση συνεχών διεργασιών:** αφορά ένα μοντέλο ενός φυσικού συστήματος, το οποίο συνεχόμενα καταγράφει τις αντιδράσεις σύμφωνα με μια σειρά εξισώσεων που περιλαμβάνουν διαφορετικής συναρτήσεις. Στην περίπτωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ένα τέτοιου είδους μοντέλο υποστηρίζει την προσομοίωση συστημάτων δυναμικής, όπου τα δεδομένα αλλάζουν συνεχόμενα, με τη συμπεριφορά τους να παρουσιάζεται ως μια διαφορετική εξίσωση.
- **Προσομοίωση διακριτών γεγονότων:** Τα μοντέλα προσομοίωσης διακριτών γεγονότων αναπαριστούν ένα σύστημα ως μία σειρά γεγονότων με διακριτή συχνότητα μέσα στο χρόνο. Στην εφοδιαστική αλυσίδα αυτή η συχνότητα μπορεί να αποτελείται από προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (time buckets) ή από γεγονότα (events) που καθορίζουν τη διακριτότητα του χρόνου.



Σχήμα 4.12: Προσημείωση οδηγούμενη από τα χρονικά βήματα, (Πηγή: Thierry, Bel, & Thomas, 2008)



Σχήμα 4.13: Προσομοίωση οδηγούμενη από τα γεγονότα, (Πηγή: Thierry, Bel, & Thomas, 2008)

Στην πρώτη κατηγορία, το μοντέλο προσομοίωσης είναι διαχωρισμένο σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα μέσα στα οποία λαμβάνουν χώρα διάφορα γεγονότα και δραστηριότητες. Το αποτέλεσμα αυτών των γεγονότων υπολογίζεται στο τέλος κάθε φάσης και ο υπολογισμός αυτός αποτελεί προαπαιτούμενο για την έναρξη της επόμενης. Στην δεύτερη κατηγορία, το βήμα του μοντέλου προσομοίωσης καθορίζεται από την ολοκλήρωση ενός γεγονότος ή μιας κατάστασης μέσα στην αλυσίδα. Σε μία τέτοια προσέγγιση πρέπει να γνωρίζουμε εξ αρχής το χρόνο ολοκλήρωσης ενός γεγονότος και τα χαρακτηριστικά του. Συχνά τέτοιου είδους μοντέλα προσομοίωσης διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας αντιμετωπίζουν δυσκολίες εξαιτίας των πολλών γεγονότων που συμβαίνουν και το μέγεθος του τελικού μοντέλου.

- **Προσομοίωση με τη χρήση παιχνιδιών:** Η χρήση παιχνιδιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο προσομοίωσης καθώς μπορεί να αναπαραστήσει ένα σύστημα σε πραγματικές συνθήκες, χωρίς απαραίτητα τη χρήση υπολογιστή, ανακαλύπτοντας νέες στρατηγικές σε ένα ασφαλές και διαδραστικό περιβάλλον. Τα παιχνίδια μπορεί να είναι επιτραπέζια ή πιο εξελιγμένα που απαιτούν τη χρήση υπολογιστικών μηχανών. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το LEAPCON, ένα παιχνίδι που αναπαριστά την εκτέλεση των εσωτερικών δραστηριοτήτων που

απαιτούνται για την κατασκευή ενός ουρανοξύστη, υπό τις αρχές του lean management (Sacks, Esquenazi, & Goldin, 2007).

Τα περισσότερα από τα εργαλεία προσομοίωσης έχουν σχεδιαστεί ως εργαλεία αλληλεπίδρασης για τον χειριστή ώστε να μπορεί ο ίδιος να λαμβάνει αποφάσεις και όχι ως εργαλεία απόφασης σε πραγματικό χρόνο συνδεδεμένα με ένα σύστημα ελέγχου. Ως πλεονεκτήματα της προσομοίωσης της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρονται (Chang & Makatsoris, 2001) :

- η συνεισφορά στη συνολική κατανόηση της λειτουργίας της και των χαρακτηριστικών της με τη χρήση γραφικών και άλλων οπτικών μέσων,
- Η δυνατότητα για την κατανόηση της δυναμικής ενός συστήματος. Χρησιμοποιώντας διαμοιρασμό πιθανοτήτων ο χρήστης μπορεί να μοντελοποιήσει μη αναμενόμενα γεγονότα σε συγκεκριμένες περιοχές και να κατανοήσει τις συνέπειες αυτών εντός της αλυσίδας
- Η δραματική μείωση του ρίσκου που προκύπτει από τις αλλαγές κατά τη σχεδιαστική διαδικασία. Με την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει πολλές εναλλακτικές πριν προβεί σε αλλαγές.

Όσο αφορά τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στον κατασκευαστικό κλάδο με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης, μπορούμε να βρούμε κάποια ενδεικτικά παραδείγματα όπως το μοντέλο που παρουσιάστηκε από τους Polat, Arditi και Mungen (Polat, Arditi, & Mungen, 2007). Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί ένα υποστηρικτικό σύστημα αποφάσεων βασισμένο σε μοντέλο προσομοίωσης, ώστε να βοηθήσει τους κατασκευαστές να επιλέξουν το πιο οικονομικό σύστημα διαχείρισης υλικού (στην περίπτωση της μελέτης τις ράβδους οπλισμού χάλυβα) λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό μέγεθος του εργοταξίου, τη στρατηγική προγραμματισμού του έργου και το απόθεμα. Συγκεκριμένα έγινε επιλογή ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών συμβάντων το οποίο μπορεί να παράγει αποτελέσματα κόστους υπό διαφορετικά καθεστώτα διαχείρισης ξεκινώντας από ένα σύστημα JIC (just in case) μέχρι ένα σύστημα JIT (just in time). Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το πακέτο "Extended+BPR" εξαιτίας των υψηλών δυνατοτήτων και της αισθητικής του γραφιστικού περιβάλλοντος κατά τη χρήση. Σε μία άλλη έρευνα, οι Vidalakis, Tookey και Sommerville (Vidalakis, Tookey, & Sommerville, 2013), χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτών συμβάντων ώστε να εκτιμήσουν τη διαβάθμιση που προκαλείται στη ζήτηση των υλικών με βάση δύο κρίσιμες μεταβλητές: το χρόνο παράδοσης και το κόστος. Η προσομοίωση αρχικά έγινε με τη δημιουργία ενός θεωρητικού μοντέλου το οποίο στη συνέχεια προσαρμόστηκε σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον με τη χρήση του προγράμματος Simul8.

4.2.2.2. Μοντέλα βελτιστοποίησης

Σύμφωνα με το λεξικό ορισμών *merriam-webster*, η βελτιστοποίηση ορίζεται ως

“μία πράξη, μία διαδικασία ή μία μεθοδολογία με σκοπό τη δημιουργία ενός αντικειμένου (όπως για παράδειγμα ενός σχεδίου, ενός συστήματος ή μιας απόφασης) όσο το δυνατόν πιο τελειοποιημένο, λειτουργικό και αποδοτικό. Συγκεκριμένα σε αυτή την πράξη εμπλέκονται μαθηματικές διαδικασίες όπως ο εντοπισμός του μέγιστου μιας συνάρτησης”

Μία από τις μεθόδους εξέτασης ενός αντικειμένου αποτελεί η μοντελοποίηση. Ο σχεδιασμός μοντέλων καθιστά εφικτή την εξέταση διαφορετικών απόψεων χωρίς κανένα περιορισμό, το οποίο σημαίνει πως δεν υπάρχει ανάγκη για κανέναν πειραματισμό στο πραγματικό σύστημα. Ανάμεσα από διάφορες μορφές μοντελοποίησης, τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν το βασικό εργαλείο για τη μελέτη προβλημάτων βελτιστοποίησης (Matinrad, Roghanian, & Rasi, 2013). Κάθε μαθηματικό πρόβλημα αποτελείται από τέσσερα σημαντικά τμήματα: τις παραμέτρους, τις μεταβλητές, την αντικειμενική συνάρτηση ή συναρτήσεις και τους περιορισμούς. Ουσιαστικά, μέσα από την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς, ο σχεδιαστής του μοντέλου παρουσιάζει τους στόχους της εταιρίας καθώς και τα προβλήματα που υφίστανται.

Ως ένα ποσοτικό εργαλείο, τα μαθηματικά μοντέλα, έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό με σκοπό την επίλυση συστημάτων προμήθειας και παραγωγής υιοθετώντας μία ποικιλία μεταβλητών (Liu, Xu, & Qin, 2017). Όσο αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα, η μεγαλύτερη πλειοψηφία του ερευνητικού κλάδου αναφέρεται σε μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού (linear programming) και συγκεκριμένα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (mixed integer linear programming). Επιπρόσθετα συναντώνται προσεγγίσεις πολύ-στοχικού προγραμματισμού (multi-objective programming), κυρίως σε γραμμικά ή ακέραια γραμμικά μοντέλα (Mula, Peidro, Díaz-Madroño, & Vicens, 2010). Εξαιτίας της φύσης των προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας και της αβεβαιότητας πολλών παραγόντων όπως η ζήτηση των υλικών, ο χρόνος παράδοσης, ελλειπή στατιστικά δεδομένα κ.α., σε πολλά μοντέλα εισάγεται ο ασαφής προγραμματισμός (fuzzy programming) και ο στοχαστικός προγραμματισμός (stochastic programming) για τον προσδιορισμό τέτοιου είδους μεταβλητών.

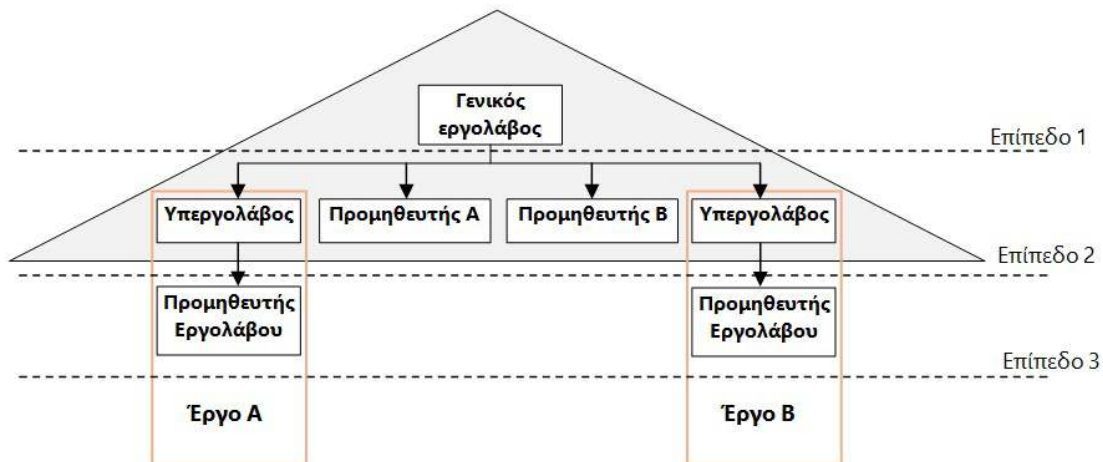
Η βελτιστοποίηση στον κατασκευαστικό κλάδο με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, βασίζεται άμεσα σε εφαρμογές της παραγωγικής εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς εκεί η έρευνα είναι εκτενέστερη. Για το σκοπό της εργασίας, κρίθηκε σκόπιμη η λεπτομερής παρουσίαση ενός μοντέλου βελτιστοποίησης για την κατανόηση των στόχων του μοντέλου, των περιορισμών και των μεταβλητών στην κατασκευαστική βιομηχανία. Το συγκεκριμένο μοντέλο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας καταχωρήθηκε από τους Xue, Sun, Wang και Shen (Xue, Sun, Wang, & Shen, 2007) με σκοπό τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού σε ένα κατασκευαστικό έργο με

πολλαπλούς εταίρους. Στην κατασκευαστική βιομηχανία, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στη διαχείριση της αλυσίδας, αποτελεί η σύνταξη ενός συνεργατικού προγραμματισμού του έργου, καθώς υπάρχει μεγάλο πλήθος εμπλεκόμενων με πολλά επίπεδα αποφάσεων.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς, στην εφοδιαστική αλυσίδα της κατασκευής, συμμετέχουν πολλοί συνεργάτες, όπως οι γενικοί εργολάβοι, οι υπεργολάβοι και προμηθευτές υλικών, μετατρέποντας την ως ένα πολυεπίπεδο σύστημα λήψης αποφάσεων με ιεραρχική δομή. Υιοθετώντας τη θεωρία αποσύνθεσης και συντονισμού των μεγάλης κλίμακας συστημάτων και χρησιμοποιώντας μια πολύ-στοχική προγραμματιστική θεωρία, ανέπτυξαν ένα μοντέλο δύο επιπέδων προγραμματισμού, με σκοπό την εύρεση ικανοποιητικής λύσης για κάθε εμπλεκόμενο.

Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται η παραδοχή της ύπαρξης ενός ιεραρχικού μοντέλου οργάνωσης όπως φαίνεται στο *Σχήμα 15*, με τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Η ΚΕΑ οργανώνεται σε μια "κωνοειδή" μορφή με πολλαπλά μέρη αποφάσεων συμπεριλαμβανομένων του γενικού εργολάβου, των υπεργολάβων, των σχεδιαστών (που θεωρούνται ως μιας μορφής υπεργολάβοι), των προμηθευτών.
2. Ο γενικός εργολάβος, οι υπεργολάβοι και οι προμηθευτές, λαμβάνουν αποφάσεις κατά σειρά, ειδικά κατά τη διαδικασία προγραμματισμού του έργου. Οι υπεργολάβοι και οι προμηθευτές ωστόσο, έχουν σημαντική ισχύ αποφάσεων ανεξάρτητα.
3. Οι πληροφορίες ανταλλάσσονται σε διάφορα επίπεδα εντός της αλυσίδας, ωστόσο υφίσταται προτεραιότητα από το υψηλότερο επίπεδο προς το χαμηλότερο.
4. Ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο σε συνάρτηση με το μακροπρόθεσμο ενδιαφέρον του απέναντι στους στόχους του έργου. Για παράδειγμα, ο εργολάβος συντάσσει το γενικό πλάνο του έργου και στη συνέχεια οι υπεργολάβοι και οι προμηθευτές, λαμβάνουν αποφάσεις συμμορφωμένοι με τις αποφάσεις του εργολάβου.
5. Η ΚΕΑ περιλαμβάνει το καθολικό σύστημα στόχων που αφορά για παράδειγμα την ποιότητα, το κόστος, το χρόνο, την ασφάλεια και το περιβάλλον. Οι στόχοι όλων των υπεύθυνων μερών για τις αποφάσεις, πρέπει να συντονίζονται υπό το ενιαίο σύστημα της αλυσίδας.



Σχήμα 4.14: Ιεραρχική δομή λήψης αποφάσεων στην κατασκευαστική ΕΑ, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Xue, Sun, Wang, & Shen, 2007)

Σύμφωνα με την ανάλυση της μεθοδολογίας, σε ένα πρόβλημα διεπίπεδου προγραμματισμού, κάθε μέρος που λαμβάνει μία απόφαση στοχεύει στη βελτιστοποίηση των ατομικών στόχων χωρίς να λαμβάνει υπόψη τους στόχους των υπόλοιπων εταίρων. Ωστόσο η απόφαση κάθε μέλους ξεχωριστά, επηρεάζει την αντικειμενική αξία των άλλων μερών, όπως επίσης και το γενικό χώρο αποφάσεων.

Βασιζόμενα στις αρχές του διεπίπεδου προγραμματισμού, τα μοντέλα στις εφοδιαστικές αλυσίδας αναπτύσσονται ως:

Μοντέλο P1 (ανώτερο επίπεδο)

$$\begin{aligned}
 P1: \max F &= \sum_{i=0}^N F_i(x_i, y_i) \\
 s. t. \quad &a^i \leq x^i \leq b^i \\
 &x^i \geq 0 \\
 &i = 0, 1, 2 \dots N
 \end{aligned}$$

Όπου:

F - αντικειμενική συνάρτηση της εφοδιαστικής αλυσίδας,

$F_i(x_i, y_i)$ - συνάρτηση κέρδους κάθε εμπλεκόμενου i στην αλυσίδα, με $i = 0, 1, 2 \dots N$, ($i=0$ ορίζεται για το γενικό εργολάβο)

x^i - μεταβλητή απόφασης στο υψηλότερο επίπεδο (γενικού εργολάβου), μη αρνητικός ακέραιος. Ορίζει τη μεταβλητή απόφασης του προγραμματισμού του έργου ή του σχεδιασμού της κατασκευής από τον έταίρο i , όπως είναι η διάρκεια της κατασκευής, ο χρόνος παράδοσης των υλικών κ.α.

