

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

---

**ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ  
ΛΙΜΕΝΩΝ:  
Προσομοιωτικά Μοντέλα και Αλγόριθμοι  
Βελτιστοποίησης**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΠ. ΤΣΙΤΣΑΜΗΣ, ΒΕ, MSc**

Διδακτορική Διατριβή



ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2009

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΠ. ΤΣΙΤΣΑΜΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πειραιώς  
Copyright © Δημήτριος Σπ. Τσιτσάμης, 2009. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

για την απόκτηση Διδακτορικού  
Διπλώματος του Τμήματος Πληροφορικής

**Δημητρίου Σπ. Τσιτσάμη**

ΣΤΑΘΜΟΙ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΛΙΜΕ-  
ΝΩΝ: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

*Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:*

**Επιβλέπων:**

**Χρήστος Δουληγέρης**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

**Μέλη:**

**Ελευθέριος Ιακώβου**  
Καθηγητής Αριστοτέλειου  
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

**Δημήτριος Δεσπότης**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

*Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:*

**Χρήστος Δουληγέρης**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

**Ελευθέριος Ιακώβου**  
Καθηγητής Αριστοτέλειου  
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

**Δημήτριος Δεσπότης**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

**Ευάγγελος Φούντας**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

**Ευάγγελος Σαμπράκος**  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

**Δημήτριος Βλάχος**  
Επίκουρος Καθηγητής Αριστοτέλειου  
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

**Δημήτριος Βέργαδος**  
Λέκτωρ Πανεπιστημίου Πειραιώς



*Στη μνήμη  
του Καθηγητή μου  
Παναγή Παναγιωτόπουλου*

*Στην αγαπημένη μου θεία  
Νιόβη Χρυσομαλλίδου  
που «έφυγε» τόσο απροσδόκητα*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα εμπορευματοκιβώτια εμφανίστηκαν ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς προϊόντων, στις θαλάσσιες μεταφορές, τη δεκαετία του 1960. Τα πλεονεκτήματά τους οδήγησαν στη ραγδαία εξάπλωση της χρήσης τους που, σε ορισμένα ανεπτυγμένα κράτη, πλησιάζει το 100% της θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευμάτων. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα το μετασχηματισμό των εμπορικών λιμανιών σε σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων (ΣΕΜΠΟ), με συνέπεια μια σειρά επιχειρησιακών και επιχειρηματικών προκλήσεων, οι οποίες δεν αναμένεται να πάψουν να προβάλλουν επιτακτικές, όσο τα σχετικά μεγέθη συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία.

Οι ΣΕΜΠΟ ορίζονται, επιχειρησιακά, ως οργανισμοί που προσφέρουν στα διάφορα μέσα μεταφοράς ένα σύνολο λειτουργιών και υπηρεσιών διαχείρισης, αποθήκευσης και ελέγχου εμπορευμάτων, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Εγγενώς, επομένως, εμφανίζονται με ένα βαθμό εξαιρετικής πολυπλοκότητας, με συνέπεια η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους να προβάλλει ως σταθερή συνθήκη της οποίας προσπάθειας αύξησης της ανταγωνιστικότητας τους.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο κινείται και το αντικείμενο αυτής της Διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της Διατριβής αυτής ήταν να αναδείξει τη συμβολή που μπορεί να έχει η χρήση μοντέλων προσομοίωσης και πληροφορικών αλγορίθμων στην περιγραφή και την αντιμετώπιση των εκτεταμένων αλληλεξαρτήσεων που παρουσιάζουν οι λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ, με απώτερο στόχο τη χρησιμοποίηση αυτών των εργαλείων για τη βελτιστοποίηση των τελευταίων.

Από τη Διατριβή προέκυψε μια σειρά νέων πληροφοριών σχετικά με ορισμένες λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ, αναπτύχθηκαν χρήσιμα εργαλεία μελέτης και, κυρίως, επιβεβαιώθηκε η ανάγκη μιας περισσότερο ολιστικής, θεωρητικά βασιμότερης υπό όρους επιχειρησιακής έρευνας και τεχνολογικά προηγμένης προσέγγισης των προσπαθειών αύξησης της αποδοτικότητάς τους.

## **Ευχαριστίες**

---

Επιθυμώ να εκφράσω θερμότερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα της Διατριβής μου Καθ. κ. Χ. Δουληγέρη, για την επιστημονική υποστήριξή του, καθώς και στα άλλα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, Καθ. κ. Δ. Δεσπότη και Καθ. κ. Ε. Ιακώβου. Ιδιαίτερα, η συμπαράσταση και η συστηματική παρακολούθηση της εξέλιξης της εργασίας μου από τον τελευταίο υπήρξε καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση της προσπάθειάς μου.

Ουσιαστική ήταν, επίσης, η βοήθεια του Επίκουρου Καθηγητή του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Δημήτρη Βλάχου, καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διατριβής, γι' αυτό και τον ευχαριστώ θερμά.

Ο συνάδελφος, στον Οργανισμό Λιμένα Θεσσαλονίκης, κ. Δημήτρης Μακρής ήταν αυτός που με παρότρυνε να αρχίσω τη Διατριβή μου, με βοήθησε στον καθορισμό του αντικειμένου της και, όλα αυτά τα χρόνια, είχε μαζί μου πολύωρες επιστημονικές συζητήσεις σε θέματα λειτουργίας και πολιτικών που εφαρμόζονται διεθνώς σε τερματικούς σταθμούς, οι οποίες αποδείχθηκαν εξαιρετικά χρήσιμες για την εκπόνησή της. Του οφείλω εγκάρδια αναγνώριση.

Ευχαριστίες οφείλονται και στον Οργανισμό Λιμένα Θεσσαλονίκης για τη διάθεση των στοιχείων της λειτουργίας του που χρησιμοποίησα και, πολύ περισσότερο, για την υποστήριξη που μου παρέχει, αναφορικά με την εμπειρία που έχω αποκτήσει, αλλά και για την υποστήριξη της διαρκούς επιστημονικής ενημέρωσής μου στον τομέα των τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων, που είναι και το πεδίο στο οποίο κινήθηκε η ερευνητική μου προσπάθεια.

Ευχαριστώ επίσης, τη φίλη μου Μαρία Σοφιανού, για την αδιάλειπτη και ουσιαστική υποστήριξή της σε όλη μου την προσπάθεια και για το σημαντικό χρόνο και κόπο που κατέβαλε για το σκοπό αυτό.

Ευχαριστώ τους γονείς μου και την αδελφή μου για την ηθική και πρακτική υποστήριξή τους, αλλά και για τις κατάλληλες συνθήκες που δημιούργησαν έως τώρα για να βρίσκομαι σε αυτή τη θέση.

Τέλος, ευχαριστώ το μεγάλο μου αδελφό, φίλο και σύμβουλο, Τάσο Γερμενή, για την αμέριστη, ανιδιοτελή, και ουσιαστική συμπαράστασή του.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση σταθμών εμπορευματοκιβωτίων λιμένων (ΣΕΜΠΟ) είναι ένα πολυσύνθετο πολυκριτηριακό πρόβλημα, που περιλαμβάνει κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως την ταχύτερη φόρτωση – εκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων (vessel turnaround time), τη βέλτιστη χρήση του χώρου στοιβασίας και του εξοπλισμού και την ταχύτερη παράδοση των εμπορευματοκιβωτίων στους πελάτες. Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων για το διεθνές εμπόριο, είναι εντυπωσιακό ότι το πρόβλημα αυτό έχει παραδοσιακά αντιμετωπιστεί μυωπικά εστιάζοντας κάθε φορά σε ένα κριτήριο και αγνοώντας τα υπόλοιπα.