$[a^i, b^i]$ - επιτρεπόμενο εύρος αλλαγών του προγραμματισμού της κατασκευής ή των προμηθειών

y^i - η μεταβλητή απόφασης του χαμηλότερου επιπέδου (υπεργολάβου ή προμηθευτή) και σχετίζεται με τη διάρκεια κατασκευής ή το χρόνο παράδοσης.

Μοντέλο P2 (χαμηλότερο επίπεδο)

$$\begin{aligned} P2: \max F_i(x^i, y^i) &= \pi_i(x^i, y^i) - \nu_i(x^i, y^i) \\ \text{s. t. } c^i &\leq y^i \leq d^i \\ y^i &\leq x^i \\ y^i &\geq 0 \\ i &= 0, 1, 2 \dots N \end{aligned}$$

Όπου:

$\pi_i(x^i, y^i)$ – η συνάρτηση εσόδων του εταιρίου i στην εφοδιαστική αλυσίδα

$\nu_i(x^i, y^i)$ – η συνάρτηση κόστους του εταιρίου i στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Η συνάρτηση εσόδων και η συνάρτηση κόστους είναι μη γραμμική συνάρτηση, η οποία καθορίζεται από τη μεταβλητή απόφασης του υψηλότερου επιπέδου (P1). Τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης του ιστορικού.

$[c^i, d^i]$ – το εύρος των αλλαγών της απόφασης χαμηλότερου επιπέδου ενός εταιρίου i , το οποίο καθορίζεται από τους περιορισμούς στους πόρους του καθενός.

$y^i \leq x^i$ – δηλώνει ότι η μεταβλητή απόφασης χαμηλότερου επιπέδου (διάρκεια κατασκευής ή χρόνος παράδοσης υλικού) περιορίζεται από τη μεταβλητή απόφασης ανώτερου επιπέδου.

Το συγκεκριμένο μοντέλο υιοθετεί έναν αλγόριθμο προσομοιωμένης απόκτησης για τον προγραμματισμό του υψηλότερου επιπέδου (P1) και έναν αλγόριθμο αναζήτησης σε διακριτά δεδομένα για το χαμηλότερο επίπεδο (P2), με σκοπό την επίλυση ενός διεπίπεδου προγραμματιστικού προβλήματος στην εφοδιαστική αλυσίδα κατασκευής. Η ανάλυση των συναρτήσεων παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1, όπως αποδόθηκε από τους μελετητές.

Συμπερασματικά, οι συγγραφείς αναφέρουν πως παρόλο που χρησιμοποιούνται πολλές υποθέσεις για τον καθορισμό του μοντέλου και την εφαρμογή του αλγόριθμου και επίσης το παράδειγμα επικεντρώνεται μόνο σε έναν γενικό προγραμματισμό κατασκευών, το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει παρέχει μία σημαντική πηγή αναφοράς για τον γενικό εργολάβο κατά τη διαχείριση του έργου, ειδικότερα από μια στρατηγική σκοπιά.

4.2.2.3. Μοντέλα ευφών πρακτόρων (agent-based models)

Η μοντελοποίηση βασισμένη στους πράκτορες (agent based modelling) αποτελεί μία νέα προσέγγιση στο χώρο της προσομοίωσης και της Τεχνίτης Νοημοσύνης και εφαρμόζεται σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Στην παρούσα εργασία θα γίνει αναφορά σε μοντέλα που περιέχουν λογισμικούς πράκτορες, για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας τόσο στον παραγωγικό κλάδο, όσο και στον τομέα των κατασκευών.

Για τον όρο «ευφής πράκτορας» δεν έχει δοθεί ακόμα κάποιος σαφής ορισμός και εντός της επιστημονικής κοινότητας παραθέτονται διάφορες προσεγγίσεις. Μερικοί μοντελιστές θεωρούν ως πράκτορα κάθε είδους ανεξάρτητου εργαλείου, όπως ένα λογισμικό ή ένα μοντέλο, του οποίου η συμπεριφορά μπορεί να κυμαίνεται από

βασικούς αντιδραστικούς κανόνες απόφασης μέχρι σύνθετη και προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη (Bonabeau, 2001) όπως παρατέθηκε από (Macal & North, 2006). Σε μία άλλη κατηγορία υπάρχουν οι οπαδοί που υποστηρίζουν πως για να χαρακτηριστεί ένα εργαλείο ως πράκτορας θα πρέπει να διακατέχεται από προσαρμοστικότητα, δηλαδή από την ικανότητα να μελετά το περιβάλλον του και να ανταποκρίνεται αντίστοιχα με βάση αυτή την πληροφορία.

Σύμφωνα με τους Macal και North, όσο αφορά τη μοντελοποίηση, οι πράκτορες διακρίνονται από τα εξής χαρακτηριστικά:

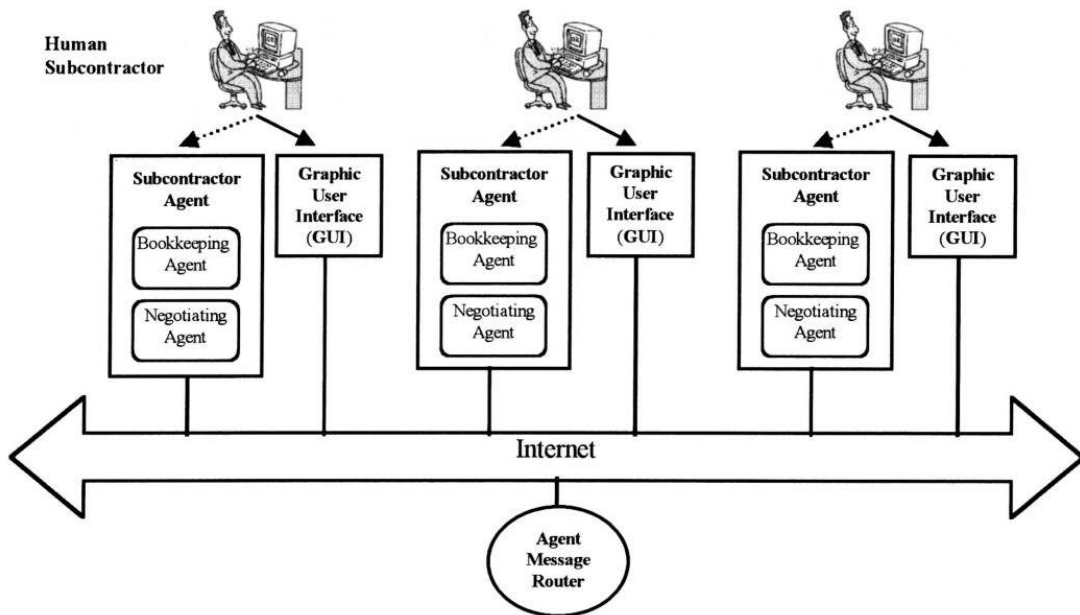
- Ένας πράκτορας είναι αναγνωρίσιμος, ένα διακριτό άτομο με ένα σύνολο χαρακτηριστικών και κανόνων που διέπουν τις συμπεριφορές του και την ικανότητα λήψης αποφάσεων. Οι πράκτορες είναι αυτόνομα όντα και χαρακτηρίζονται από διακριτότητα, δηλαδή την ικανότητα να μπορεί κανείς εύκολα να καθορίσει αν κάτι είναι μέρος ενός πράκτορα ή όχι
- Οι πράκτορες βρίσκονται, ζουν σε ένα περιβάλλον με το οποίο αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν και να διακρίνουν τα χαρακτηριστικά των άλλων μέσα από επικοινωνιακά πρωτοκολλά αλληλεπίδρασης.
- Ένα πράκτορας μπορεί να είναι προσανατολισμένος στην επίτευξη κάποιων στόχων με σεβασμό στη συμπεριφορά του. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη σύγκριση του αποτελέσματος των ενεργειών του σε σχέση με τους στόχους που έχουν τεθεί
- Ένας πράκτορας είναι αυτόνομος και αυτοκατευθυνόμενος και μπορεί να λειτουργήσει και ανεξάρτητα από το περιβάλλον του, σε περιορισμένη βάση αν οι συνθήκες το απαιτούν
- Η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα στις συμπεριφορές του περιβάλλοντος, αποτελούν χαρακτηριστικά των πρακτόρων. Η ικανότητα αυτή απαιτεί τη διαθεσιμότητα μνήμης καθώς και κανόνων που διέπουν τις ενέργειες τους.

Εξαιτίας της αυξανόμενης πολυπλοκότητας στα κατασκευαστικά έργα, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει πολλαπλούς εμπλεκόμενους ή εν δυνάμει πράκτορες, στους οποίους οι εταιρίες αναθέτουν την εκτέλεση διαφόρων εργασιών μέσω ανταλλαγής πληροφοριών (Xue, Li, Shen, & Wang, 2005). Ως αποτέλεσμα, ο συντονισμός μεταξύ των συμμετεχόντων αποτελεί ζωτικής σημασίας πρόκληση για την αποδοτική διαχείριση της αλυσίδας και τη δημιουργία αξίας για τον πελάτη. Αυτές οι προκλήσεις αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά μέσα από τη δημιουργία ενός πλαισίου βασισμένου στους ευφυείς πράκτορες έχοντας την κατάλληλη δομή και αποτελεσματικούς μηχανισμούς συντονισμού ώστε να προωθήσουν την αποδοτική επικοινωνία μεταξύ όλων των μερών.

Η ανάπτυξη τέτοιου είδους μοντέλων απαιτεί αρχικά τον ορισμό πρωτόκολλων συμπεριφοράς για τους πράκτορες με σκοπό να καθορίζεται ο τρόπος επικοινωνίας με το περιβάλλον και με τα άλλα μέλη. Ωστόσο τέτοιου είδους κοινωνικές συμπεριφορές δεν καθορίζονται ξεκάθαρα και γι αυτό οι προσεγγίσεις γίνονται με τη χρήση

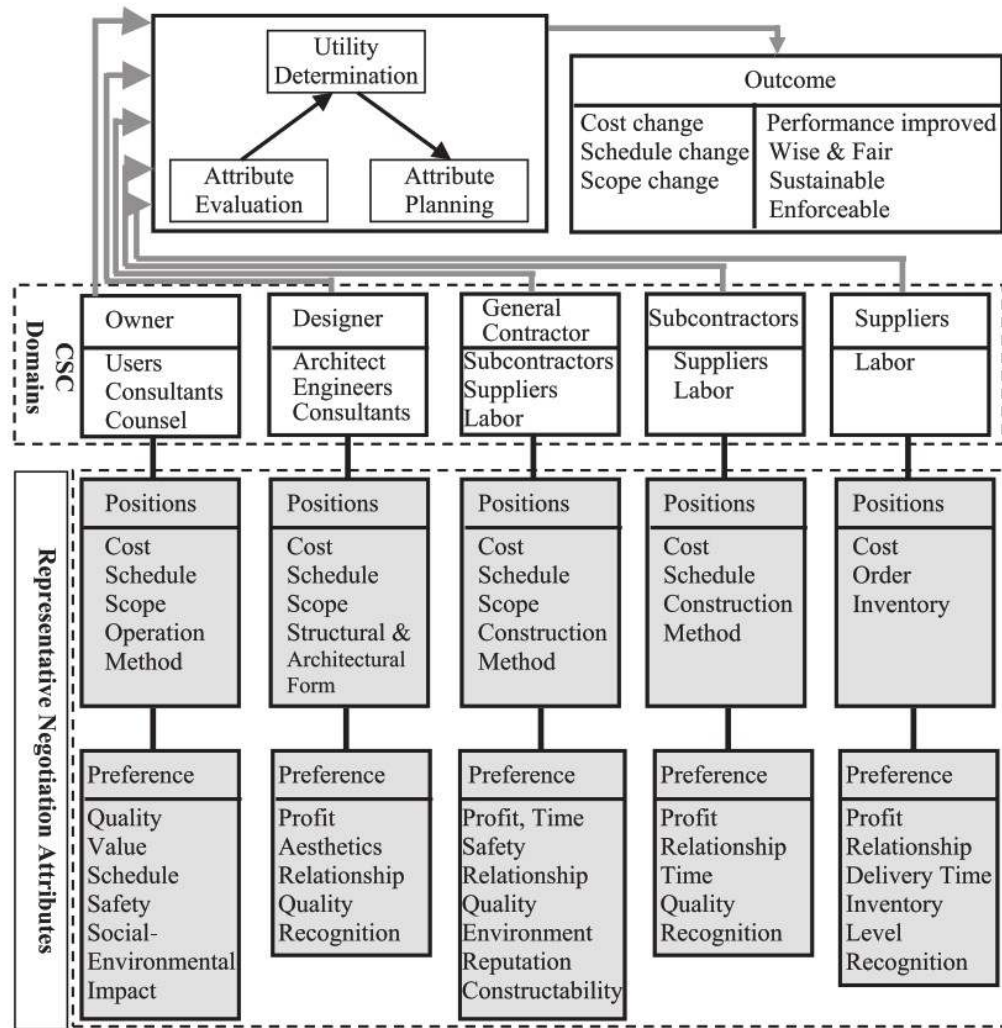
στρατηγικών μεθόδων τρόπου λήψης αποφάσεων, όπως η ανεπτυγμένη θεωρία παιγνίων ή η στρατηγική «οφθαλμών αντί οφθαλμού» (Tit-for-Tat strategy) (Macal & North, 2006).

Οι Kim και Paulson (Kim & Paulson, 2003) εφάρμοσαν μία μεθοδολογία βασισμένοι στους πράκτορες, στον κατασκευαστικό κλάδο με σκοπό την επίλυση προβλημάτων του προγράμματος του έργου εξαιτίας αλλαγών και συγκρούσεων μεταξύ των υπεργολάβων. Στην έρευνα τους παρουσιάζουν μια μεθοδολογία αντισταθμιστικής διαπραγματεύσεως βασισμένη σε πράκτορες ώστε να επαναπρογραμματίζονται δυναμικά οι εργασίες μέσα από διαπραγματεύσεις μεταξύ των υπεργολάβων. Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας σχεδίασαν και εφάρμοσαν ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (DSAS-distributed subcontractor agent system) το οποίο αποτελείται από πολυάριθμους υπεργολάβους-πράκτορες, πολλαπλές γραφικές αναπαραστάσεις για το χρήστη (GUIs) και ένα δρομολογητή μηνυμάτων για πράκτορες (AMR).



Σχήμα 4.15: Απεικόνιση του διαπραγματευτικού συστήματος πρακτόρων – υπεργολάβων, (Πηγή: Kim & Paulson, 2003)

Με την εξέλιξη του παραπάνω μοντέλου ασχολήθηκαν οι Xue, Li, Shen και Wang (Xue, Li, Shen, & Wang, 2005) παρουσιάζοντας ένα αντίστοιχο μοντέλο διαχείρισης της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, το οποίο επεκτείνει δημιουργικά το γενικό διαπραγματευτικό μοντέλο από την πλευρά της διαχείρισης και της χρήσης των εργαλείων ενσωματώνοντας πολλαπλά χαρακτηριστικά στο περιβάλλον του διαδικτύου. Το μοντέλο αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: τους εμπλεκόμενους στην εφοδιαστική αλυσίδα, την πολυκριτηριακή διαδικασία διαπραγματεύσεως και το αποτέλεσμα.



Σχήμα 4.16: Μοντέλο διαπραγμάτευσης πολλαπλών χαρακτηριστικών, (Πηγή: Xue, Li, Shen, & Wang, 2005)

Για τη δημιουργία του μοντέλου οι ερευνητές ακολούθησαν τρία βασικά βήματα: την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών, τον καθορισμό των εργαλείων και τον προγραμματισμό αυτών. Το πρωτότυπο μοντέλο αναπτύχθηκε με τη χρήση του εργαλείου ZEUS, με εξειδίκευση στη δημιουργία εφαρμογών πολλαπλών πρακτόρων.

4.3. Η σημασία της συνεργατικότητας (partnering) στην κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα

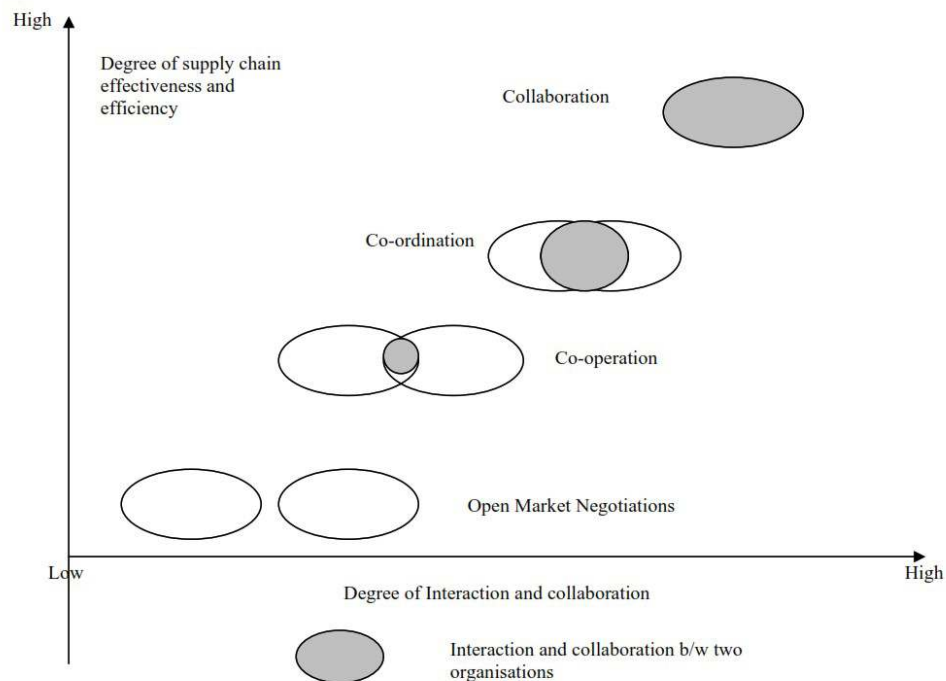
Στον κλάδο της κατασκευαστικής βιομηχανίας παρατηρείται έντονη ανταγωνιστικότητα μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών και η νοοτροπία για τη διασφάλιση των ανεξάρτητων εταιρικών συμφερόντων. Η βραχυχρόνια φύση των κατασκευαστικών έργων, σε αντίθεση με τον παραγωγικό τομέα, αποτελεί εμπόδιο στην ανάπτυξη σχέσης εμπιστοσύνης. Ωστόσο, είναι κοινά αποδεκτό και ευρέως προτεινόμενο από τους ερευνητές, η ανάπτυξη σχέσεων συνεργασίας μεταξύ των εταίρων. Οι συνεργατικές στρατηγικές μπορούν να παρέχουν ευκαιρίες για τους εταίρους για συνεχή συνεργασία σε διάφορα έργα, δημιουργώντας κέρδος για όλους, παρά να αντιμετωπίζουν τις σχέσεις ως απλές οικονομικές συναλλαγές. Σύμφωνα με τον Love (Love, Irani, Cheng, & Li, 2002), μπορούμε να διακρίνουμε δύο κατηγορίες συνεργατικότητας:

- **Μικρής διάρκειας συνεργασία:** είναι οι πιο συχνές σχέσεις που αναπτύσσονται στον κατασκευαστικό τομέα, εξαιτίας της φύσης των τεχνικών έργων. Χαρακτηρίζονται από μία στρατηγική προσανατολισμού στο ίδιο το έργο και όχι στην καθιέρωση ενός γενικότερου συνεργατικού πλαισίου με το βαθμό εμπιστοσύνης να κυμαίνεται σε μικρή κλίμακα. Σκοπός είναι η ανταλλαγή γνώσης και πληροφορίας για την αναγνώριση του περιβάλλοντος και την κατανόηση της κατασκευής. Ωστόσο, οι οργανισμοί που συνάπτουν βραχυπρόθεσμες συμμαχίες γνωρίζουν ότι οι υπόλοιποι εταίροι είναι πιθανό να αντιδράσουν ανταγωνιστικά, αποκτώντας νέα τεχνογνωσία.
- **Μακροπρόθεσμη συνεργασία:** πρόκειται για σχέσεις με μεγαλύτερη διάρκεια μεταξύ των εμπλεκόμενων, με μια λιγότερο ανταγωνιστική αίσθηση και με την πρόθεση για αφοσίωση και ανταλλαγή γνώσεων και πόρων. Στόχος της συνεργατικότητας είναι η ανάπτυξη εταιρικών και επιχειρηματικών στρατηγικών μέσα από την δημιουργία βασικών δεξιοτήτων για τη διεκπεραίωση πολλών έργων στο παρόν και στο μέλλον. Μία τέτοια συνεργασία αποφέρει λιγότερα κόστη για τους εταίρους και δημιουργεί ένα αμοιβαίο μαθησιακό περιβάλλον, συνεχώς εξελισσόμενο. Ωστόσο η επιτυχία μιας τέτοιας συνεργασίας, βασίζεται στην ικανότητα του κάθε μέρους να ενθάρρυνση τη μάθηση και την ανάπτυξη ενός κλίματος εμπιστοσύνης και ανταλλαγής χωρίς να χάνεται το ατομικό όραμα.

Η συνεργατικές σχέσεις στο κατασκευαστικό τομέα, αποτελούν ένα παράγοντα ζωτικής σημασίας για την ενσωμάτωση μεθόδων διαχείρισης της εφοδιαστικής τους αλυσίδας. Τα προτεινόμενα μοντέλα, είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά, για να λειτουργήσουν αποδοτικά, χρειάζονται άμεση και επιβεβαιωμένη πληροφορία από όλα τα μέρη και συνεργασία σε όλες τις φάσεις της κατασκευής. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα απαιτούμενα εργαλεία των manager, για την εγκαθίδρυση συνεργατικότητας (Briscoe, Dainty, & Millett, 2001):

- Γραπτές και προφορικές δεξιότητες
- Μαθηματικές και οικονομικές δεξιότητες
- Σχέσεις μεταξύ πελάτη και κατασκευαστή
- Επικοινωνία μέσω σχεδίων
- Επικοινωνία με τους προμηθευτές
- Ομαδικότητα
- Προγραμματισμός και επίλυση προβλημάτων
- Πρακτική γνώση στην κατασκευή

Στην ανάγκη ανάπτυξης συνεργατικών σχέσεων εντός της αλυσίδας, αναφέρθηκε και ο Barratt (Barratt, 2004), ο οποίος προτείνει την ανάπτυξη μιας συνεργατικής «κουλτούρας» που θα περιλαμβάνει εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών, διαφάνεια και ποιοτική ροή πληροφοριών, επικοινωνία και κατανόηση, κοινή γραμμή στις αποφάσεις, στήριξη μεταξύ των επιχειρήσεων. Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται εμφανής η σχέση μεταξύ του βαθμού αποδοτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας σε σχέση με το βαθμό συνεργατικότητας μεταξύ των μερών:



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα συσχέτισης της αποδοτικότητας με το βαθμό συνεργασίας σε μια επιχείρηση (Πηγή: Khalfan, McDermott, & Cooper, 2004)

Κεφάλαιο 5 - Εφαρμογή μοντέλου διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας σε μελέτη περίπτωσης

Για την ανάδειξη της αξίας ενσωμάτωσης μοντέλων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στον κλάδο των κατασκευών, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η εφαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου βελτιστοποίησης του κόστους διαχείρισης των υλικών. Η μελέτη εφαρμογής θα γίνει σε ένα τεχνικό έργο και συγκεκριμένα αφορά στην κατασκευή ενός πολυώροφου κτιρίου γραφείων και βασίζεται σε ένα μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού το οποίο αναπτύχθηκε από τους Jaśkowski, Sobotka και Czarnigowska (Jaśkowski, Sobotka, & Czarnigowska, Decision model for planning material supply channels in construction, 2018) (Jaśkowski, Sobotka, & Czarnigowska, 2014).

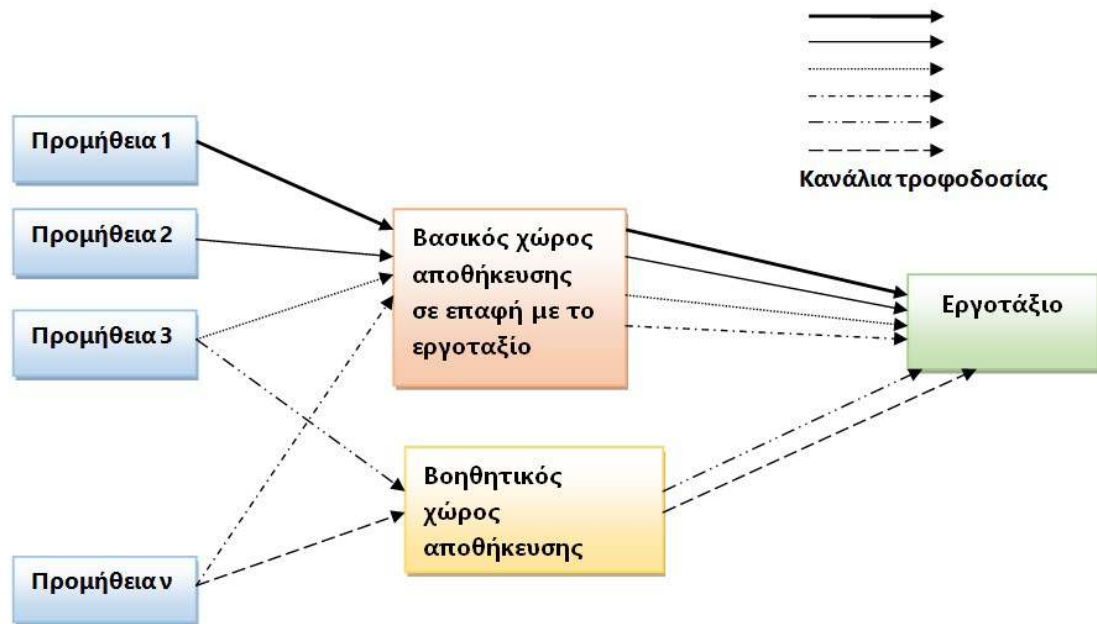
5.1. Ορισμός προβλήματος

Εξαιτίας του μεγάλου ανταγωνισμού της αγοράς και των υψηλών απαιτήσεων του πελάτη σε σχέση με το χρόνο, το κόστος και την ποιότητα παράδοσης του έργου, η πολυπλοκότητα των κατασκευαστικών έργων αυξάνεται και η απαίτηση για μια ποιοτική διαχείριση των υλικών είναι αναγκαία. Η επιλογή της ορθότερης τροφοδοσίας αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα βήματα στη διαχείριση, καθώς η φαινομενικά πιο άμεση διαδρομή δεν αποτελεί απαραίτητα και τη βέλτιστη λύση είτε οικονομικά είτε ποιοτικά.

Το πρόβλημα που εξετάζεται στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά στην επιλογή των οικονομικά κατάλληλων ποσοτήτων υλικών που πρέπει να μεταφερθούν στο εργοτάξιο μέσα από συγκεκριμένα κανάλια τροφοδοσίας. Για την επίλυση του επιλέγεται ένα μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού, ικανό να βελτιστοποιήσει τις προμήθειες υλικών που καταναλώνονται θέτοντας στο χρήστη να καθορίσει την πιο οικονομική λύση ανά χρονική περίοδο και να επιλέξει το κατάλληλο κανάλι προμήθειας για κάθε υλικό.

5.1.1. Μορφή της υπό μελέτης εφοδιαστικής αλυσίδας

Στην παρούσα εργασία η υπό μελέτη εφοδιαστική αλυσίδα του έργου διαμορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα απεικόνισης της προτεινόμενης εφοδιαστικής αλυσίδας του έργου, (Πηγή: όπως προσαρμόστηκε από Jaśkowski, Sobotka, & Czarnigowska, 2018)

Η προτεινόμενη εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει τρεις βασικούς παράγοντες οι οποίοι θα επιδράσουν άμεσα στην ανάπτυξη του μοντέλου: οι προμηθευτές, τα κανάλια τροφοδοσίας και οι χώροι αποθήκευσης των υλικών.

- Τα σημεία προμήθειας: αφορούν κάθε είδους πηγής προμήθειας πρώτων υλών ή προϊόντων, απαραίτητων για τις εργασίες του εργοταξίου. Τα προϊόντα μπορεί να είναι ακατέργαστα, ημι-επεξεργασμένα ή τελικά προς τοποθέτηση. Οι προμηθευτές αναθέτονται στην αλυσίδα από τον κύριο εργολάβο, τους υπεργολάβους ή τον πελάτη και ανταλλαγές μεταξύ αυτών δεν λαμβάνονται υπόψη.
- Αποθηκευτικοί χώροι: στη συγκεκριμένη αλυσίδα υπάρχει ο βασικός χώρος αποθήκευσης που εξυπηρετεί το εργοτάξιο στο μεγαλύτερο βαθμό καθώς και δευτερεύοντες βοηθητικοί αποθηκευτικοί χώροι για την αποδοτικότερη ροή των εργασιών. Η γεωγραφική θέση των χώρων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε εργοταξίου και δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται εντός των ορίων του έργου. Ωστόσο, αν απαιτείται μεταφορά προϊόντων εξαιτίας της απόστασης, αυτή υπολογίζεται στο τελικό κόστος και επιβαρύνει τον κατασκευαστή ή τον κύριο του έργου.
- Κανάλια τροφοδοσίας: αποτελούν τη σύνδεση μεταξύ του προμηθευτή, των υλικών και του εργοταξίου. Στο υπό μελέτη παράδειγμα, τα υλικά μεταφέρονται πρώτα στους αποθηκευτικούς χώρους και στη συνέχεια στο έργο, οπότε δημιουργείται

κόμβος στην πορεία της διαδρομής. Κάθε κανάλι τροφοδοσίας είναι μοναδικό. Ωστόσο μπορούν να δημιουργηθούν ζεύγη καναλιών R τα οποία χρησιμοποιούν την ίδια πηγή προμήθειας.

5.1.1.1. Χρηματοροές της εφοδιαστικής αλυσίδας

Εξετάζοντας το δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας, διαμορφώνονται οι χρηματοροές της στα σημεία και στο δίκτυο. Τα κόστη που προκύπτουν και θα αναλυθούν στο μοντέλο είναι:

- **Κόστος αποθήκευσης:** περιλαμβάνει το σταθερό και μεταβλητό κόστος διατήρησης της αποθήκης, το κόστος εγκατάστασης των προσωρινών χώρων αποθήκευσης, το κόστος κεφαλαίου
- **Κόστος προμηθειών:** περιλαμβάνει το κόστος τοποθέτησης της παραγγελίας, τη μεταφορά των υλικών και προϊόντων, το κόστος αγοράς του ίδιου του υλικού και το κόστος ασφάλισης. Η τιμή αγοράς των προϊόντων μπορεί να μεταβάλλεται εξαιτίας αλλαγών στην τιμολόγηση καθώς και πιθανών εκπτώσεων που μπορεί να λάβει ο κατασκευαστής.
- **Κόστος διατήρησης αποθέματος:** αφορά στο κόστος αγοράς έκτακτων προμηθειών καθώς και στο κόστος που δημιουργείται από τη διακοπή της εργασίας εξαιτίας ελλείψεων σε υλικά.

Μερικά από τα παραπάνω κόστη εξαρτώνται από την προκαθορισμένη μεταφερόμενη ποσότητα και από το πρόγραμμα παραδόσεων. Το πεδίο εφαρμογής του κόστους μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το κάθε έργο.

5.2. Ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο προτείνει την ελαχιστοποίηση του κόστους διαχείρισης του εμπορεύματος (inventory management) σε ένα κατασκευαστικό έργο. Η επίλυση του μοντέλου μπορεί να γίνει με τη χρήση ευρέως γνωστών υπολογιστικών προγραμμάτων όπως το Excel Solver, Lingo, Lp_Solver.

5.2.1. Παραδοχές προβλήματος

- Τα υλικά καταναλώνονται εντός του εργοταξίου με ένα μη ομοιόμορφο ρυθμό, ανάλογα με τον προγραμματισμό των εργασιών
- Τα πιθανά επιλέξιμα κανάλια τροφοδοσίας θα πρέπει να προσδιορίζονται εξ αρχής και διαφέρουν στον εξής χαρακτηριστικά: ποια από αυτά μπορούν να δημιουργήσουν ζεύγη καναλιών, στον τύπο των υλικών (πρώτες ύλες,

υποκατάστατα, επεξεργασμένα ή μερικός επεξεργασμένα), στην τοποθεσία και τη χωρητικότητα των αποθηκών. Ως αποτέλεσμα, τα κανάλια τροφοδοσίας χαρακτηρίζονται από διαφορετικό μεταφορικό κόστος και κόστος μετακίνησης, την τιμή του ίδιου του υλικού και το επιπρόσθετο κόστος επεξεργασίας στο εργοτάξιο.