Σε αυτή τη Διδακτορική Διατριβή, μετά από συστηματική καταγραφή της δομής και των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, παρουσιάζεται ένα νέο ιεραρχικό πλαίσιο που απεικονίζει την πολυπλοκότητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων αναγνωρίζοντας τη φυσική ιεραρχία της, τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ συγκεκριμένων διαδικασιών και τις διάφορες μορφές περιορισμών, όπως τεχνολογικοί, χωρικοί, χρονικοί, οργανωτικοί και περιορισμοί που επιβάλλονται από τους στόχους των διάφορων συνεργατών και των πελατών ενός λιμένα.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ως οδηγό το ιεραρχικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας παράδοσης - παραλαβής σε τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται από την επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού και του συστήματος μεταφοράς και στοιβασίας. Για το λόγο αυτό, το μοντέλο προσομοίωσης, αν και είναι γενικό μοντέλο, εντούτοις είναι προσαρμοσμένο στα μεγέθη και στις συνθήκες λειτουργίας των μεσαίων λιμένων της μεσογείου, τα οποία χρησιμοποιούν διασκελετικούς μεταφορείς για τη μεταφορά και στοιβασία των εμπορευματοκιβωτίων. Με τη χρήση του, εντοπίστηκαν οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση των ΣΕΜΠΟ αναγνωρίζοντας και τις αλληλεξαρτήσεις τους.

Η ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης, έχει ως απώτερο στόχο τη χρησιμοποίησή του ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ σε στρατηγικό, τακτικό, και επιχειρησιακό επίπεδο. Έτσι, με τη χρήση του εργαλείου που αναπτύχθηκε, μελετήθηκε η στρατηγικού/τακτικού επιπέδου πολιτική, της εφαρμογής του χρονικού προγραμματισμού των αφίξεων των φορτηγών με χρονικό παράθυρο (appointment system with time window). Στο πλαίσιο αυτό, αξιολογήθηκαν

διαφορετικοί κανόνες που μπορούν να υλοποιήσουν μια τέτοια πολιτική με στόχο την επιλογή του βέλτιστου κανόνα που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της επίδοσης της λειτουργίας παράδοσης – παραλαβής του ΣΕΜΠΟ.

Τέλος, αναπτύχθηκαν αλγόριθμοί που μπορούν να ενσωματωθούν στα υφιστάμενα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης τερματικών σταθμών και στη συνέχεια, σε επιχειρησιακό επίπεδο, να βελτιστοποιούν απρόσκοπτα συγκεκριμένες λειτουργίες που αποδείχτηκε ότι επηρεάζουν σημαντικά την επίδοση των ΣΕΜΠΟ, και ποιο συγκεκριμένα, τη λειτουργία παράδοσης – παραλαβής.

## SUMMARY

Managing container terminal operations in seaports is a cumbersome, complex and challenging problem. Given the importance of container traffic for international trade, it is surprising that this issue has been mostly tackled myopically. The problem involves a number of different criteria, such as faster discharge and loading of containers (vessel turnaround time), increased yard and equipment utilization, and faster container turnaround time.

In this thesis, we begin with a literature review following the hierarchy of the decision-making process and then, we reveal the shortcomings of both the current practices in seaports and of the relevant academic efforts.

Then, we present a novel hierarchical framework that captures systematically the complexity in the decision-making process recognizing its natural hierarchy (strategic, tactical and operational), the interdependencies among specific operations and the various forms of constraints including technological, spatial, temporal, monetary, and organizational as well as constraints imposed by the interests of various partners and customers of a port.

Using the developed framework, we further emphasize on one important but largely neglected area of interest: the delivery / receipt operation in a container terminal. In that respect, we develop a simulation model of delivery / receipt operations of a container terminal based on real data that were collected from the Thessaloniki Port Authority. Then, a full factorial design is created, the main factors that affect operations performance are identified, and the interactions among them are recognized.

Additionally, we propose a new rule of operation which is an adaptation of the appointment system used in other fields, modified accordingly to fit the specific area of study. More specifically, several appointment rules with time window are evaluated and the best performers are identified using a modified version of our simulation model.

Finally, we document the catalytic role of IT technologies and solutions in facilitating the implementation of comprehensive policies. Two new algorithms that can be integrated to new or existing container terminal information systems are developed and presented in order to further enhance the performance of the delivery / receipt operation.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Εικόνων	iii
Κατάλογος Πινάκων	vi
Συντομογραφίες	vii
Βιογραφικό Σημείωμα	viii
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. ΤΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ	2
1.2. ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	5
1.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	7
1.4. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΤΑΘΜΟΙ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ</b>	<b>13</b>
2.1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ	15
2.1.1. Δομή	15
2.1.2. Μηχανολογικός εξοπλισμός	18
2.1.2.1. Γερανογέφυρες	18
2.1.2.2. Μέσα οριζόντιας μεταφοράς	20
2.1.3. Λειτουργίες	21
2.1.3.1. Φορτοεκφόρτωση πλοίου	22
2.1.3.2. Μεταφορά κρηπιδώματος	23
2.1.3.3. Λειτουργία Χ/Σ	23
2.1.3.4. Παραλαβή/Παράδοση	24
2.1.4. Συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας	26
2.1.5. Δείκτες παραγωγικότητας και απόδοσης	27
2.1.5.1. Ποσοστά χρήσης (utilization measures)	28
2.1.5.2. Ποιότητα παροχής υπηρεσιών (quality of service)	28
2.1.5.3. Δείκτες παραγωγής (production measures)	29
2.1.5.4. Δείκτες παραγωγικότητας (productivity measures)	30
2.1.5.5. Δείκτης συμφόρησης (congestion measure)	31
2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΣΕΜΠΟ	31
2.2.1. Αποθήκευση και στοιβασία	33
2.2.1.1. Εμπορευματοκιβώτια εισαγωγής	33
2.2.1.2. Προστοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής	34
2.2.1.3. Διασκορπίζουσα στοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής	34
2.2.2. Μεταφορές	35
2.2.2.1. Οριζόντιες μεταφορές στο χώρο στοιβασίας	35
2.2.2.2. Οριζόντια μεταφορά – Εσωτερικές μετακινήσεις	37
2.2.2.3. Μεταφορές στην ενδοχώρα	37
2.2.2.4. Βελτιστοποίηση μεταφοράς στοιβασίας με ελαστικοφόρες γερανογέφυρες	38