- Αν είναι οικονομικά εφικτό, τα εμπορεύματα μπορούν να αποθηκευτούν όχι μόνο στο εργοτάξιο αλλά και σε άλλες πιθανές τοποθεσίες, ωστόσο λαμβάνοντας υπόψη το επιπρόσθετο κόστος μεταφοράς.
- Η τιμή μονάδας του προϊόντος που μεταφέρεται από ένα κανάλι τροφοδοσίας είναι προκαθορισμένη
- Οι προμήθειες μεταφέρονται σε επαρκής ποσότητες για να καλύψουν τις ανάγκες των εργασιών. Ωστόσο, για λόγους εξοικονόμησης μπορεί να αγοραστεί πλεόνασμα και να τοποθετηθεί στις αποθήκες του κατασκευαστή
- Εξαιτίας του ρίσκου στο οποίο υπόκεινται τα κατασκευαστικά έργα εξαιτίας για παράδειγμα των καιρικών συνθηκών, των επιστροφών ή της αναξιοπιστίας των εργατών, η ζήτηση στον υλικών μπορεί να μεταβάλλεται. Γι αυτό το λόγω επιτρέπεται η εξασφάλιση αποθέματος στις αποθήκες.
- Οι παραδόσεις κάθε προϊόντος από ένα κανάλι τροφοδοσίας γίνονται στην αρχή της κάθε περιόδου

5.2.2. Παράμετροι

Πίνακας 5.1 παράμετροι προβλήματος βελτιστοποίησης

Ενδογενείς παράμετροι	
T	Χρονικός ορίζοντας
n	Αριθμός των χρονικών περιόδων μέσα στο χρονικό ορίζοντα
t_i	Διάρκεια χρονικής περιόδου $i, i=1,2,\dots,n$
k_{rj}	Κόστος παράδοσης σε ένα κανάλι τροφοδοσίας $j (j=1,2,\dots,m)$
k_{tj}	Κόστος μέσου παράδοσης σε ένα κανάλι τροφοδοσίας $j (j=1,2,\dots,m)$
k_{aj}	Κόστος διαχείρισης και προετοιμασίας ενός υλικού το οποίο παραδόθηκε σε ένα κανάλι τροφοδοσίας $j (j=1,2,\dots,m)$
q_i	Προβλεπόμενη κατανάλωση υλικού για την περίοδο $i (i=1,2,\dots,n)$
R_i	Απόθεμα ασφαλείας για τη χρονική περίοδο $i (i=1,2,\dots,n)$
F_{max}¹	Διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης στο εργοτάξιο

F_{\max}^2	Διαθέσιμος χώρος αποθήκευσης στη βοηθητική αποθήκη
N_{smj}	Ρυθμός απόδοσης καθαρής επιφάνειας υλικού (μονάδες υλικού ανά μονάδα επιφάνειας) για υλικό που παραδόθηκε σε ένα κανάλι τροφοδοσίας $j(j=1,2,\dots,m)$ – για τον υπολογισμό του απαιτούμενου χώρου αποθήκευσης
a_j	Αυξητικός παράγοντας που επιτρέπει χώρο διαχείρισης των υλικών – για υλικό για υλικό που παραδόθηκε σε ένα κανάλι τροφοδοσίας $j(j=1,2,\dots,m)$ - για τον υπολογισμό του απαιτούμενου χώρου αποθήκευσης
k_s	Κόστος μονάδας παροχής εγκαταστάσεων αποθήκευσης (ανά μονάδα επιφάνειας)
M	Ένας επαρκώς μεγάλος αριθμός
Εξωγενείς παράμετροι	
m	Αριθμός καναλιών τροφοδοσίας
I	Σύνολο των διαθέσιμων καναλιών τροφοδοσίας, $I=\{1,2,\dots,m\}$
I_1	Υποσύνολο των καναλιών τροφοδοσίας τα οποία χρησιμοποιούν χώρο αποθήκευσης εντός του εργοταξίου
I_2	Υποσύνολο των καναλιών τροφοδοσίας τα οποία χρησιμοποιούν χώρο αποθήκευσης σε ενδιάμεσο χώρο εκτός του εργοταξίου
R	Αριθμός ζευγών καναλιών τροφοδοσίας – αυτά τα ζεύγη χρησιμοποιούν την ίδια προμήθεια υλικού
c_{ij}	Τιμή μονάδας υλικού που παραδόθηκε από ένα κανάλι τροφοδοσίας $j(j=1,2,\dots,m)$ μέσα σε μια περίοδο $i(i=1,2,\dots,n)$
d_{ij}	Χωρητικότητα του προμηθευτή, η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να μεταφερθεί από ένα κανάλι $j(j=1,2,\dots,m)$ μέσα σε μια χρονική περίοδο $i(i=1,2,\dots,n)$
r	Αναμενόμενος ρυθμός επιστροφών ανά μονάδα χρόνου (απλό επιτόκιο)

5.2.3. Μεταβλητές

Πίνακας 5.2 μεταβλητές προβλήματος βελτιστοποίησης

S_{ij}	Μέγεθος παρτίδας υλικού που παραδόθηκε μέσω του καναλιού τροφοδοσίας $j(j=1,2,\dots,m)$ σε μια χρονική περίοδο $i(i=1,2,\dots,n)$
V_{ij}	Απόθεμα του υλικού που παραδόθηκε μέσω του καναλιού τροφοδοσίας $j(j=1,2,\dots,m)$ στο εργοτάξιο στην αρχή της χρονικής περιόδου $i(i=1,2,\dots,n)$
F_i^1	Μεικτό μέγεθος του χώρου αποθήκευσης εντός του εργοταξίου τη χρονική

	περίοδο i ($i=1,2,\dots,n$)
F_i^2	Μεικτό μέγεθος του βοηθητικού χώρου αποθήκευσης τη χρονική περίοδο i ($i=1,2,\dots,n$)
K	Συνολικό κόστος διαχείρισης των εμπορευμάτων
K_t	Συνολική αξία των υλικών που αγοράστηκαν για το έργο
K_z	Κόστος ευκαιρίας κατακράτησης εμπορεύματος
K_s	Κόστος αποθήκευσης
K_r	Κόστος αγοράς
Δt_i	Το χρονικό διάστημα μεταξύ της πληρωμής παράδοσης και το τέλος του έργου, i ($i=1,2,\dots,n$)
x_{ij}	Δυαδική μεταβλητή της οποίας η αξία είναι 1 αν η παράδοση σε μια χρονική περίοδο i έρχεται από την εφοδιαστική αλυσίδα j (δηλαδή αν $S_{ij}>0$), και ισούται με μηδέν σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση (δηλαδή αν $S_{ij}=0$)

5.2.4. Ανάλυση αντικειμενικής συνάρτησης και συμβολισμών

Σκοπός του μοντέλου είναι να υπολογίσει το ελάχιστο κόστος διαχείρισης των εμπορευμάτων σε και εκφράζεται μέσα από την παρακάτω αντικειμενική συνάρτηση:

$$\min K: K = K_t + K_z + K_s + K_r \quad (1)$$

Όπου:

K_t – Το συνολικό κόστος των προϊόντων που αγοράστηκαν για τις ανάγκες του έργου

K_z – Το κόστος ευκαιρίας που δημιουργείται από τα επιλέξιμα αγαθά που τροφοδοτούν το έργο

K_s – Το κόστος αποθήκευσης και συντήρησης του εμπορεύματος

K_r – Το κόστος αγοράς που περιλαμβάνει το κόστος διαχείρισης των αγαθών, τα έξοδα μεταφοράς και διαχείρισης του αποθέματος

Το έργο θα εξελιχθεί σε ένα προκαθορισμένο χρονικό ορίζοντα T , διαχωρισμένο σε χρονικές περιόδους n . Η διάρκεια αυτών των περιόδων είναι διαδοχικά t_i , με $i=1,2,\dots,n$ και προσδιορίζονται από τη σχέση:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \quad (2)$$

Υφίστανται m πιθανά κανάλια τροφοδοσίας τα οποία διαφέρουν στον προμηθευτή και στο χώρο αποθήκης που θα επιλεγεί. Έτσι μέσα από το σύνολο $I = \{1, 2, \dots, m\}$ των διαθέσιμων καναλιών μπορούμε να διακρίνουμε δύο υποσύνολα:

I_1 – το σύνολο των καναλιών τροφοδοσίας τα οποία χρησιμοποιούν τη βασική αποθήκη του εργοταξίου

I_2 – Το σύνολο των καναλιών τροφοδοσίας τα οποία χρησιμοποιούν τη βοηθητική αποθήκη

Υπάρχει επίσης ένα σύνολο R από ζεύγη καναλιών τα οποία χρησιμοποιούν την ίδια πηγή-προμηθευτή

Κάθε κανάλι τροφοδοσίας χαρακτηρίζεται από τις εξής παραμέτρους:

d_{ij} – η μέγιστη ποσότητα υλικών που μπορεί να προμηθεύσει ένας πάροχος σε ένα κανάλι τροφοδοσίας j ($j=1, 2, \dots, m$) τη χρονική περίοδο i ($i = 1, 2, \dots, n$),

c_{ij} – η τιμή μονάδας ενός υλικού που μεταφέρεται από ένα κανάλι j ($j=1, 2, \dots, m$) τη χρονική περίοδο i ($i = 1, 2, \dots, n$),

k_{rj} – το κόστος μεταφοράς από ένα κανάλι j , το οποίο υποθέτουμε πως είναι ανεξάρτητο της μεταφερόμενης ποσότητας και αφορά στο κόστος προγραμματισμού της παραγγελίας

k_{ij} – η τιμή μονάδας για τη μεταφορά ενός υλικού από ένα κανάλι j , πάντα συσχετιζόμενη με την ποσότητα

k_{aj} – το κόστος διαχείρισης και επεξεργασίας ενός προϊόντος που μεταφέρεται από ένα κανάλι j και μπορεί να περιλαμβάνει τη μεταφορά του υλικού από τη βοηθητική αποθήκη στο εργοτάξιο, την επεξεργασία ή συναρμολόγηση πριν τη χρήση κτλ.

Το απόθεμα v_{ij} ενός υλικού που έχει μεταφερθεί από ένα κανάλι j στο χώρο του εργοταξίου στην αρχή της περιόδου i , μη συμπεριλαμβανομένης της παρτίδας που μόλις παραδίδεται, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με το παρακάτω μοντέλο:

$$v_{1j} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m v_{i+1,j} = \sum_{j=1}^m (s_{ij} + v_{ij}) - q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (4)$$

Όπου q_i , η προβλεπόμενη κατανάλωση ενός υλικού τη χρονική περίοδο i και καθορίζεται από το διαχειριστή του έργου και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών. Σύμφωνα με τις εξισώσεις (3) και (4), το απόθεμα μίας περιόδου ισούται με το άθροισμα των παραληφθέντων παρτίδων και το απόθεμα της προηγούμενης περιόδου, αφαιρούμενης της ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε. Όπως είναι λογικό, κατά την πρώτη περίοδο το απόθεμα είναι μηδενικό.

Όσο αφορά τη χωρητικότητα των αποθηκών για κάθε περίοδο i , αυτή υπολογίζεται σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$F_i^1 = \sum_{j \in I_1} \frac{\alpha_j}{N_{smj}} \cdot (s_{ij} + v_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$F_i^2 = \sum_{j \in I_2} \frac{\alpha_j}{N_{smj}} \cdot (s_{ij} + v_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Όπου F_i^1, F_i^2 - η χωρητικότητα της βασικής αποθήκης και της βοηθητικής αντίστοιχα, N_{smj} - ο ρυθμός απόδοσης του υλικού σε σχέση με την επιφάνεια, δηλαδή η αναλογία της ποσότητας ενός συγκεκριμένου είδους υλικού σε σχέση με την επιφάνεια που απαιτεί για αποθήκευση, και α_j - ένας αυξητικός παράγοντας ο οποίος επιτρέπει τη διαχείριση του υλικού εντός της αποθήκης.

Για ολόκληρη τη διάρκεια του έργου, η απαιτούμενη επιφάνεια για κάθε αποθήκη αρκεί να καλύπτει τη μέγιστη υπολογιζόμενη επιφάνεια που απαιτείται σε μία χρονική περίοδο, οπότε:

$$F^1 = \max_{i=1,2,\dots,n} \{F_i^1\} \quad (7)$$

$$F^2 = \max_{i=1,2,\dots,n} \{F_i^2\} \quad (8)$$

Η επιλογή των κατάλληλων καναλιών τροφοδοσίας βασίζεται στην οικονομικότερη διαχείριση του εμπορεύματος και πέραν από την ίδια την τιμή του υλικού, αφορά το κόστος ευκαιρίας, το κόστος αποθήκευσης και παραγγελίας, το κόστος μεταφοράς και μετακίνησης (handling) και το κόστος επεξεργασίας.

Το τελικό κόστος K_t των υλικών που αγοράστηκαν για την ολοκλήρωση του έργου είναι:

$$K_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \times s_{ij} \quad (9)$$

Το κόστος ευκαιρίας K_z που δημιουργείται από την εξασφάλιση αποθέματος, με την προϋπόθεση ότι ο κατασκευαστής πληρώνεται στο τέλος κάθε περιόδου, υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{cases} K_z = r \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} \times S_{ij} \times \Delta t_i \\ \Delta t_i = \sum_{k=1}^n t_k, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

Όπου: r – το απλό επιτόκιο

Το κόστος αποθήκευσης K_s αποτελείται κατά κύριο λόγο από ένα σταθερό κόστος k_s προετοιμασίας των προσωρινών αποθηκευτικών χώρων όπως το κόστος διάνοιξης χώρων κίνησης, την ανέγερση εγκαταστάσεων αποθήκευσης ή και το κόστος υπενοικίασης χώρου από τρίτους. Το κόστος έρχεται σε συνάρτηση με τον μέγιστο απαιτούμενο χώρο αποθήκευσης υλικών σύμφωνα με τη σχέση:

$$K_s = k_s \times (F^1 + F^2) \quad (11)$$

Το κόστος αγοράς του υλικού K_r αποτελεί ένα σταθερό κόστος k_{rj} , ανεξάρτητο από το μέγεθος της παρτίδας υλικού που αφορά την τοποθέτηση της παραγγελίας, τον έλεγχο του υλικού, την ασφάλεια κλπ. και από το συνολικό κόστος μεταφοράς όλων των υλικών καθώς και το κόστος επεξεργασίας. Η σχέση του κόστους K_r αποδίδεται ως:

$$K_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_{rj} \times x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (k_{tj} + k_{aj}) \times S_{ij} \quad (12)$$

Καθώς ο αριθμός των παραγγελιών είναι άγνωστος, το κόστος αγοράς εκφράζεται ως συνάρτηση μιας δυαδικής μεταβλητής x_{ij} η οποία δέχεται την τιμή 1 όταν η παράδοση σε μια περίοδο i έρχεται από ένα κανάλι τροφοδοσίας j (αν $S_{ij} > 0$), ενώ ισούται με 0 σε κάθε άλλη περίπτωση (αν $S_{ij} = 0$).