2.2.3. Προγραμματισμός θέσεων πλεύρισης πλοίων	39
2.2.4. Πλάνο φόρτωσης πλοίων	40
2.2.5. Διάρθρωση γερανογεφυρών	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ</b>	<b>43</b>
3.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	45
3.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	48
3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ / ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ</b>	<b>61</b>
4.1. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ Ε/Κ ΣΤΟΝ ΟΛΘ	64
4.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	66
4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	68
4.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	73
4.4.1. Ρύθμιση και επικύρωση	79
4.5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	80
4.5.1. Επίδραση μεταβολών παραμέτρων εισόδου	80
4.5.2. Παραγοντικό πείραμα	87
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ ΦΟΡΤΗΓΩΝ</b>	<b>93</b>
5.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ	98
5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ AS ΣΤΟΥΣ ΣΕΜΠΟ	100
5.2.1. Διατύπωση του προβλήματος	101
5.2.2. Δείκτες απόδοσης	103
5.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ AS	104
5.3.1. Κανόνες δημιουργίας	104
5.3.2. Αξιολόγηση κανόνων AS με τη χρήση μοντέλου προσομοίωσης	106
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ</b>	<b>125</b>
6.1. ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	128
6.2. ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	129
6.3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ Χ/Σ	130
6.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ Χ/Σ	134
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>139</b>
7.1. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	141
7.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	143
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι</b>	<b>145</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ</b>	<b>161</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ</b>	<b>173</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV</b>	<b>181</b>
<b>ΓΛΩΣΣΑΡΙ</b>	<b>189</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>193</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.1.	«Ροή» Ε/Κ στους δέκα μεγαλύτερους ΣΕΜΠΟ του κόσμου 1993–2001	2
ΕΙΚΟΝΑ 1.2.	Ο όγκος των Ε/Κ στα λιμάνια της περιοχής ESCAP (Economic and Social Commission for Asia and Pacific) από το 1980, σε προβολή μέχρι το 2014 .....	3
ΕΙΚΟΝΑ 1.3.	Η χρήση Ε/Κ κατά το διάστημα 1990-2003, συγκρινόμενη με τους ρυθμούς του παγκόσμιου εμπορίου, του θαλάσσιου εμπορίου και του ακαθάριστου παγκοσμίου προϊόντος .....	3
ΕΙΚΟΝΑ 1.4.	Οι έξι γενιές φορτηγών πλοίων μεταφοράς Ε/Κ και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους .....	6
ΕΙΚΟΝΑ 1.5.	Μεθοδολογική προσέγγιση .....	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.	Σχεδιάγραμμα τυπικού ΣΕΜΠΟ .....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.	Σχηματικό διάγραμμα τομέα Α Χ/Σ .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 2.3.	Α: Γερανογέφυρα με μονό ή διπλό βαγονέτο. Β και Γ: Γερανογέφυρες για τις στοίβες, Β: RTG, Γ: RMG .....	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.4.	Μέσα οριζόντιας μεταφοράς και συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 2.5.	Παρουσίαση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 2.6.	Σύνοψη των λειτουργιών του ΣΕΜΠΟ .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.	Σχηματικό διάγραμμα του ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 4.2.	Διάγραμμα λειτουργίας παράδοσης /παραλαβής στο ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ...	65
ΕΙΚΟΝΑ 4.3.	Σχηματική παράσταση της μεθοδολογίας προσομοίωσης .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.	Στάδια ανάλυσης συστήματος .....	67
ΕΙΚΟΝΑ 4.5.	Συχνότητα αφίξεων ανά κατηγορία .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 4.6.	Αφίξεις φορτηγών στα δεκαπεντάλεπτα διαστήματα μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 4.7.	Κατανομή χρόνων μεταξύ των αφίξεων .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 4.8.	Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας εξυπηρέτησης φορτηγών στην πύλη εισόδου και εξόδου .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.9.	Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας μετάβασης φορτηγού από την πύλη στους χώρους στάθμευσης Α και Β .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 4.10.	Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας καθυστέρησης οδηγού εξυπηρέτησης διασκελετικού μεταφορέα .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 4.11.	Χρήση χώρων στάθμευσης Α και Β .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.12.	Κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης φορτηγών .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 4.13.	Δείκτης ύψους στο ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.14.	Κατανομή επαναστοιβασιών ανά ημέρα .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 4.15.	Λειτουργικό διάγραμμα παράδοσης/παραλαβής .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 4.16.	Υλοποίηση λογικής ελέγχου της τιμής του χρόνου ενδοαφίξεων .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 4.17.	Φόρμα εισαγωγής στοιχείων ωρών λειτουργίας πύλης (time patterns editor, ARENA) .....	76

EΙΚΟΝΑ 4.18.	Σχηματικό διάγραμμα του μοντέλου προσομοίωσης (ARENA) .....	77
EΙΚΟΝΑ 4.19.	Η οπτικοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης .....	77
EΙΚΟΝΑ 4.20.	Οι χρόνοι εξυπηρέτησης των φορτηγών που προέκυψαν από το μοντέλο, συγκριτικά με εκείνους που προέκυψαν από τα ιστορικά στοιχεία πραγματικής λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ .....	79
EΙΚΟΝΑ 4.21.	Αριθμός επαναστοιβασιών και συνολικοί χρόνοι εξυπηρέτησης ανά σενάριο .....	81
EΙΚΟΝΑ 4.22.	Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων ανά περίοδο .....	81
EΙΚΟΝΑ 4.23.	Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων και χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών (in/out) μεταβαλλομένου του αριθμού των διασκελετικών μεταφορέων .....	82
EΙΚΟΝΑ 4.24.	Η επίδραση του ποσοστού χρήση των πυλών στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων, στο ποσοστό χρήσης των χώρων στάθμευσης και στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών (in/out) .....	83
EΙΚΟΝΑ 4.25.	Οι επιδράσεις του αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης Α, πάνω στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών, στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης και στην αναμονή για θέση στους χώρους στάθμευσης Α και Β, καθώς και στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων .....	84
EΙΚΟΝΑ 4.26.	Οι επιδράσεις στα ποσοστά χρήσης του χώρου στάθμευσης και του διασκελετικού μεταφορέα από διαφορετικές τιμές αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης Α .....	85
EΙΚΟΝΑ 4.27.	Η επίδραση των ωρών λειτουργίας στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων και στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (in/out) .....	86
EΙΚΟΝΑ 4.28Α.	Τα αποτελέσματα του παραγοντικού πειράματος που πραγματοποιήθηκε για την ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος.....	89
EΙΚΟΝΑ 4.28Β.	Τα παραγοντικά αποτελέσματα. Ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος στο πείραμα.....	90
EΙΚΟΝΑ 5.1.	Αφίξεις φορτηγών κατά την περίοδο μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ .....	97
EΙΚΟΝΑ 5.2.	Α. Χρονικός προγραμματισμός χωρίς χρονικό παράθυρο, Β. Χρονικός προγραμματισμός με χρονικό παράθυρο.....	98
EΙΚΟΝΑ 5.3.	Γραφική παράσταση των περισσότερο μελετημένων κανόνων δημιουργίας AS .....	105
EΙΚΟΝΑ 5.4.	Μέθοδος ορισμού της τιμής ενδοαφίξεων και αφίξεις φορτηγών με παράμετρο "μη εμφάνιση" .....	107
EΙΚΟΝΑ 5.5.	Οι επιδράσεις του χρόνου ενδοαφίξεων στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων, στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών, στον αριθμό φορτηγών και στο χρόνο λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ .....	109
EΙΚΟΝΑ 5.6.	Οι επιδράσεις του αρχικού block στο χρόνο αναμονής των φορτηγών και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορών .....	111



EIKONA 5.7.	Οι επιδράσεις του κανόνα 3 στο χρόνο αναμονής φορτηγών και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορών .....	112
EIKONA 5.8.	Οι περιπτώσεις 5 και 6 του σεναρίου που δείχνουν την επίδραση των κανόνων 4 και 5 στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορών .....	113
EIKONA 5.9.	Η επίδραση του κανόνα 6 στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (δεδομένα σεναρίου, διάγραμμα Box and Whiskers) .....	115
EIKONA 5.10.	Μέθοδος ορισμού της τιμής ενδοαφίξεων .....	116
EIKONA 5.11.	Λογική ελέγχου (control logic) αφίξεων που αποκλίνουν από την προκαθορισμένη ώρα άφιξης .....	118
EIKONA 5.12.	Οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων του συστήματος που προέκυψαν από το παραγοντικό πείραμα .....	121
EIKONA 5.13.	Σχηματική απεικόνιση της πυκνότητας πιθανότητας (probability density function, PDF) του χρονικού παράθουρου .....	122
EIKONA 6.1.	Κύρια υποσυστήματα τυπικού συστήματος διαχείρισης ΣΕΜΠΟ .....	127
EIKONA 6.2.	Πληρότητα και διευθέτηση τομέα του Χ/Σ, με 21 στήλες και 10 γραμμές, σε διαφορετικούς χρόνους .....	131
EIKONA 6.3.	Άθροισμα υπολειπόμενων Ε/Κ σε καθεμιά από τις 21 στήλες του τομέα Χ/Σ της εικόνας 5.2 .....	132
EIKONA 6.4.	Αύξουσα ταξινόμηση των συνόλων Ε/Κ ανά στήλη .....	132
EIKONA 6.5.	Χαρακτηρισμός στηλών προέλευσης .....	132
EIKONA 6.6.	Όλες οι μετακινήσεις που θα γίνουν σύμφωνα με τον αλγόριθμο .....	133