5.2.5. Περιορισμοί

Με σκοπό το μοντέλο βελτιστοποίησης να λειτουργήσει ομαλά, τίθενται οι εξής περιορισμοί:

- Τα προϊόντα προς παράδοση S_{ij} είναι μη αρνητικός αριθμός και δεν ξεπερνά τη μέγιστη διαθεσιμότητα ενός προμηθευτή για μια περίοδο i , δηλαδή:

$$0 \leq S_{ij} \leq d_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

- Σε περίπτωση καναλιών τροφοδοσίας τα οποία χρησιμοποιούν τον ίδιο προμηθευτή, η συνολική ποσότητα που μεταφέρεται από αυτά δεν μπορεί να ξεπερνά τη μέγιστη διαθεσιμότητα του προμηθευτή, δηλαδή:

$$S_{ip} + S_{ir} \leq d_{ip} = d_{ir}, i = 1, 2, \dots, n, \forall (p, r) \in R \quad (14)$$

Η συνολική μεταφερόμενη ποσότητα από όλα τα κανάλια j καθώς και το απόθεμα που έχει απομείνει στην αρχή μιας περιόδου i , έχουν ως σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες του εργοταξίου για τη δεδομένη περίοδο χωρίς να εξαντλήσουν το απόθεμα ασφαλείας R_i το οποίο εξασφαλίζει τη μείωση των ρίσκων στην εμπορευματική διαχείριση. Ουσιαστικά πρέπει:

$$\sum_{j=1}^m (S_{ij} + v_{ij}) \geq q_i + R_i, i = 1, 2, \dots, n - 1, \quad (15)$$

Καθώς το έργο πλησιάζει στο τέλος του χρονοδιαγράμματος, όλα τα αποθέματα πρέπει να έχουν καταναλωθεί ώστε κανένα υλικό να μην περισσέψει, δηλαδή:

$$\sum_{j=1}^m (S_{nj} + v_{nj}) = q_n \quad (16)$$

Η χωρητικότητα τόσο της βασικής αποθήκης όσο και της βοηθητικής δεν είναι απεριόριστη, οπότε:

$$F^1 \leq F_{max}^1, \quad (17)$$

$$F^2 \leq F_{max}^2, \quad (18)$$

Η δυαδική μεταβλητή x_{ij} εξαρτάται από έναν άγνωστο αριθμό μεταβλητών που αναπαριστούν τις παραδοτέες παρτίδες υλικών. Το μοντέλο επιτρέπει το γεγονός αυτό με τη χρήση ενός επιπρόσθετου περιορισμού που εξασφαλίζει ότι η παραπάνω υπόθεση θα εκπληρωθεί όταν η δυαδική μεταβλητή πρόκειται να ελαχιστοποιηθεί στην αντικειμενική συνάρτηση. Οπότε πρέπει:

$$S_{ij} \leq M \times x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (19)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1,2, \dots, n, j = 1,2, \dots, m \quad (20)$$

5.3. Αριθμητική εφαρμογή του μοντέλου σε μελέτη περίπτωσης

Για την απεικόνιση των πλεονεκτημάτων της εφαρμογής του μοντέλου στη διαχείριση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και για την ορθότητα της λειτουργίας του, επιλέχθηκε να γίνει εφαρμογή αυτού σε ένα σενάριο κατασκευής ενός τεχνικού έργου.

5.3.1. Παρουσίαση σεναρίου

Το σενάριο που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο μοντέλο αφορά στην κατασκευή ενός πολυώροφου κτιρίου γραφείων, καταστημάτων και άλλων εξυπηρετήσεων, 6000τμ, σε μία περιοχή ανάπτυξης εμπορικών δραστηριοτήτων, εκτός σχεδίου πόλης. Το υπό μελέτη χρονοδιάγραμμα αφορά στη φάση κατασκευής του φέροντα οργανισμού του κτιρίου καθώς και την αρχική διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου. Εξαιτίας της θέσης του έργου σε μη αστική περιοχή, ο κατασκευαστής θα παράγει το σκυρόδεμα εντός του εργοταξίου. Σύμφωνα με τη μελέτη, για την κατασκευαστική φάση που θα εξετάσουμε, απαιτούνται 2600 τόνοι τσιμέντο, 10000 τόνοι αδρανή (για την πρόσμιξη αλλά και για επιχώσεις) και 850 τόνοι χάλυβα.

Ο χρονικός ορίζοντας T της υπό μελέτης φάσης χωρίζεται σε επτά επιμέρους κατασκευαστικές φάσεις κατά τις οποίες ο εργολάβος θα προμηθεύεται τσιμέντο, αδρανή υλικά και χάλυβα από τέσσερις πηγές προμήθειας, τα οποία θα διανέμονται από πέντε κανάλια τροφοδοσίας σύμφωνα με τον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Είδη υλικού ανά κανάλι τροφοδοσίας

Κανάλι τροφοδοσίας	Είδος υλικού
a	τσιμέντο
b	αδρανή
c	αδρανή
d	χάλυβας
e	αδρανή

Το εργοτάξιο διαθέτει βασικό χώρο αποθήκευσης 2500τμ και βοηθητική αποθήκη σε απόσταση από αυτό επιφάνειας 1000τμ. Τα κανάλια τροφοδοσίας 1,2 και 4 θα

μεταφέρουν τα υλικά στην κεντρική αποθήκη ενώ τα κανάλια 3 και 5 θα χρησιμοποιούν το βοηθητικό χώρο. Επίσης τα κανάλια 2 και 5 θα χρησιμοποιούν τον ίδιο προμηθευτή.

Θεωρούμε ότι ο ρυθμός απόδοσης υλικού (την αναλογία ποσότητας υλικού ανά μονάδα επιφάνειας) ορίζεται σε $N_{smj}=3(t/m^2)$ για το τσιμέντο, $N_{smj}=3,2(t/m^2)$ για τα αδρανή και $N_{smj}=1,7(t/m^2)$ για το χάλυβα. Επίσης όλα τα υλικά έχουν τον ίδιο αυξητικό παράγοντα που επιτρέπει την επεξεργασία τους στην αποθήκη $\alpha_j=1,3$ ενώ το κόστος αποθήκευσης ορίζεται σε $k_s=1€/m^2$.

Τα υλικά συνολικά που απαιτούνται που απαιτούνται για τη διεκπεραίωση της κατασκευαστικής φάσης για ολόκληρο τον χρονικό ορίζοντα καθώς και το απόθεμα ασφαλείας, ορίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 5.4

Πίνακας 5.4 Απαιτούμενες ποσότητες και απόθεμα ασφαλείας ανα υλικό

χρονική περίοδος i	τσιμέντο		αδρανή		χάλυβας	
	qi	Ri	qi	Ri	qi	Ri
1	400	80	1900	200	150	50
2	500	50	1300	250	100	40
3	400	100	1500	100	200	60
4	300	80	2200	200	70	30
5	400	80	1600	80	130	40
6	450	90	800	150	80	30
7	200	0	700	0	100	0

Μετά από διαπραγματεύσεις με τους προμηθευτές, έχουν διαμορφωθεί τα μεγέθη που αφορούν τη μέγιστη δυνατή ποσότητα εμπορεύματος που μπορεί να προμηθευτεί από ένα κανάλι j σε μία χρονική περίοδο i, καθώς και η αντίστοιχη τιμή του υλικού, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.5 και τον Πίνακα 5.5 και

Πίνακας 5.5 Δεδομένα παραμέτρου dij

i/j	d _{ij} - μέγιστη δυνατή ποσότητα προμήθειας				
	a τσιμέντο	b αδρανή	c αδρανή	d χάλυβας	e αδρανή
1	600	1800	2500	500	0
2	800	1500	1800	350	1000
3	0	1300	900	250	700
4	500	800	500	0	1000
5	700	0	600	200	600
6	800	1200	800	200	1100
7	400	500	700	300	0

Πίνακας 5.6 Δεδομένα παραμέτρου C_{ij}

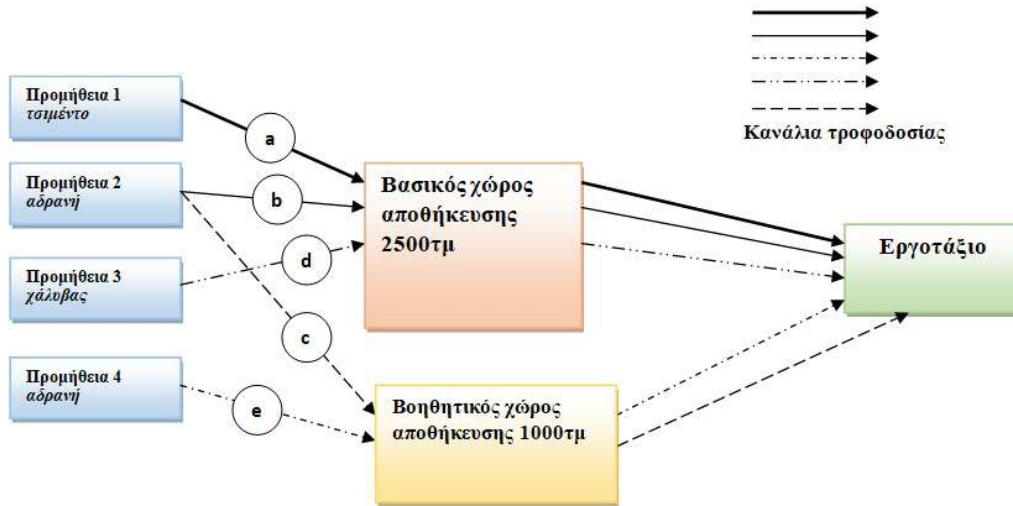
i/j	C _{ij} - κόστος υλικού (€/t)				
	a τσιμέντο	b αδρανή	c αδρανή	d χάλυβας	e αδρανή
1	100	30	25	700	0
2	90	35	35	650	30
3	0	25	20	690	25
4	95	35	30	0	25
5	105	0	30	720	30
6	90	35	25	680	30
7	95	30	30	630	0

Το απλό επιτόκιο για τον υπολογισμό του κόστους ευκαιρίας καθορίζεται σε $r=5\%$ και αντιπροσωπεύει την περίοδο που συντάσσεται η παρούσα εργασία, για οικοδομικά έργα στον ελληνικό χώρο. Το κόστος παραγγελίας, κόστος μεταφοράς και κόστος επεξεργασίας υλικού για κάθε κανάλι j , καθορίζονται προσεγγιστικά σύμφωνα με τον Πίνακα 5.7

Πίνακας 5.7 επιπρόσθετα κόστη ανά κανάλι τροφοδοσίας

	a τσιμέντο	b αδρανή	c αδρανή	d χάλυβας	e αδρανή
k_{ij} (€/delivery)	15	10	10	12	10
k_{ij} (€/t)	2	1.2	1.2	1	1.1
k_{aj} (€/t)	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2

Το θεωρητικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 5.2 αφορά στη βέλτιστη επιλογή καναλιών τροφοδοσίας όταν διαχειριζόμαστε ένα είδος υλικού. Ωστόσο στη μελέτη εφαρμογής επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν τρία διαφορετικά υλικά, τα οποία θα χρησιμοποιούν ταυτόχρονα τις αποθήκες. Η προσέγγιση αυτή δεν αλλοιώνει την ουσία του αλγόριθμου αλλά ουσιαστικά εξελίσσει το μοντέλο ως προς το υπολογιστικό μέρος.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα τηςεφοδιαστικής αλυσίδας της εξεταζόμενης περίπτωσης

5.3.2. Επίλυση σεναρίου

Για την εφαρμογή του μοντέλου και την απόδειξη της ορθότητας του, επιλέχθηκε η χρήση του προγράμματος Ms Excel σε συνδυασμό με το πρόσθετο λογισμικό Analytic Solver της εταιρίας Frontline. Παρόλο που το βασικό πρόγραμμα διαθέτει ενσωματωμένο πρόσθετο για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, κρίθηκε προτιμότερη η χρήση μιας πιο ανεπτυγμένης και ισχυρής λύσης, όπως αυτή που παρέχεται από την εταιρία Frontline. Το συγκεκριμένο πρόσθετο παρέχει τη δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων με μεγάλο όριο σε μεταβλητές και περιορισμούς όπως επίσης δίνει τη δυνατότητα για επίλυση LP, GRG, SQP κλπ μοντέλων βελτιστοποίησης. Για την επίλυση προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού, υπάρχουν διάφορα διαθέσιμα λογισμικά, όπως το Lingo, MatLab κ.α., ωστόσο με μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη χρήση και χωρίς να κρίνεται απαραίτητο για την έρευνα της παρούσας εργασίας.

5.3.2.1. προετοιμασία φύλλου εργασίας και καταχώρηση τιμών

Αρχικά, γίνεται η προετοιμασία για την εισαγωγή των δεδομένων σε ένα φύλλο εργασίας του Ms Excel. Σε πρώτο βήμα, καταχωρούνται σε σταθερά κελιά οι τιμές των ενδογενών και εξωγενών παραμέτρων του προβλήματος, όπως ορίστηκαν στο υποκεφάλαιο 5.3.1. Οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν τις τιμές των υλικών c_{ij} και τη μέγιστη διαθεσιμότητα των προμηθευτών d_{ij} , είναι ίσες με το γινόμενο των δεικτών τους και καταχωρήθηκαν με τη μορφή πίνακα για τη διευκόλυνση των μετέπειτα υπολογισμών.

Στη συνέχεια γίνεται η εισαγωγή των μεταβλητών σύμφωνα με τους δείκτες τους καθώς και της δυαδικής μεταβλητής x_{ij} . Για τον υπολογισμό των σύνθετων μεταβλητών K_t , K_r , K_s και K_q καθώς και για την εισαγωγή των περιορισμών, χρειάστηκε να γίνουν βοηθητικοί πίνακες υπολογισμού αθροισμάτων, γινομένων και ανισοτήτων.

Τέλος, σε ένα κελί υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση για την ελαχιστοποίηση του κόστους, προσθέτοντας αντίστοιχα τα κελία στα οποία υπολογίζονται οι επιμέρους μεταβλητές. Όλες οι καταχωρήσεις παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 2

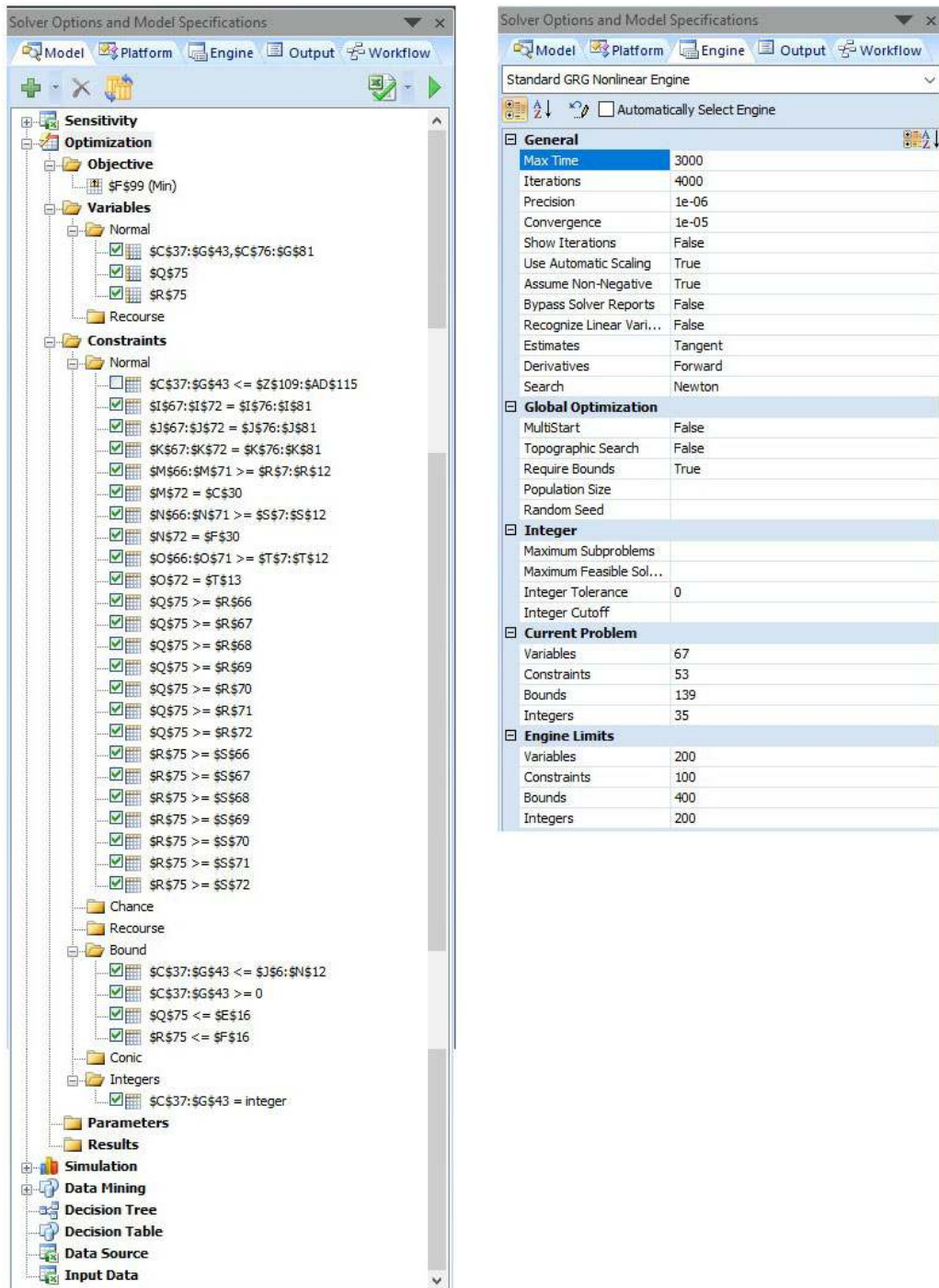
Μετά την εγκατάσταση του πρόσθετου προγράμματος στο Ms Excel, εμφανίζεται μία καρτέλα στη γραμμή εργασιών με την ονομασία *Analytic Solver*. Επιλέγοντας την εντολή *Model*, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο στο οποίο μπορούμε να καταχωρήσουμε τις μεταβλητές, την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς, όπως παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 5.2 καθώς και να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο βελτιστοποίησης σύμφωνα με το πρόβλημα



Εικόνα 1: Γραμμή εντολής του πρόσθετου προγράμματος *Analytic Solver*

Έχοντας ήδη προετοιμάσει τα δεδομένα, εισάγουμε τα αντίστοιχα κελία στις κατηγορίες του πρόσθετου προγράμματος, καθώς και την αντικειμενική συνάρτηση, επιλέγοντας από την αριστερή στήλη το κατάλληλο πεδίο και πατώντας *Add*

Πατώντας την επιλογή *Engine* στη δεξιά πλευρά του παραθύρου, εμφανίζεται μία νέα καρτέλα με επιπρόσθετες επιλογές υπολογισμού στην οποία ορίσαμε την υπολογιστική μηχανή του προβλήματος, το μέγιστο χρόνο επίλυσης (Max Time), τον αριθμό των επαναλήψεων (Iterations) και τη χρήση μη αρνητικών αριθμών (Assume Non Negative → true). Επίσης στην ίδια καρτέλα παρουσιάζεται συνολικά ο αριθμός των μεταβλητών και περιορισμών του προβλήματός μας καθώς και ο μέγιστος αριθμός που μπορεί να διαχειριστεί το πρόγραμμα βελτιστοποίησης




Εικόνα 2: Καταχώρηση δεδομένων και προετοιμασία μηχανής βελτιστοποίησης

Έχοντας ορίσει τις τιμές του προβλήματος, στην καρτέλα Model, επιλέγουμε το πράσινο βελάκι για να προχωρήσουμε στη λύση. Αν το μοντέλο έχει καταλήξει στο βέλτιστο αποτέλεσμα, χωρίς σφάλματα, τότε εμφανίζεται στην οθόνη το παράθυρο

επιβεβαίωσης όπως επίσης έχει καταχωρηθεί αυτόματα η τιμή για την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής μας συνάρτησης καθώς και οι τιμές των μεταβλητών.

Guided Mode ×



Solver Result:
[Solver has converged to the current solution. All constraints are satisfied.](#) (Click for detailed Help.)

What this means:
The Solver has found a series of "best" solutions that satisfy the constraints, and that have very similar objective function values; however, no single solution strictly satisfies the Solver's test for optimality. The objective function value is changing very slowly for the last few iterations or trial solutions.

Recommendation:
A *poorly scaled* model is more likely to trigger this stopping condition, even if Use Automatic Scaling is set to True. So it pays to design your model to be reasonably well scaled in the first place -- the typical values of the objective and constraints should not differ from each other, or from the decision variable values, by more than three or four orders of magnitude.

If you are getting this message, you can change the setting for the Convergence to a smaller value; but you should also consider why it is that the objective function is changing so slowly. Perhaps you can add constraints or use different starting values for the variables, so that the Solver does not get "trapped" in a region of slow improvement.

When you're not using Guided Mode, look for this message in the Task Pane Output tab.

Puzzled?
Ask Tech Support with Live Chat or Email Reply.
Live Chat Mon-Fri 6:00am to 5:00pm Pacific time (GMT-8).

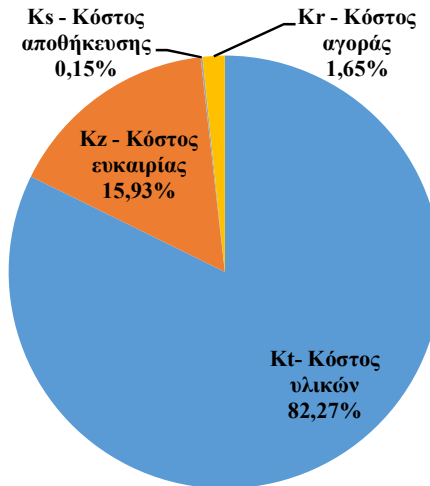
Ask Tech SupportOK

Εικόνα 3: παράθυρο επιβεβαίωσης εύρεσης λύσης

5.3.3. Αποτελέσματα

Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου σε συνεχείς επαναλήψεις, καθώς και την επιβεβαίωση της εγκυρότητας του μέσα από την εισαγωγή διαφόρων τιμών, για τη μελέτη περίπτωσης που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 5.3.1, το πρόγραμμα ελαχιστοποίησε τη συνάρτηση κόστους επιλέγοντας τις ποσότητες και τα κανάλια τροφοδοσίας σύμφωνα με τον Πίνακα 8.

Ο αλγόριθμος ελαχιστοποίησε το κόστος διαχείρισης υλικών για τις προβλεπόμενες ποσότητες της υπό μελέτης κατασκευαστικής φάση του έργου καταλήγοντας σε μία συνολική κοστολόγηση της τάξεως των $K=1.299.777,00\text{€}$ εκ των οποίων το μεγαλύτερο μέρος διατίθεται για την αγορά των υλικών ($K_f=1.069.423,00\text{€}$) έπειτα για το κόστος ευκαιρίας ($K_z = 206.980,00\text{€}$) και τέλος για το κόστος αγοράς ($K_r = 21.400,10\text{€}$) και το κόστος αποθήκευσης ($K_s = 1.973,98\text{€}$)



Σχήμα 5.3: Ποσοστιαίο διάγραμμα κατανομής κόστους

Πίνακας 5.8 Παραγγελία παρτίδας υλικού ανά κανάλι και ανά χρονική περίοδο

i/j	a τσιμέντο	b αδρανή	c αδρανή	d χάλυβας	e αδρανή
1	600	0	2461	200	0
2	800	0	0	350	989
3	0	1300	900	0	700
4	500	0	30	0	1000
5	180	0	600	140	600
6	570	0	800	70	70
7	0	0	550	70	0

Ο απαιτούμενος χώρος χρήσης της βασικής αποθήκης καθορίζεται σε 974,00τμ ενώ φαίνεται πως αξιοποιείται συνολικά το μέγεθος της βοηθητικής αποθήκης των 1.000τμ. Όσο αφορά την κατανομή των αγορών στα διαθέσιμα κανάλια κάθε χρονική περίοδο:

- Για την προμήθεια του τσιμέντου γίνεται εκμετάλλευση της συνολικής διαθεσιμότητας στις πρώτες περιόδους ενώ προς το τέλος του έργου γίνεται το μικρότερο μέρος της αγοράς
- Για τα αδρανή, για τα οποία ο αλγόριθμος έχει και τη μεγαλύτερη σημασία καθώς χρησιμοποιούν περισσότερα κανάλια τροφοδοσίας, φαίνεται πως και σε αυτή την περίπτωση το μεγαλύτερο μέρος της ποσότητας προμηθεύεται κατά τις πρώτες περιόδους από τα κανάλια c και e, ενώ από το κανάλι b γίνεται μόνο μία προμήθεια κατά την 3^η χρονική περίοδο εκμεταλλεόμενη τη συνολική διαθεσιμότητα

- Ο χάλυβας προμηθεύεται επίσης κατά τα αρχικά στάδια ωστόσο η κατανομή ανά περίοδο είναι πιο ομαλή σε σχέση με τα άλλα δύο υλικά και μόνο στη 2^η περίοδο επιλέγεται να γίνει χρήση της συνολικής διαθεσιμότητας του προμηθευτή.

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και την ανάλυση των βασικών εννοιών διαπιστώθηκε ότι η εφοδιαστική αλυσίδα αναδύεται στον κατασκευαστικό κλάδο ως μία ταχέως αναπτυσσόμενη πρακτική. Η κατασκευαστική βιομηχανία διακατέχεται από μεγάλη πολυπλοκότητα, αυξημένες απαιτήσεις και ολοένα και περισσότερους εμπλεκόμενους στο δίκτυο που συντελείται για την αποπεράτωση ενός έργου.

Στα αρχικά στάδια έρευνας της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, αυτή αντιμετωπιζόταν μονοδιάστατα ως ένα εργαλείο διαχείρισης μεμονωμένων ενεργειών κυρίως για τη διαχείριση υλικών και προμηθειών ή την οργάνωση των logistics. Ωστόσο, ο όρος διαχείριση της κατασκευαστικής αλυσίδας πλέον ξεπερνά αυτά τα στενά όρια και εστιάζει τόσο στην οργάνωση της κατασκευαστικής διαδικασίας όσο και στη στρατηγική ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ των συμμετεχόντων. Η συνεργατικότητα είναι μία έννοια που εισάγεται τα τελευταία χρόνια στην κατασκευή και αποτελεί, για πολλούς ερευνητές, το συνδετικό κρίκο που θα βελτιώσει την αποδοτικότητα σε ένα έργο.

Η κατασκευαστική εφοδιαστική αλυσίδα αποδίδεται ως ένα μεταλασσομένο δίκτυο ενεργειών και σχέσεων και εξαιτίας της εύθραυστης φύσης της είναι ευάλωτη από πολλούς ενδογενείς αλλά και εξωγενείς παράγοντες. Λαμβάνοντας υπόψη την εμπειρία του παραγωγικού κλάδου, μπορούμε να ενσωματώσουμε πολλές τεχνικές διαχείρισης είτε με τη μορφή στρατηγικών οργάνωσης είτε ως ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης.

Η παρούσα εργασία εξετάζει αυτήν την προσέγγιση, αναλύοντας θεωρητικά μοντέλα διαχείρισης αλλά και ποσοτικά μοντέλα βελτιστοποίησης και προσομοίωσης, που έχουν εφαρμοστεί στα τεχνικά έργα. Μέσα από την ανάλυση γίνεται ξεκάθαρα αντιληπτό πως ένα στρατηγικό πλάνο διαχείρισης αποσκοπεί σε μια πιο ολιστική προσέγγιση οργάνωσης του έργου. Εργαλεία όπως η μέθοδος SCOR ή η λιτή διαχείριση προσανατολίζονται στη δημιουργία ενός εννοιολογικό πλαισίου και στην ενσωμάτωση των κατάλληλων πρακτικών για μια αποδοτική διαχείριση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας, γεγονός το οποίο δίνει ξεκάθαρες κατευθύνσεις στον διαχειριστή και ορίζει μία ξεκάθαρη πορεία για την εταιρία.

Από την άλλη πλευρά, τα ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης, εστιάζουν στην άμεση αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων όπως η μείωση του κόστους, η αποτελεσματικότερη διαχείριση των υλικών, η οργάνωση του εργοταξίου, η βελτίωση του χρονοδιαγράμματος, φέρνοντας σε πολλές περιπτώσεις ουσιαστικά αποτελέσματα για το διαχειριστή του έργου, τον κατασκευαστή και τον πελάτη. Όπως έγινε αντιληπτό και από τη μελέτη εφαρμογής που εξετάσαμε, τα συγκεκριμένα μαθηματικά μοντέλα προσφέρουν σε έναν ικανοποιητικό βαθμό προσαρμοστικότητα ανάλογα με το έργο ωστόσο εστιάζουν σε μεμονωμένα στάδια της αλυσίδας και είναι σχεδόν αδύνατο να συμπεριλάβουν παραμέτρους και μεταβλητές που αφορούν ολόκληρο το έργο.

Τελικά, πρέπει να εστιάσουμε στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τη δραστηριότητα ενός τεχνικού έργου. Παρόλο που η διαχείριση του έργου επικεντρώνεται στην αποτελεσματική διαχείριση του κόστους, του χρόνου και της ποιότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν οδηγούμαστε σε θεμιτά αποτελέσματα σε μια συνολική προσέγγιση. Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στον κλάδο των κατασκευών θα πρέπει μεταφέρει το επίκεντρο της βαρύτητας από το ίδιο το έργο στην ανάπτυξη μακροπρόθεσμων στρατηγικών σε συνδυασμό με την εφαρμογή εργαλείων βελτιστοποίησης αλλά και αξιολόγησης.

Το παράδειγμα μοντέλου βελτιστοποίησης που παρατέθηκε στο Κεφάλαιο 5, παρόλο που βασίστηκε σε υφιστάμενο μοντέλο, εξελίχθηκε ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του νέου έργου. Μέσα από την εφαρμογή έγινε κατανοητό ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος διαχείρισης υλικών και πως αυτό μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Παρόλο που η εφαρμογή αφορά την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, μέσα από μία γενικότερη ανάλυση, προκύπτει πως το κόστος αυτό εξαρτάται άμεσα από το κόστος αγοράς των ίδιων των υλικών από τον προμηθευτή. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη σχέσεων εμπιστοσύνης και συνεργασίας θα μπορούσε να συντελέσει στην σύναψη μιας πιο προσοδοφόρας προσφοράς και τελικά σε μεγαλύτερη μείωση του συνολικού κόστους.

Η μελλοντική έρευνα για την αποδοτική διαχείριση της κατασκευαστικής εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει να στραφεί σε μια πολύ-επίπεδη προσέγγιση, ενσωματώνοντας ζητήματα διαχείρισης των σχέσεων καθώς και ζητήματα στρατηγικών αποφάσεων. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης της αλυσίδας θα πρέπει να περιλαμβάνει μία συνολική στρατηγική που θα συνοδεύει σε επόμενο βήμα επιμέρους ενέργειες που εξετάζονται ποσοτικά. Τα ποσοτικά μοντέλα διαχείρισης είναι σκόπιμο να υποστηρίζονται από ένα ορισμένο θεωρητικό πλαίσιο, το οποίο θα εφαρμόζεται σε όλα τα στάδια της αλυσίδας.

Βιβλιογραφία

- Ahmadian, F., Akbarnezhad, T., Rashidi, H., & Waller, S. (2014). Importance of Planning for the Transport Stage in Procurement of Construction Materials. *The 31st International Symposium of Automation and Robotics in Construction and Mining School of Civil and Environmental Engineering*. Australia: University of New South Wales.
- Baldwin, A., & Bordoli, D. (2014). *Handbook for Construction Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons.
- Barratt, M. (2004). Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal* , 9 (1).
- Blanchard, D. (2010). *Supply Chain Management - Best Practices* (2 εκδ.). Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Boateng, A. (2019). Supply chain management and lean concept in construction: a case of Ghanaian building construction industry. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal* , 11 (1), 2035-2043.
- Bonabeau, E. (2001). Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. *National Academy of Sciences*, 99, σσ. 7280-7287.
- Briscoe, G., Dainty, A. R., & Millett, S. (2001). Construction supply chain partnerships: skills, knowledge and attitudinal requirements. *European Journal of Purchasing & Supply Management* , 7, 243-255.
- Broft, R. D. (2020). Lean Supply Chain Management in Construction: Implementation at the ‘Lower Tiers’ of the Construction Supply Chain. Στο S. Pryke (Επιμ.), *Successful Construction Supply Chain Management: Concepts and Case Studies* (2 εκδ.). John Wiley & Sons Ltd.
- Butković, L. L., Grilec, A., & Mikulic, J. (2016). Supply Chain Management in the Construction Industry – A Literature Review. *4th International OFEL Conference on Governance, Management and Entrepreneurship*. Dubrovnik, Croatia.
- Chan, F., & Chung, S. (2004). Multi-criteria genetic optimization for distribution network problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 24, σσ. 517-532.
- Chang, Y., & Makatsoris, H. (2001, June). Supply Chain Modeling Using Simulation. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology* , 2.
- Cheng, J. C., Law, K. H., Bjornsson, H., Jones, A., & Sriram, R. D. (2010, Νοέμβριος). Modeling and monitoring of construction supply chains. *Advanced Engineering Informatics* , 24 (4), σσ. 435-455.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management* (4η εκδ.). Great Britain: Pearson Education Limited.

Diekmann, J., Krewedl, M., Balonick, J., Stewart, T., & Won, S. (2004). *Application of lean manufacturing principles to construction*. University of Texas, Constuction Industry Institute, Austin, Texas.