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.	Ταξινόμηση λειτουργιών ΣΕΜΠΟ ανάλογα με το επίπεδο λήψης αποφάσεων .....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2.	Αλληλεξάρτηση μεταξύ των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ .....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.	Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.	Οι μεταβλητές εισόδου (inputs) του μοντέλου προσομοίωσης .....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.	Πειραματικός παραγοντικός πίνακας .....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.	Αντιστοιχία παραμέτρων-παραγόντων .....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.	Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του παραγοντικού πειράματος που πραγματοποιήθηκε για την ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος .....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά σενάριο ελέγχου επίδρασης χρόνου ενδοαφίξεων .....	109
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά σενάριο ελέγχου επίδρασης χρόνου ενδοαφίξεων .....	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.	Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "ξεχωριστού block / καθορισμένου διαστήματος" .....	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.	Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "πολλαπλών block / καθορισμένου διαστήματος" .....	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.	Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "μεταβλητών block / καθορισμένου διαστήματος" .....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6.	Η επίδραση του κανόνα 6 στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων .....	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7.	Παράμετροι και αποτελέσματα του κανόνα 7 .....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8.	Η επίδραση του κανόνα 7 στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων .....	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9.	Παράμετροι και αποτελέσματα σεναρίων για την αξιολόγηση της επίδρασης χρονικού παραθύρου .....	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10.	Παράμετροι και αποτελέσματα παραγοντικού πειράματος .....	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.	Αποτελέσματα του αλγόριθμου ελαχιστοποίησης μη παραγωγικών κινήσεων στο Χ/Σ.....	136

## Συντομογραφίες

---

- AGV** (automated guided vehicle): ρομποτικά φορτηγά
- ALV** (automated lifting vehicle): όχημα αυτόματης στοιβασίας
- AS** (appointment system): σύστημα χρονικού προγραμματισμού
- ASTW** (appointment system with time window): σύστημα χρονικού προγραμματισμού με χρονικό παράθυρο
- BAP** (berth allocation problem): πρόβλημα κατανομής θέσεων πλευρίσης
- CFS** (container freight storage): αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ
- CTIS** (container terminal information system) πληροφοριακό σύστημα ΣΕΜΠΟ
- DSS** (decision support system): σύστημα λήψης αποφάσεων
- EDI** (electronic data interchange): ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων
- ESCAP** (Economic and Social Commission for Asia and Pacific): Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή για την Ασία και τον Ειρηνικό
- GDP** (gross domestic product): ακαθάριστο εθνικό προϊόν
- MADM** (multi-attribute decision making): πολυπαραγοντική μέθοδος λήψης αποφάσεων
- MBP** (master bay plan): πλάνο φόρτωσης
- MILP** (mixed-integer-linear-programming): μοντέλο ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού
- OBC** (overhead bridge crane): εναέρια γερανογέφυρα
- QC** (quay crane): γερανογέφυρα κρηπιδώματος
- RMG** (rail-mounted yard gantry crane): γερανογέφυρα στοιβασίας επί σιδηροτροχιών
- RO-RO** (roll-on-roll-off): φόρτωση/εκφόρτωση με χρήση ράμπας
- RTG** (rubber-tyred yard gantry crane): ελαστικοφόρος γερανογέφυρα
- SC** (shipboard crane): γερανός πλοίου
- TEU** (twenty-foot equivalent unit): ισοδύναμη μονάδα 20 ποδών
- 
- ΑΣΑΕ:** αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ
- Ε/Κ:** εμπορευματοκιβώτια
- ΟΛΘ:** Οργανισμός Λιμένος Θεσσαλονίκης
- ΣΕΜΠΟ:** σταθμός εμπορευματοκιβωτίων
- Χ/Σ:** χώρος στοιβασίας ή αυλή



## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΟΝΟΜΑ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΣΙΤΣΑΜΗΣ του Σπυρίδωνος

ΤΟΠΟΣ/ΕΤΟΣ ΓΕΝΝΗΣΗΣ: Θεσσαλονίκη, 1967

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Οργανισμός Λιμένος Θεσσαλονίκης (Μηχανικός Η/Υ από 2002)

54110 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2310593185 – Fax 2310510500

e-mail: dtsitsamis@thpa.gr

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: Στυλιανού Γονατά 4, 54621 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2314006215 – e-mail: dimitris@tsitsamis.gr

www.tsitsamis.gr

ΕΘΝΙΚΟΤΗΤΑ: Ελληνική

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ: Αγγλικά (άριστα)

### ΣΠΟΥΔΕΣ

- 1987 – 1992 Bachelor of Engineering (Electrical Engineering)  
School of Engineering, The City College  
The City University of New York, USA (υπότροφος 1989-1991)
- 1992 – 1994 Master of Science in Computer Engineering  
Manhattan College, New York

### ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ

- 1997 – 2002 TRD International SA  
*Μηχανικός Η/Υ*
- 1998 – 2001 ΙΙΕΚ Παστέρ  
*Εκπαιδευτικός Πληροφορικής*
- 1995 – 1997 308 Εργοστάσιο Βάσης (στρατιωτική θητεία)  
*Ειδικός Επιστήμων Α' (Υπεύθυνος Τμήματος Μηχανογράφησης 308 ΠΕΒ, Τεχνικός Σύμβουλος εκπαιδευτικής αποστολής ΗΠΑ)*
- 1990 – 1994 ANDgate Corporation (New York, USA)  
*Γενικός Υπεύθυνος Συστημάτων Πληροφορικής και Τοπικών Δικτύων*

### ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΙ ΦΟΡΕΙΣ

- Council of Supply Chain Management Professionals
- The Alumni Association of The City College of New York
- Ελληνική Εταιρία Logistics Β. Ελλάδος (μέλος ΔΣ, Αντιπροεδρία Επιστημονικού)
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος

## **ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ**

- NAYTILOS: Πληροφοριακό σύστημα ενημέρωσης επιβατών (ΥΕΝ/ΓΓ Λιμένων & Λιμενικής Πολιτικής, 2005–2006
- EU FP6 eLOGMAR-M: Web-based and Mobile Solutions for Collaborative Work Environment with Logistics and Maritime Applications, 2004-2006
- MIRTO: Ολοκληρωμένα Συστήματα Παρακολούθησης Μέσων/Φορτίων στις Συνδυασμένες Μεταφορές, Γ' ΚΠΣ, 2004-2005
- CHINOS, Container Handling in Intermodal Nodes – Optimal and Secure! 2003-2004
- ΟΛΘ: Σχεδιασμός, ανάπτυξη, εγκατάσταση και λειτουργία ενός αυτόματου συστήματος τιμολόγησης για το σταθμό εμπορευματοκιβωτίων του ΟΛΘ, Ιαν. 2001 – Ιουλ. 2001
- Πρόγραμμα IST: PRIME: Προηγμένη διαχείριση οδικών συμβάντων και κυκλοφορίας με εφαρμογή συστημάτων πρόβλεψης σε πραγματικό χρόνο, Ιαν. 2000 – Δεκ. 2001
- ΟΛΘ και Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας (ΥΠΕΘΟ): Ολοκληρωμένο σύστημα για τη διαχείριση του ΣΕΜΠΟ στον ΟΛΘ και την ηλεκτρονική επικοινωνία με τους εμπλεκόμενους φορείς, ΟΛΘ ΣΕΜΠΟ, Ιαν. 2000–Νοεμ. 2001
- EU IN-EMERGENCY: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Οδικών Συμβάντων, Υγείας και Περιβαλλοντικής παρακολούθησης σε οδικά δίκτυα, Ιαν. 1998 – Δεκ. 2000
- NAYTILOS: Ενοποιημένο Σύστημα Πλοήγησης στον Παγκόσμιο Ιστό για Άτομα με Ειδικές Ανάγκες, ΕΠΕΤ II ΓΓΕΤ, Ιουν. 1999 – Ιουν. 2001
- EU Leonardo da Vinci: Ανάπτυξη λογισμικού για το εκπαιδευτικό πρόγραμμα ελέγχου ολικής ποιότητας γαλακτοκομικές βιομηχανίες, Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Νοεμ. 1997 – Δεκ. 1998
- ΟΔΗΓΩ: Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης ΑΜΕΑ υποψήφιων οδηγών με στόχο την αυτόνομη μετακίνηση και επαγγελματική τους αποκατάσταση, Υπουργείο Εργασίας (Άξονας HORIZON), Ιαν. 1998 – Δεκ. 1999
- EU (Πρόγραμμα Τηλεματικής UR 1001) ATTACH: Διευρωπαϊκές προηγμένες εφαρμογές για κοινωνικές παροχές, Ιαν. 1996 – Δεκ. 1998
- EU (Πρόγραμμα Τηλεματικής TR 1030) IN-RESPONSE: Διαχείριση οδικών συμβάντων με χρήση νέων τεχνολογιών εντοπισμού, Ιαν. 1996 – Δεκ. 1998
- EU (Πρόγραμμα Τηλεματικής TR 1047) SAVE: Σύστημα παρακολούθησης κατάστασης οδηγού και ελέγχου οχήματος σε επείγουσες περιπτώσεις, Ιαν. 1996 – Δεκ. 1998

- EU (Πρόγραμμα Τηλεματικής) TELSCAN: Ανάπτυξη προτύπων τηλεματικής για τη συνεργασία προηγμένων συστημάτων για οδηγούς με ειδικές ανάγκες, Ιουλ. 1996 – Δεκ. 1998
- EU (Πρόγραμμα Τηλεματικής) TELEFLOW: Εφαρμογή Τηλεματικής για ενίσχυση της ανάλυσης της ροής των εργασιών και τη βελτίωση των εμπορικών διαδικασιών, Ιαν. 1996 – Δεκ. 1998

### **ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΟ ΕΡΓΟ**

- Τεχνικό Εγχειρίδιο Αρματοφορέων OSHKOSH (ελληνική μετάφραση, 400 σελίδες), 308 ΠΕΒ, Ελληνικός Στρατός, 1997

### **ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ**

- Terminal Management Systems, *Final PROMIT Cluster Workshop*, Lisbon, Portugal, 2008 (invited lecture)

### **ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ - ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ**

- **TSITSAMIS D**, VLACHOS D, ΙΑΚΟΒΟΥ E, DOULIGERIS C. A hierarchical taxonomy of decision-making models for container terminal operations. *Int J Logistics Economics Globalisation* Vol. 1, Nos. 3/4, 2008:365-382
- **TSITSAMIS D.**, ΙΑΚΟΒΟΥ E, VLACHOS D. The catalytic role of information technologies in managing container terminal operations: the case of the port authority of Thessaloniki. *10th International Maritime Conference "MARDCON 10"*, Ain el Sokhna, Egypt, 2007
- **TSITSAMIS D**, ΚΟΥΚΟΥΛΟΥΔΙ E. An integrated management information system for container terminals. *China-Europe Forum on e-Logistics*. Shenzhen, China, 2006
- **TSITSAMIS D**, ΙΑΚΟΒΟΥ E, VLACHOS D. Decision-making in container terminal operations: A hierarchical and comprehensive framework. *3rd International Workshop on Supply Chain Management and Information Systems*, Thessaloniki, Greece, Proceedings 2005:452-462
- ΙΑΚΟΒΟΥ E, VLACHOS D, **TSITSAMIS D**. A systemic methodological framework for port container terminal logistics. *XV International Conference Transport 2005*, Sofia, Bulgaria, Proceedings 2005:178-183
- VLACHOS D, **TSITSAMIS D**, ΙΑΚΟΒΟΥ E, GEORGIADIS P. A methodological framework for the strategic management of ports' container terminals. *9th Panhellenic Logistics Conference*, Thessaloniki, Greece , Proceedings 2005:452-463
- SHINAKIS M, ΚΟΥΚΟΥΛΟΥΔΙ E, ΑΝΤΩΝΙΟΥ C, **TSITSAMIS D**, TYRINOPOULOS Y. New telematics tools for container port management. *International Conference on Cost Effective Infrastructure and Systems to Improve Cargo and Passenger Transport in South Eastern Europe*, Budapest, Hungary, 2001





## **Κεφάλαιο 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. ΤΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....</b>	<b>9</b>



*“Nothing endures but change”*

Heraclitus

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα εμπορευματοκιβώτια (Ε/Κ) εμφανίστηκαν ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς προϊόντων, στις θαλάσσιες μεταφορές, τη δεκαετία του 1960. Τα πλεονεκτήματά τους οδήγησαν στη ραγδαία εξάπλωση της χρήσης τους που, σε ορισμένα ανεπτυγμένα κράτη, πλησιάζει το 100% της θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευμάτων. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα το μετασχηματισμό των εμπορικών λιμανιών σε σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων (ΣΕΜΠΟ), με συνέπεια μια σειρά επιχειρησιακών και επιχειρηματικών προκλήσεων, οι οποίες δεν αναμένεται να πάσουν να προβάλλουν επιτακτικές, όσο τα σχετικά μεγέθη συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία.

Οι ΣΕΜΠΟ ορίζονται, επιχειρησιακά, ως οργανισμοί που προσφέρουν στα διάφορα μέσα μεταφοράς ένα σύνολο λειτουργιών και υπηρεσιών διαχείρισης, αποθήκευσης και ελέγχου εμπορευμάτων, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Εγγενώς, επομένως, εμφανίζονται με ένα βαθμό εξαιρετικής πολυπλοκότητας, με συνέπεια η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους να προβάλλει ως σταθερή συνθήκη της οποίας προσπάθειας αύξησης της ανταγωνιστικότητάς τους.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο κινείται και το αντικείμενο αυτής της Διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της μελέτης ήταν να αναδείξει τη συμβολή που μπορεί να έχει η χρήση μοντέλων προσομοίωσης και πληροφορικών αλγορίθμων στην περιγραφή και την αντιμετώπιση των εκτεταμένων αλληλεξαρτήσεων που παρουσιάζουν οι λειτουργίες

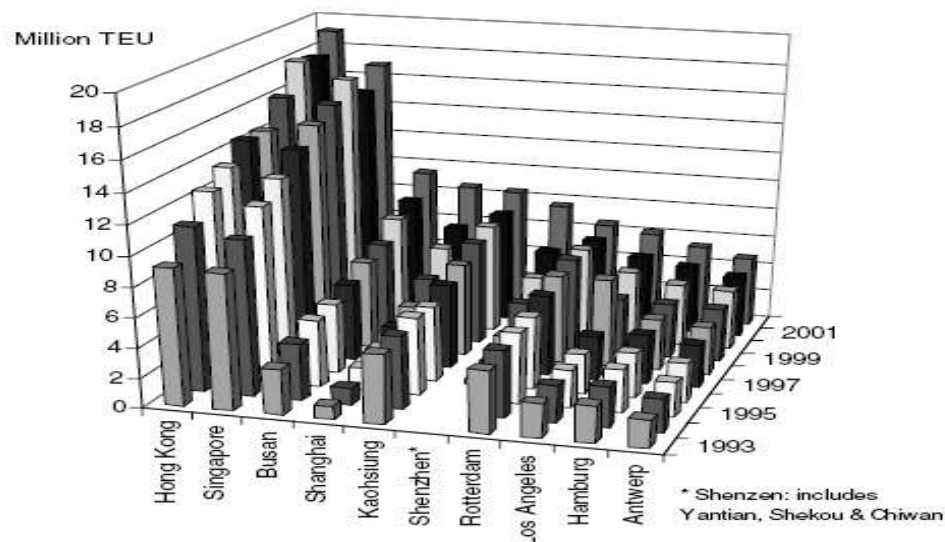
των ΣΕΜΠΟ, με απώτερο στόχο τη χρησιμοποίηση αυτών των εργαλείων για τη βελτιστοποίηση των τελευταίων.