Gor, D., & Pitroda, J. (2018, Μάιος). The Impact of Supply Chain Management Practice on Construction Project Performance in the Central Gujarat. *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science* , 4 (5).

Heredia, B., & Serpell, A. (2004). Supply chain management in construction: diagnosis and application issues. *International Symposium on Globalisation and Construction*. Publication code: 978-974-8208-56-5974-8208-56-7.

Hong-Minh, S., Barker, R., & Naim, M. (1999). Construction supply chain trend analysis. *Seventh Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Berkeley.

Houé, T., & Murphy, E. (2017). A Study of Logistics Networks: The Value of a Qualitative Approach. *European Management Review* , 14, 3-18.

Jaśkowski, P., Sobotka, A., & Czarnigowska, A. (2018). Decision model for planning material supply channels in construction. *Automation in Construction* , 90, σσ. 235-242.

Jaśkowski, P., Sobotka, A., & Czarnigowska, A. (2014). Selecting material supply channels for construction projects: a decision model. *International Scientific Conference People, Buildings and Environment*, (σσ. 112-122). Kroměříž, Czech Republic.

Kain, M., & Verma, A. (2017). Logistics Management in Supply Chain - An Overview. *7th International Conference of Materials Processing and Characterization*.

Kasim, N., Anumba, C., & Dainty, A. (2005). Improving materials management practices on fast-track construction projects. *21st Annual ARCOM Conference*. 2, σσ. 793-802. Association of Researchers in Construction Management.

Khalfan, M. M., McDermott, P., & Asad, S. (2005). Supply Chain Integration within construction: related theories and concepts. *2nd International SCRI Symposium*.

Khalfan, M., McDermott, P., & Cooper, R. (2004). Integrating the supply chain within construction industry. *20th Annual ARCOM Conference*, 2, σσ. 897-904. Edinburgh.

Kim, K., & Paulson, B. (2003). An agent-based compensatory negotiation methodology to facilitate distributed coordination of project schedual changes. *Journal of Computing in Civil Engineering* , 17 (1), σσ. 10-18.

Kotler, P., & Keller, K. L. (2005). *Marketing Management* (12 εκδ.). Prentice Hall.

Koutsokosta, A., & Katsavounis, S. (2015). Review of the Model-Based Supply Chain Management Research in the Construction Industry. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering* , 9 (7).

Kouvelis, P., Chambers, C., & Wang, H. (2006). Supply Chain Management Research and Production and Operations Management: Review, Trends, and Opportunities. *Production and Operations Management* , 15, σσ. 449-469.

Lambert, D. M. (2014). *Supply chain management: Processes, partnerships, performance* (4 εκδ.). Ponte Vedra Beach: FL: Supply Chain Management Institute.

Lambert, D. M., & Enz, M. G. (2017, Ιανουάριος). Issues in Supply Chain Management: Progress and potential. *Industrial Marketing Management* , 62.

Lambert, D., & Cooper, M. C. (2000, Ιανουάριος). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management* , 29 (1).

Larson, P. D., & Halldorsson, A. (2004, Μάρτιος). Logistics Versus Supply Chain Management: An International Survey. *International Journal of Logistics: Research and Applications* , 7 (1).

Le, P. L., Elmughrabi, W., Dao, T.-M., & Chaabane, A. (2018, Οκτώβριος). Present focuses and future directions of decision-making in construction supply chain management: a systematic review. *International Journal of Construction Management* .

Lee, W. J., Kwon, S. W., Choi, C., Song, J. H., Chin, S., & Kim, Y. S. (June 2008). A gate sensor for construction logistics. *25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.

Liu, Q., Xu, J., & Qin, F. (2017). Optimization for the Integrated Operations in an Uncertain Construction Supply Chain. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT* , 64 (3).

Love, P. E., Irani, Z., & Edwards, D. J. (2004, Φεβρουάριος). A seamless supply chain management model for construction. *Supply Chain Management* , 9 (1), σσ. 43-56.

Love, P. E., Irani, Z., Cheng, E., & Li, H. (2002). A model for supporting inter-organizational relations in the supply chain. *Engineering, Construction and Architectural Management* , 9 (1).

Macal, C. M., & North, M. J. (2006). Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation Part2: How to model with agents. *Winter Simulation Conference*, (σσ. 73-83).

Madanayake, U. H. (2015). Application of Lean Construction Principles and Practices to Enhance the Construction Performance and Flow. *4th World Construction Symposium*, (σσ. 109-126). Colombo, Sri Lanka.

Martínez-Olvera, C., & Davizon-Castillo, Y. A. (2015). Modeling the Supply Chain Management Creation of Value — A Literature Review of Relevant Concepts. Στο Η. Τοζαν (Επιμ.), *Applications of Contemporary Management Approaches in Supply Chains*. IntechOpen.

Matinrad, N., Roghanian, E., & Rasi, Z. (2013). Supply chain network optimization: A review of classification, models, solution techniques and future research . *Uncertain Supply Chain Management* , 1, 1-24.

Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., και συν. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal Of Business Logistics* , 22 (2).

Min, H., & Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & Industrial Engineering* , 43, σσ. 231-249.

Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M., & Vicens, E. (2010). Mathematical programming models for supply chain production and transport planning. *European Journal of Operational Research*, 204, 377-390.

Munir, M., Jajja, M. S., Chatha, K. A., & Farooq, S. (2020). Supply chain risk management and operational performance: The enabling role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics* (227).

Muya, M., Price, A., & Thorpe, A. (1999). Contractors' Supplier Management. *CIB W55 & W56 Joint Triennial Symposium Customer Satisfaction: A focus for research and practice*. Cape Town: Bowen, P. & Hindle, R.

Nam, C., & Tatum, C. (1988). Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology. *Construction Management and Economics*, 6 (2), 133-147.

Neeraja, B., Mehta, M., & Chandani, A. (2014). Supply Chain and Logistics For The Present Day Business. *Procedia Economics and Finance* (11), σσ. 665-675.

O'Brien, W. J., London, K., & Vrijhoef, R. (2002). Construction Supply Chain Modeling: A research review and interdisciplinary research agenda. *10th Annual Conference of IGLC*, (σσ. 129-148). Gramado, Brazil.

O'Brien, W., Formoso, C., Vrijhoef, R., & London, K. (2009). *Construction Supply Chain Management Handbook*. Boca Raton: CRC Press.

Olawale, Y., & Sun, M. (2010). Cost and time control of construction projects: Inhibiting factors and mitigating measures in practice. *Construction Management and Economics*, 28 (5), σσ. 509-526.

Özlem, K., & Tek, Ö. B. (2013). Construction supply chains: a proposal to develop a new conceptual model. *International Logistics and Supply Chain Congress*. Cappadocia & Kayseri, Turkey.

Patel, K. V., & Vyas, C. M. (2011). Construction Materials Management on Project Sites. *National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*.

Persson, F., Bengtsson, J., & Gustad, Ö. (2009). Construction Logistics Improvements Using the SCOR Model – Tornet Case. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, (σσ. 211-218). Bordeaux, France.

Polat, G., Arditi, D., & Mungen, U. (2007, January). Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (1), σσ. 29-39.

Pryke, S. (2009). *Construction Supply Chain Management, Concepts and Case Studies*. Blackwell Publishing.

Sacks, R., Esquenazi, A., & Goldin, M. (2007, Ιούλιος). LEAPCON: Simulation of Lean Construction of High-Rise Apartment Buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (7), σσ. 529-539.

Sadler, I. (2007). *Logistics and Supply Chain Integration*. SAGE Publications.

Shojaei, P., & Haeri, S. A. (2018, November). Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach. *Elsevier.com* (<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.045>).

Tennant, S., & Fernie, S. (2014). Theory to practice: A typology of supply chain management in construction. *International Journal of Construction Management* , 14 (1), σσ. 56-66.

Thierry, C., Bel, G., & Thomas, A. (2008). Simulation for Supply Chain Management. Wiley- ISTE.

Vidalakis, C., Tookey, J. E., & Sommerville, J. (2011). Logistics simulation modelling across construction supply chains. *Construction Innovation* , 11 (2), σσ. 212-228.

Vidalakis, C., Tookey, J., & Sommerville, J. (2013). Demand uncertainty in construction supply chains: a discrete event simulation study. *Journal of the Operational Research Society* , 64, σσ. 1194-1204.

Vidhate, T., & Salunkhe, A. (2018). General overview of Lean Management in Construction Industry. *International Research Journal of Engineering and Technology* , 5 (7), 1999-2004.

Vrijhoef, R., & De Ridder, H. (2007). A systems approach for developing a model of construction supply chain integration. *4th Nordic Conference on Construction Economics and Organisation*, (σσ. 3-14). Luleå, Sweden.

Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management* (6).

Vrijhoef, R., Koskela, L., & Howell, G. (2001). Understanding construction chains: an alternative interpretation. *9th Annual Conference International Group for Lean Construction*. Singapore.

Xue, X., Li, X., Shen, Q., & Wang, Y. (2005). An agent-based framework for supply chain coordination in construction. *Automation in Construction* , 14, σσ. 413-430.

Xue, X., Sun, C., Wang, Y., & Shen, Q. (2007). A Two-Level Programming Method for Collaborative Scheduling in Construction Supply Chain Management. *4th International Conference, Cooperative Design, Visualization and Engineering* (σσ. 290-297). Shanghai, China: Yuhua Luo.

Yeo, K., & Ning, J. (2002). Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC) projects. *International Journal of Project Management* (20), σσ. 253-262.

Zimmer, S. (2005). Application of Lean Manufacturing Principles to Construction. *Lean Construction Journal* , 5 (4), σσ. 5-9.

Κουτσοκόστα, Α. (2012). Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας στα τεχνικά έργα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολιτικών Μηχανικών.

Σχορετσανίτη, Ε. (2015). *Στοχαστικός και ασαφής προγραμματισμός στις εφοδιαστικές αλυσίδες*. Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολιτικών Μηχανικών.

Ιστοσελίδες

www.cscmp.org, *Ανάκτηση Απρίλιος 2020*

www.apics.org/apics-for-business/frameworks/scor, *Ανάκτηση Απρίλιος 2020*

www.solver.com, *Ανάκτηση Μάιος 2020*

Παράρτημα 1

Simulated Annealing Algorithm

Step 1. Set $x_0^i \in \Omega$. Let initial temperature $T_0 > 0$, integer $\sigma \geq 2$ and constant $\beta > 0$. Calculate $F(x_0^i, y^i)$. Given $X_0^i = x_0^i$, $x_{\max}^i = x_0^i$, $F_{\max} = F(x_0^i, y^i)$, and $k=0$.

Step 2. Get a random vector $\bar{Z}^k = (\bar{Z}_0^k, \bar{Z}_1^k, \dots, \bar{Z}_N^k)$. Let

$$\bar{Z}_i^k = \text{sgn}(U_i) \cdot T_k \cdot \left(\frac{1}{|U_i|^\sigma} - 1 \right), i=0,1,2,\dots,N \quad (1)$$

where $\text{sgn}(\cdot)$ is sign function and U_0, U_1, \dots, U_N is pair wise independence random variables on $[-1, 1]$ uniform distribution.

Step 3. Using current replicated point X_k^i and random vector Z^k get a new feeler point I^k , where $I^k = X_k^i + Z^k$. And then calculate $F(I^k)$.

Step 4. If $I^k \in \Omega$, then turn to step 5, otherwise calculate

$$I^k = X_k^i + \text{random} \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right] \cdot Z^k \quad (2)$$

until $I^k \in \Omega$, where $\text{random} \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right]$ stands for a random number on uniform distribution $\left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right]$. If $I^k \notin \Omega$ in limited replicated steps, then let $I^k = X_k^i$, and turn to step 5.

Step 5. Get a random number η on $(0, 1)$ uniform distribution. Calculate acceptance probability of feeler point I^k , i.e.

$$P_a(I^k | X_k^i, T^k) = \min \left\{ 1, \exp \left[\frac{F(X_k^i) - F(I^k)}{\beta T_k} \right] \right\} \quad (3)$$

If $\eta \leq P_a(I^k | X_k^i, T_k)$, then let $X_{k+1}^i = I^k$ and $F(x_{k+1}^i, y^i) = F(I^k)$. Otherwise let $X_{k+1}^i = X_k^i$ and $F(x_{k+1}^i, y^i) = F(x_k^i)$.

Step 6. If $F(x_{k+1}^i, y^i) > F_{\max}$, then let $X_{\max}^i = X_{k+1}^i$ and $F_{\max} = F(x_{k+1}^i, y^i)$.

Step 7. If meet the condition of ending replicating process, the algorithm is end, and X_{\max}^i is seen as the approximate global optimal solution and F_{\max} is the corresponding optimal value. Otherwise turn to step 8.

Step 8. According to the given temperature update function and get a new temperature T_{k+1} ,

$$T_{k+1} = \frac{T_0}{(k+1)^\sigma} \quad \square k=1,2,3,\dots \quad (4)$$

Let $k=k+1$. Then turn step 2.

Discrete Search Algorithm

Definition

$$D\Delta\varphi_{ij}(y^i) = \frac{\text{sgn}(\Delta\varphi_{ij}^-(y^i)) - \text{sgn}(\Delta\varphi_{ij}^+(y^i)) \text{sgn}(\Delta\varphi_{ij}^-(y^i))}{2} \cdot \Delta\varphi_{ij}^-(y^i) \\ = \begin{cases} 0, & \Delta\varphi_{ij}^+(y^i) \cdot \Delta\varphi_{ij}^-(y^i) \geq 0 \\ \Delta\varphi_{ij}^+(y^i), & \text{other} \end{cases}, \quad (5)$$

$j=1, 2$

$$D_k^i = \max \left\{ D\varphi_{ij}(y^i), j=1,2 \right\} = \left| D\varphi_{id}(y^i) \right|, d=1,2 \quad (6)$$

The steps of discrete search algorithm are presented as follows:

Step 1. Given a discretionary start point y_0^i as integer vector, where precision is constrained to $0 < \varepsilon \ll 1$. Let $k=0$.

Step 2. Calculate $D\Delta\varphi_i(y^i)$. If $\|D\Delta\varphi_i(y^i)\| \leq \varepsilon$, then turn to step 5.

Step 3. According to equation (6), calculate D_k^i .

Step 4. Calculate t_d^k with constraint $\min_{t_d^k} \varphi_i \left(y_k^i - \left\langle t_d^k \cdot \frac{D\varphi_i(y_k^i)}{D_k^i} \right\rangle \right)$. If $t_d^k \neq 0$, then

let $y_{k+1}^i = y_k^i - \left\langle t_d^k \cdot \frac{D\varphi_i(y_k^i)}{D_k^i} \right\rangle$. Otherwise calculate t_d^k with constraint $\min_{t_d^k} \varphi_i \left(y_k^i - t_d^k \cdot \text{sgn}(D\varphi_i(y_k^i)) \right) \cdot e_d^i$. Let $y_{k+1}^i = y_k^i - t_d^k \text{sgn}(D\varphi_i(y_k^i)) \cdot e_d^i$ and $k=k+1$. Then turn to step 2.

Step 5. Test the optimal property of y_k^i . If find a point y_{k+1}^i excels y_k^i , then let $k=k+1$ and turn to step 2. Otherwise y_k^i is the optimal solution, and calculate end.

Παράρτημα 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ Ks													
sum s _{ij} +v _{ij}					SUM v _{i+1,j}			SUM (S _{ij} +v _{ij})					
i/j	α ταμειο	β αδρανή	γ αδρανή	δ χάλυβας	ε αδρανή	ταμειο	αδρανή	χάλυβας	ταμειο	αδρανή	χάλυβας		
1	600	0	2461	200	0	600	2461	200	600	2461	200		
2	1000	446.205	57.3974	400	1046.4	500	250	300	1000	1550	400		
3	500	1300	900	300	950	200	561	50	500	3150	300		
4	600	1569.8	110.196	100	1000	100	1650	100	600	2680	100		
5	480	0	600	170	1080	300	480	30	480	1680	170		
6	650	80	800	110	70	80	80	40	650	950	110		
7	200	150	550	100	0	200	150	30	200	700	100		
v _{ij} - απόθεμα εμπορεύματος					SUM (S _{ij} +v _{ij})-q _i			Ks			F1	F2	
i/j	α ταμειο	β αδρανή	γ αδρανή	δ χάλυβας	ε αδρανή	200	561	50	3830	12471	1280	974.203	999.781
1	0	0	0	0	0	200	561	50					
2	200	446	57	50	57	500	250	300					
3	500	0	0	300	250	100	1650	100					
4	100	1570	80	100	0	300	480	30					
5	300	0	0	30	480	80	80	40	1973.98				
6	80	80	0	40	0	80	80	40					
7	200	150	0	30	0	200	150	30					

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΓΟΡΑΣ Kr												
(k _a +k _t)*S _{ij}					k _j *x _{ij}					SUM _{ij} k _j *x _{ij}		
i/j	α ταμειο	β αδρανή	γ αδρανή	δ χάλυβας	ε αδρανή	i/j	α ταμειο	β αδρανή	γ αδρανή	δ χάλυβας	ε αδρανή	
1	1380	0	3445.4	240	0	1	15	0	10	12	0	255
2	1840	0	0	420	1285.7	2	15	0	0	12	10	
3	0	2210	1260	0	910	3	0	10	10	0	10	
4	1150	0	42	0	1300	4	15	0	10	0	10	21145.1
5	414	0	840	168	780	5	15	0	10	12	10	
6	1311	0	1120	84	91	6	15	0	10	12	10	
7	0	0	770	84	0	7	0	0	10	12	0	21400.1

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ	
Min: Kt+Kz+Ks+Kr =	1299777

P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y		
ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ											
q _i +r _i											
ταμειο			αδρανή			χάλυβας					
480	2100	200	material 1	material 2	material 3						
550	1550	140	2650	10000	830						
500	1600	260									
380	2400	100									
480	1680	170									
540	950	110									
200	700	100									
3130	10980	1080									
x _{ij}											
1	0	1	1	1	0						
1	0	0	1	1	1						
0	1	1	0	1	1						
1	0	1	0	1	1						
1	0	1	1	1	1						
1	0	1	1	1	1						
0	1	1	1	1	0						

Παράρτημα 3

Αποτελέσματα επίλυσης αλγόριθμου

Microsoft Excel 12.0 Answer Report

Worksheet: [Model1.xlsx]Material 1

Report Created: 5/31/2020 12:43:23 PM

Result: Solver has converged to the current solution. All constraints are satisfied.

Engine: Standard GRG Nonlinear

Solution Time: 00 Seconds

Iterations: 0

Subproblems: 2

Incumbent Solutions: 1

Objective Cell (Min)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$F\$99	Min: $Kt+Kz+Ks+Kr = d$ χάλυβας	1299777.085	1299777.085

Decision Variable Cells

Cell	Name	Original Value	Final Value	Type
\$C\$37	a τσιμεντο	600	600	Normal
\$D\$37	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$37	c αδρανή	2461	2461	Normal
\$F\$37	d χάλυβας	200	200	Normal
\$G\$37	e αδρανή	0	0	Normal
\$C\$38	a τσιμεντο	800	800	Normal
\$D\$38	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$38	c αδρανή	0	0	Normal
\$F\$38	d χάλυβας	350	350	Normal
\$G\$38	e αδρανή	989	989	Normal
\$C\$39	a τσιμεντο	0	0	Normal
\$D\$39	b αδρανή	1300	1300	Normal
\$E\$39	c αδρανή	900	900	Normal
\$F\$39	d χάλυβας	0	0	Normal
\$G\$39	e αδρανή	700	700	Normal
\$C\$40	a τσιμεντο	500	500	Normal
\$D\$40	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$40	c αδρανή	30	30	Normal
\$F\$40	d χάλυβας	0	0	Normal
\$G\$40	e αδρανή	1000	1000	Normal
\$C\$41	a τσιμεντο	180	180	Normal

\$D\$41	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$41	c αδρανή	600	600	Normal
\$F\$41	d χάλυβας	140	140	Normal
\$G\$41	e αδρανή	600	600	Normal
\$C\$42	a τσιμεντο	570	570	Normal
\$D\$42	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$42	c αδρανή	800	800	Normal
\$F\$42	d χάλυβας	70	70	Normal
\$G\$42	e αδρανή	70	70	Normal
\$C\$43	a τσιμεντο	0	0	Normal
\$D\$43	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$43	c αδρανή	550	550	Normal
\$F\$43	d χάλυβας	70	70	Normal
\$G\$43	e αδρανή	0	0	Normal
\$C\$76	a τσιμεντο	200	200	Normal
\$D\$76	b αδρανή	132	132	Normal
\$E\$76	c αδρανή	228	228	Normal
\$F\$76	d χάλυβας	50	50	Normal
\$G\$76	e αδρανή	202	201	Normal
\$C\$77	a τσιμεντο	500	500	Normal
\$D\$77	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$77	c αδρανή	0	0	Normal
\$F\$77	d χάλυβας	300	300	Normal
\$G\$77	e αδρανή	250	250	Normal
\$C\$78	a τσιμεντο	100	100	Normal
\$D\$78	b αδρανή	1570	1570	Normal
\$E\$78	c αδρανή	0	0	Normal
\$F\$78	d χάλυβας	100	100	Normal
\$G\$78	e αδρανή	80	80	Normal
\$C\$79	a τσιμεντο	300	300	Normal
\$D\$79	b αδρανή	0	0	Normal
\$E\$79	c αδρανή	480	480	Normal
\$F\$79	d χάλυβας	30	30	Normal
\$G\$79	e αδρανή	0	0	Normal
\$C\$80	a τσιμέντο	80	80	Normal
\$D\$80	b αδρανή	25	25	Normal
\$E\$80	c αδρανή	27	27	Normal
\$F\$80	d χάλυβας	40	40	Normal
\$G\$80	e αδρανή	27	27	Normal
\$C\$81	a τσιμεντο	200	200	Normal
\$D\$81	b αδρανή	12	12	Normal
\$E\$81	c αδρανή	88	88	Normal
\$F\$81	d χάλυβας	30	30	Normal
\$G\$81	e αδρανή	50	50	Normal

\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	999.78125	Normal
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	974.2034311	Normal

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$M\$66	τσιμέντο	600	\$M\$66>=\$R\$7	Not Binding	120
\$M\$67	τσιμέντο	1000	\$M\$67>=\$R\$8	Not Binding	450
\$M\$68	τσιμέντο	500	\$M\$68>=\$R\$9	Binding	0
\$M\$69	τσιμέντο	600	\$M\$69>=\$R\$10	Not Binding	220
\$M\$70	τσιμέντο	480	\$M\$70>=\$R\$11	Binding	0
\$M\$71	τσιμέντο	650	\$M\$71>=\$R\$12	Not Binding	110
\$M\$72	τσιμέντο	200	\$M\$72=\$C\$30	Binding	0
\$N\$66	αδρανή	2461	\$N\$66>=\$S\$7	Not Binding	361
\$N\$67	αδρανή	1550	\$N\$67>=\$S\$8	Binding	0
\$N\$68	αδρανή	3150	\$N\$68>=\$S\$9	Not Binding	1550.000002
\$N\$69	αδρανή	2680	\$N\$69>=\$S\$10	Not Binding	280.000001
\$N\$70	αδρανή	1680	\$N\$70>=\$S\$11	Binding	0
\$N\$71	αδρανή	950	\$N\$71>=\$S\$12	Binding	0
\$N\$72	αδρανή	700	\$N\$72=\$F\$30	Binding	0
\$O\$66	χάλυβας	200	\$O\$66>=\$T\$7	Binding	0
\$O\$67	χάλυβας	400	\$O\$67>=\$T\$8	Not Binding	260
\$O\$68	χάλυβας	300	\$O\$68>=\$T\$9	Not Binding	40
\$O\$69	χάλυβας	100	\$O\$69>=\$T\$10	Binding	0
\$O\$70	χάλυβας	170	\$O\$70>=\$T\$11	Binding	0
\$O\$71	χάλυβας	110	\$O\$71>=\$T\$12	Binding	0
\$O\$72	χάλυβας	100	\$O\$72=\$T\$13	Binding	0
\$I\$67	τσιμέντο	200	\$I\$67=\$I\$76	Binding	0
\$I\$68	τσιμέντο	500	\$I\$68=\$I\$77	Binding	0
\$I\$69	τσιμέντο	100	\$I\$69=\$I\$78	Binding	0
\$I\$70	τσιμέντο	300	\$I\$70=\$I\$79	Binding	0
\$I\$71	τσιμέντο	80	\$I\$71=\$I\$80	Binding	0
\$I\$72	τσιμέντο	200	\$I\$72=\$I\$81	Binding	0
\$J\$67	αδρανή	561	\$J\$67=\$J\$76	Binding	0
\$J\$68	αδρανή	250	\$J\$68=\$J\$77	Binding	0
\$J\$69	αδρανή	1650	\$J\$69=\$J\$78	Binding	0
\$J\$70	αδρανή	480	\$J\$70=\$J\$79	Binding	0
\$J\$71	αδρανή	80	\$J\$71=\$J\$80	Binding	0

\$J\$72	αδρανή	150	\$J\$72=\$J\$81	Binding	0
\$K\$67	χάλυβας	50	\$K\$67=\$K\$76	Binding	0
\$K\$68	χάλυβας	300	\$K\$68=\$K\$77	Binding	0
\$K\$69	χάλυβας	100	\$K\$69=\$K\$78	Binding	0
\$K\$70	χάλυβας	30	\$K\$70=\$K\$79	Binding	0
\$K\$71	χάλυβας	40	\$K\$71=\$K\$80	Binding	0
\$K\$72	χάλυβας	30	\$K\$72=\$K\$81	Binding	0
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$66	Not Binding	561.2622547
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$67	Not Binding	181.496717
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$68	Binding	0
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$69	Binding	0
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$70	Not Binding	636.202936
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$71	Not Binding	598.1152646
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75>=\$R\$72	Not Binding	806.1777571
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$66	Binding	0
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$67	Not Binding	423.5847775
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$68	Not Binding	248.2187492
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$69	Not Binding	548.7640925
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$70	Not Binding	317.2817449
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$71	Not Binding	624.1476028
\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75>=\$S\$72	Not Binding	720.294669
\$C\$37	a τσιμεντο	600	\$C\$37<=\$J\$6	Binding	0
\$D\$37	b αδρανή	0	\$D\$37<=\$K\$6	Not Binding	1800
\$E\$37	c αδρανή	2461	\$E\$37<=\$L\$6	Binding	0
\$F\$37	d χάλυβας	200	\$F\$37<=\$M\$6	Not Binding	300
\$G\$37	e αδρανή	0	\$G\$37<=\$N\$6	Binding	0
\$C\$38	a τσιμεντο	800	\$C\$38<=\$J\$7	Binding	0
\$D\$38	b αδρανή	0	\$D\$38<=\$K\$7	Not Binding	1500
\$E\$38	c αδρανή	0	\$E\$38<=\$L\$7	Not Binding	1800
\$F\$38	d χάλυβας	350	\$F\$38<=\$M\$7	Binding	0
\$G\$38	e αδρανή	989	\$G\$38<=\$N\$7	Not Binding	11

\$C\$39	a τσιμεντο	0	\$C\$39<=\$J\$8	Binding	0
\$D\$39	b αδρανή	1300	\$D\$39<=\$K\$8	Binding	0
\$E\$39	c αδρανή	900	\$E\$39<=\$L\$8	Binding	0
\$F\$39	d χάλυβας	0	\$F\$39<=\$M\$8	Not Binding	250
\$G\$39	e αδρανή	700	\$G\$39<=\$N\$8	Binding	0
\$C\$40	a τσιμεντο	500	\$C\$40<=\$J\$9	Binding	0
\$D\$40	b αδρανή	0	\$D\$40<=\$K\$9	Not Binding	800
\$E\$40	c αδρανή	30	\$E\$40<=\$L\$9	Not Binding	470
\$F\$40	d χάλυβας	0	\$F\$40<=\$M\$9	Binding	0
\$G\$40	e αδρανή	1000	\$G\$40<=\$N\$9	Binding	0
\$C\$41	a τσιμεντο	180	\$C\$41<=\$J\$10	Not Binding	520
\$D\$41	b αδρανή	0	\$D\$41<=\$K\$10	Binding	0
\$E\$41	c αδρανή	600	\$E\$41<=\$L\$10	Binding	0
\$F\$41	d χάλυβας	140	\$F\$41<=\$M\$10	Not Binding	60
\$G\$41	e αδρανή	600	\$G\$41<=\$N\$10	Binding	0
\$C\$42	a τσιμεντο	570	\$C\$42<=\$J\$11	Not Binding	80
\$D\$42	b αδρανή	0	\$D\$42<=\$K\$11	Not Binding	1200
\$E\$42	c αδρανή	800	\$E\$42<=\$L\$11	Binding	0
\$F\$42	d χάλυβας	70	\$F\$42<=\$M\$11	Not Binding	110
\$G\$42	e αδρανή	70	\$G\$42<=\$N\$11	Not Binding	1030
\$C\$43	a τσιμεντο	0	\$C\$43<=\$J\$12	Not Binding	200
\$D\$43	b αδρανή	0	\$D\$43<=\$K\$12	Not Binding	500
\$E\$43	c αδρανή	550	\$E\$43<=\$L\$12	Not Binding	150
\$F\$43	d χάλυβας	70	\$F\$43<=\$M\$12	Not Binding	30
\$G\$43	e αδρανή	0	\$G\$43<=\$N\$12	Binding	0
\$C\$37	a τσιμεντο	600	\$C\$37>=0	Not Binding	120
\$D\$37	b αδρανή	0	\$D\$37>=0	Binding	0
\$E\$37	c αδρανή	2461	\$E\$37>=0	Not Binding	2161
\$F\$37	d χάλυβας	200	\$F\$37>=0	Binding	0
\$G\$37	e αδρανή	0	\$G\$37>=0	Binding	0
\$C\$38	a τσιμεντο	800	\$C\$38>=0	Binding	0
\$D\$38	b αδρανή	0	\$D\$38>=0	Binding	0

\$E\$38	c αδρανή	0	\$E\$38>=0	Binding	0
\$F\$38	d χάλυβας	350	\$F\$38>=0	Not Binding	350
\$G\$38	e αδρανή	989	\$G\$38>=0	Not Binding	989
\$C\$39	a τσιμεντο	0	\$C\$39>=0	Binding	0
\$D\$39	b αδρανή	1300	\$D\$39>=0	Not Binding	1300
\$E\$39	c αδρανή	900	\$E\$39>=0	Not Binding	900
\$F\$39	d χάλυβας	0	\$F\$39>=0	Binding	0
\$G\$39	e αδρανή	700	\$G\$39>=0	Not Binding	700
\$C\$40	a τσιμεντο	500	\$C\$40>=0	Not Binding	300
\$D\$40	b αδρανή	0	\$D\$40>=0	Binding	0
\$E\$40	c αδρανή	30	\$E\$40>=0	Not Binding	30
\$F\$40	d χάλυβας	0	\$F\$40>=0	Binding	0
\$G\$40	e αδρανή	1000	\$G\$40>=0	Not Binding	1000
\$C\$41	a τσιμεντο	180	\$C\$41>=0	Not Binding	80
\$D\$41	b αδρανή	0	\$D\$41>=0	Binding	0
\$E\$41	c αδρανή	600	\$E\$41>=0	Not Binding	600
\$F\$41	d χάλυβας	140	\$F\$41>=0	Not Binding	140
\$G\$41	e αδρανή	600	\$G\$41>=0	Not Binding	600
\$C\$42	a τσιμεντο	570	\$C\$42>=0	Not Binding	570
\$D\$42	b αδρανή	0	\$D\$42>=0	Binding	0
\$E\$42	c αδρανή	800	\$E\$42>=0	Not Binding	800
\$F\$42	d χάλυβας	70	\$F\$42>=0	Not Binding	70
\$G\$42	e αδρανή	70	\$G\$42>=0	Not Binding	70
\$C\$43	a τσιμεντο	0	\$C\$43>=0	Binding	0
\$D\$43	b αδρανή	0	\$D\$43>=0	Binding	0
\$E\$43	c αδρανή	550	\$E\$43>=0	Not Binding	550
\$F\$43	d χάλυβας	70	\$F\$43>=0	Not Binding	70
\$G\$43	e αδρανή	0	\$G\$43>=0	Binding	0
\$Q\$75	SUM (Sij+vij)-qi F1	974.2034311	\$Q\$75<=\$E\$16	Not Binding	1525.796569

\$R\$75	SUM (Sij+vij)-qi F2	999.78125	\$R\$75<=\$F\$16	Not Binding	0.21875
---------	---------------------	-----------	------------------	----------------	---------