### 1.1. ΤΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ

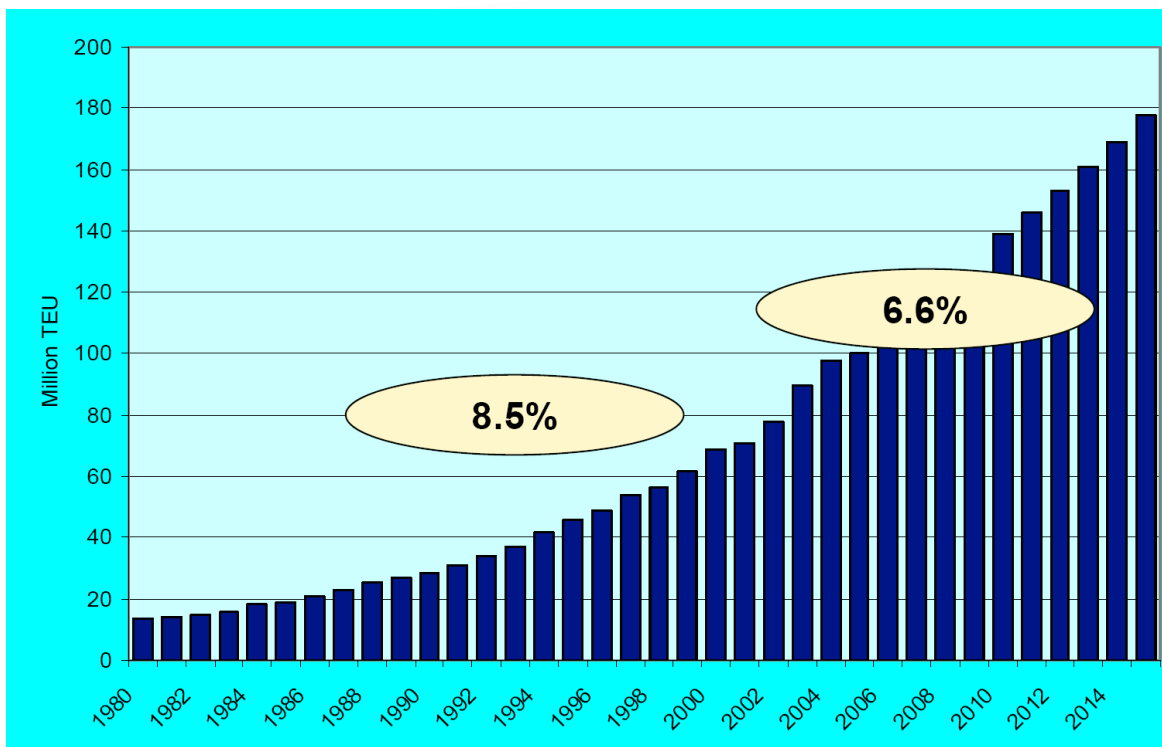
Τα Ε/Κ εμφανίστηκαν ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς προϊόντων, στις θαλάσσιες μεταφορές, τη δεκαετία του 1960. Η χρήση τους εξαπλώθηκε ταχύτατα, με αποτέλεσμα, σήμερα, ποσοστό πάνω από 80% της παγκόσμιας θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευμάτων να πραγματοποιείται με Ε/Κ, ενώ, σε μερικές περιπτώσεις, ειδικά μεταξύ των οικονομικά ισχυρών και ανεπτυγμένων κρατών της υφηλίου, τα προϊόντα που μεταφέρονται μέσω θαλάσσης μέσα σε Ε/Κ, να πλησιάζουν το 100%. Χαρακτηριστικά, ενώ το 1980 βρίσκονταν σε κίνηση περίπου 18 εκατομμύρια Ε/Κ, ο αριθμός αυτός το 2000 ανερχόταν σε 70 εκατομμύρια [1]. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, ανάλογη εξέλιξη αναμένεται και στο μέλλον (εικόνες 1.1–1.3) [2].

Τα Ε/Κ προκάλεσαν επανάσταση στις μεταφορές, γιατί συγκρινόμενα με τις παραδοσιακές μεθόδους παρουσιάζουν τα παρακάτω σημαντικά πλεονεκτήματα:

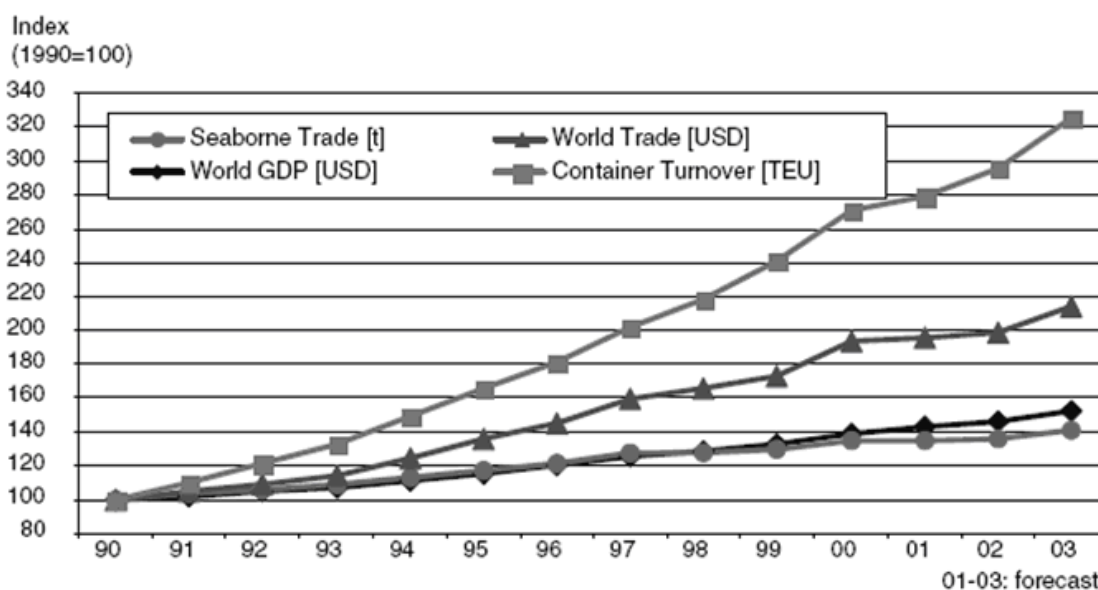
- α. *Ενιαία μεταφορική μονάδα.* Τα Ε/Κ συγκεντρώνουν σε μια μεταφορική μονάδα το φορτίο, που προηγουμένως αποτελείτο από ένα πλήθος μικρών ή μεγαλύτερων πακέτων.
- β. *Χειρισμός.* Καθώς το φορτίο είναι μοναδοποιημένο, ο χειρισμός γίνεται ευκολότερος και γρηγορότερος, με αποτέλεσμα να μειώνεται εντυπωσιακά ο χρόνος φόρτωσης και εκφόρτωσης.
- γ. *Συσκευασία φορτίου.* Η προστασία που παρέχεται από τα Ε/Κ στο φορτίο μειώνει σημαντικά τις ανάγκες συσκευασίας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η δυνατότητα για μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων φορτίου.



ΕΙΚΟΝΑ 1.1. «Ροή» Ε/Κ στους δέκα μεγαλύτερους ΣΕΜΠΟ του κόσμου 1993–2001 [1].



ΕΙΚΟΝΑ 1.2. Ο όγκος των Ε/Κ στα λιμάνια της περιοχής ESCAP (Economic and Social Commission for Asia and Pacific) από το 1980, σε προβολή μέχρι το 2014 (χρησιμοποιήθηκαν επιμέρους εξισώσεις προβολής για κάθε χώρα) [2].



ΕΙΚΟΝΑ 1.3. Η χρήση Ε/Κ κατά το διάστημα 1990-2003, συγκρινόμενη με τους ρυθμούς του παγκόσμιου εμπορίου (world trade), του θαλάσσιου εμπορίου (seaborne trade) και του ακαθάριστου παγκοσμίου προϊόντος (world GDP) [1].

δ. *Οικονομία χώρας.* Η ταξινόμηση του φορτίου μέσα στο Ε/Κ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του διαθέσιμου χώρου αποθήκευσης ενός πλοίου, βαγονιού ή φορτηγού. Η βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου συνεπάγεται οικονομικότερη μεταφορά.

- ε. *Ασφάλεια φορτίου.* Το μέγεθος και το βάρος των Ε/Κ καθιστούν δυσχερέστερη την κλοπή των εμπορευμάτων.
- στ. *Προστασία φορτίου.* Τα τοιχώματα και η μόνωση του Ε/Κ παρέχουν κάλυψη στο φορτίο από τις καιρικές και άλλες δυσμενείς συνθήκες, αλλά και από ζημιές και φθορές κατά τη μεταφορά και ιδιαίτερα κατά τη φορτοεκφόρτωση.
- ζ. *Μείωση γραφειοκρατίας.* Η μοναδοποίηση του φορτίου μειώνει τη γραφειοκρατία, καθώς συνεπάγεται τη χρήση ενός μόνο εγγράφου, που αφορά το σύνολο του περιεχομένου του Ε/Κ, ως μονάδα, και όχι τη χρήση της σειράς των εγγράφων που αναφέρονται σε καθένα από τα προϊόντα, σε περίπτωση που αυτά μεταφέρονταν μεμονωμένα. Δεδομένου, όπως είναι γνωστό, ότι κάθε πράξη μεταφοράς εμπεριέχει σειρά διαδικασιών, είναι αυτονόητο ότι η χρήση Ε/Κ συνεπάγεται πολλαπλασιαστικό όφελος.
- η. *Κόστος ασφάλισης.* Η μείωση του κόστους ασφάλισης αποτελεί ένα επιπλέον πλεονέκτημα που προκύπτει από τη μοναδοποίηση του φορτίου κατά τη χρήση Ε/Κ. Οι μεταφορικές εταιρίες ασφαλίζουν, κατά κανόνα, τα Ε/Κ με κόστος χαμηλότερο από το αθροιστικό κόστος ασφάλισης των περιεχομένων προϊόντων.

Η χρήση, βέβαια, των Ε/Κ δεν είναι απαλλαγμένη μειονεκτημάτων. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- α. *Κόστος κτήσης.* Το κόστος που πρέπει να καταβληθεί για την αγορά ενός Ε/Κ είναι αρκετά υψηλό (περίπου 3.000-4.000 \$).
- β. *Χειρισμός.* Ειδικά στις χώρες του τρίτου κόσμου όπου τα λιμάνια δεν έχουν τον απαραίτητο εξοπλισμό, η διαχείριση των Ε/Κ αντιμετωπίζει ανάλογο βαθμού προβλήματα.
- γ. *Διαχείριση των κενών.* Το κόστος μεταφοράς των Ε/Κ είναι εξ αντικειμένου υψηλό. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα αντιοικονομική τη μεταφορά των κενών Ε/Κ. Ως αποτέλεσμα, πολλές φορές τα Ε/Κ παραμένουν στα ΣΕΜΠΟ για μακρά χρονικά διαστήματα, με συνέπεια οι διοικήσεις των λιμένων να αντιμετωπίζουν συχνά μια σειρά προβλημάτων που απορρέουν από τη δυσχέρεια βέλτιστης διαχείρισης των χώρων εναπόθεσης.

Η ανάπτυξη των Ε/Κ οδήγησε μοιραία στην τυποποίησή τους. Το τυπικό Ε/Κ έχει μήκος 20 πόδια, δηλαδή 1 TEU (twenty-foot equivalent unit). Άλλα, μεγαλύτερα Ε/Κ περιγράφονται με τη βοήθεια αυτού του τυπικού Ε/Κ. Για παράδειγμα, ένα Ε/Κ μήκους 40 ποδιών, εκφράζεται ως 2 TEU. Διάφοροι άλλοι τρόποι, πέραν του μήκους, χρησιμοποιούνται, επίσης, για τη διάκριση των Ε/Κ, όπως το πάχος της εσωτερικής τους επιφάνειας (μονωμένα, με λεπτή εσωτερική επιφάνεια, με κατάψυξη, με εξαερισμό) και ο τύ-

πος του φορτίου που μεταφέρουν (Ε/Κ για ξηρά γενικά φορτία, στερεών χύδην φορτίων, υγρών χύδην φορτίων και συμπιεσμένων αερίων, για μεταφορά ζώων κ.ά.).






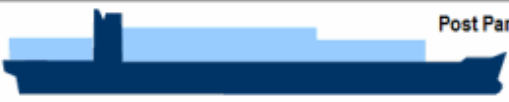


## 1.2. ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

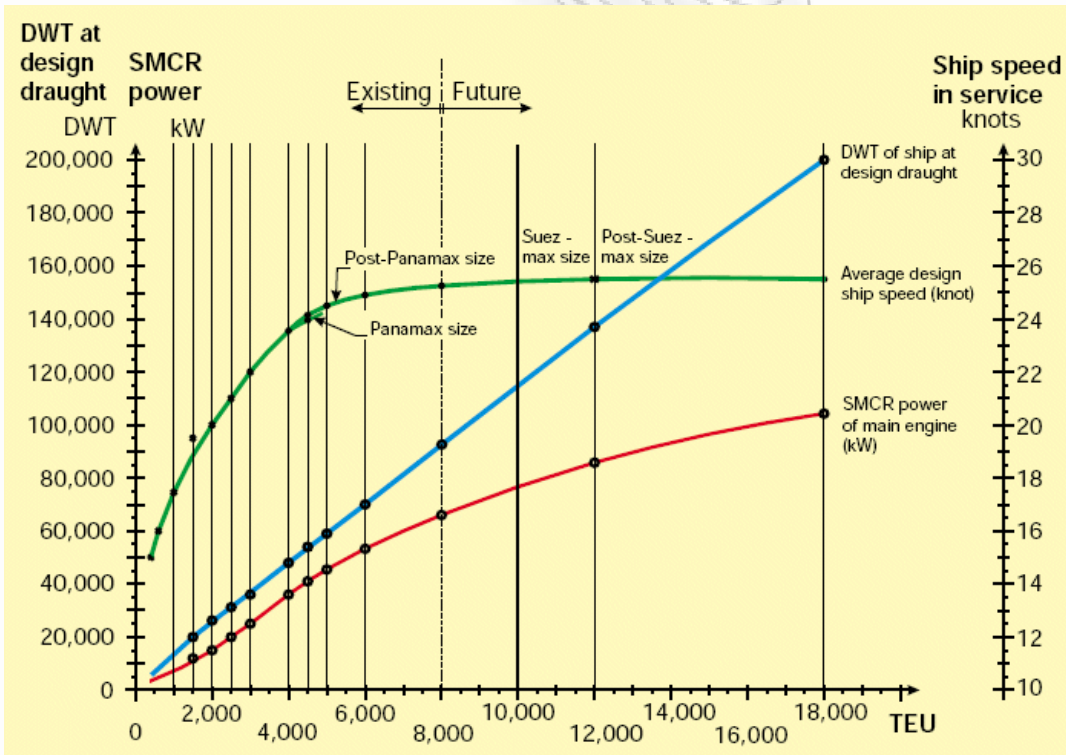
Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των Ε/Κ επέβαλε σημαντικές διαρθρωτικές αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των λιμανιών. Οι αλλαγές αυτές απέκτησαν προοδευτικά ιδιαίτερη σημασία στο βαθμό που τα λιμάνια ανταγωνίζονται για τη κυριαρχία στις υπερατλαντικές μεταφορές και στην τροφοδοσία των υπερπόντιων πλοίων, αλλά και για την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερων συμφωνιών με τις εταιρίες που διαθέτουν τα μέσα για περαιτέρω μεταφορά των εμπορευμάτων, καθώς και με τις εταιρίες που ελέγχουν το τοπικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Είναι αυτονόητο ότι αυτές οι αλλαγές ήταν επιτακτικότερες, όπου ο ανταγωνισμός αφορούσε λιμάνια που ήταν γεωγραφικά κοντά.

Ένας πρώτος και σημαντικός παράγοντας που υπαγόρευσε αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία των λιμανιών, ως αποτέλεσμα της χρήσης των Ε/Κ, είναι η εξυπηρέτηση των αντίστοιχων φορτηγών πλοίων. Η μεγάλη αύξηση στη χρήση των Ε/Κ που είχε αρχίσει να διαφαίνεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, είχε ως αποτέλεσμα την αντίστοιχα μεγάλη αύξηση του στόλου των πλοίων που ήταν κατάλληλα να μεταφέρουν Ε/Κ. Έτσι, ο στόλος των φορτηγών πλοίων που το 1985 μετέφεραν Ε/Κ ανερχόταν σε 4,9 εκατομμύρια, διπλασιάστηκε μέχρι το τέλος της επόμενης δεκαετίας.

Η χρήση, όμως, των Ε/Κ δεν αύξησε μόνο το στόλο των αντίστοιχων πλοίων αλλά και τη χωρητικότητά τους. Η πρώτη γενιά φορτηγών πλοίων είχε χωρητικότητα μέχρι 1000 TEU και βάθος μέχρι 9 μέτρα, η δεύτερη είχε χωρητικότητα 1000-3000 TEU και βάθος 10 μέτρα και η τρίτη [Panamax Class, 1985] χωρητικότητα 3000-4000 TEU και βάθος μέχρι 11,5 μέτρα. Η τέταρτη γενιά [Post Panamax, 1988] είχε χωρητικότητα από 4000-5000 TEU και βάθος μέχρι 13,6 μέτρα, η πέμπτη γενιά (Post Panamax Plus), χωρητικότητα 5000-8000 TEUs και μέγιστο βάθος 14 μέτρα, για να φτάσουμε πλέον στην έκτη γενιά χωρητικότητας 11000-14500 TEU και μέγιστο βάθος 15,5 μέτρα (εικ. 1.4). Η αύξηση αυτή της χωρητικότητας των φορτηγών πλοίων αποτέλεσε, όπως ήταν φυσικό, μοχλό πίεσης για συνεχή αλλαγή στο προϊόν που προσφέρουν τα λιμάνια που καλούνται να τα εξυπηρετήσουν.

Η ανάγκη της διαχείρισης Ε/Κ οδήγησε στη μετατροπή και στην ανανέωση των προβλητών πολλαπλών χρήσεων, ώστε να γίνουν συμβατές με τις μεθόδους της εμπορευματοκιβωτιοποίησης (containerization), ενώ συγχρόνως άρχισε η συστηματοποίηση και καθορίστηκαν οι αντίστοιχοι κανονισμοί μεταφοράς και φορτοεκφόρτωσης. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η δημιουργία των αποκαλούμενων *Σταθμών Εμπορευματοκιβωτίων*.

		Length	Draft	TEU
First (1956-1970)	 Converted Cargo Vessel	135 m	< 9 m	500
	 Converted Tanker	200 m	< 30 ft	800
Second (1970-1980)	 Cellular Containership	215 m	10 m 33 ft	1,000 – 2,500
Third (1980-1988)	 Panamax Class	250 m	11-12 m 36-40 ft	3,000
	 Panamax Class	290 m		4,000
Fourth (1988-2000)	 Post Panamax	275 – 305 m	11-13 m 36-43 ft	4,000 – 5,000
Fifth (2000-2005)	 Post Panamax Plus	335 m	13-14 m 43-46 ft	5,000 – 8,000
Sixth (2006-)	 New Panamax	397 m	15.5 m 50 ft	11,000 – 14,500



ΕΙΚΟΝΑ 1.4. Οι έξι γενιές φορτηγών πλοίων μεταφοράς Ε/Κ και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (από people.hofstra.edu).

Με τη σειρά της, η δημιουργία των ΣΕΜΠΟ οδήγησε στην εμφάνιση αναγκών σε εξειδικευμένο τεχνολογικό εξοπλισμό και έδωσε λαβή για την εφαρμογή μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας (operational research), με στόχο τη διαμόρφωση των απαιτούμε-



νων κανόνων διαχείρισης (logistics και management), με τους οποίους θα επιτυγχάνεται η συνεχής αύξηση της ανταγωνιστικότητας των λιμανιών.

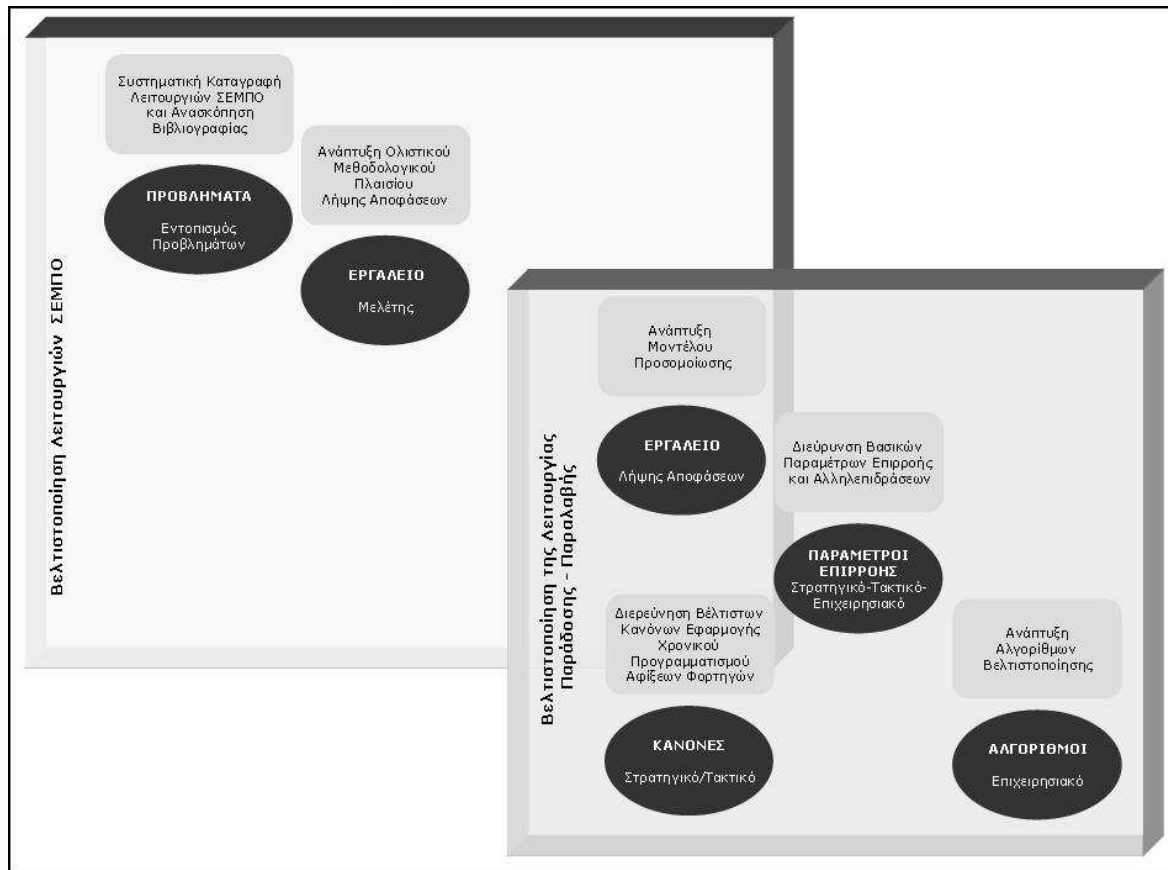
Κομβικής σημασίας παράγοντας, σ' αυτό το πλαίσιο, είναι το εργατικό κόστος, καθώς αντιπροσωπεύει πολύ υψηλό ποσοστό του επιχειρησιακού κόστους ενός λιμανιού. Χαρακτηριστικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση το εργατικό κόστος αντιπροσωπεύει ποσοστό 51% του κόστους λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ, ενώ στις ΗΠΑ το 70%, που είναι και το υψηλότερο παγκοσμίως. Με γνώμονα τη μείωση του κόστους, τα λιμάνια, ειδικά αυτών των αναπτυγμένων χωρών, προσπαθούν όλο και εντονότερα να αυτοματοποιήσουν τις λειτουργίες τους έτσι, ώστε να διαχειρίζονται βέλτιστα και να αξιοποιούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό το εργατικό δυναμικό τους.

Τέλος, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η χρήση των Ε/Κ οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και είχε αντίκτυπο και στους εξοπλισμούς των λιμένων. Νέοι, πιο εξελιγμένοι και πιο αξιόπιστοι εξοπλισμοί εγκαθίστανται συνεχώς στα λιμάνια, έτσι ώστε να αυξάνεται συνεχώς το επίπεδο της ποιότητας των υπηρεσιών τους και να μειώνεται το κόστος.

### **1.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Η Διατριβή αποτελείται από επτά Κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται συστηματική καταγραφή της δομής και των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, κυρίως υπό το πρίσμα των δυνατοτήτων που υπάρχουν για αναζήτηση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα, όπως αυτά που αντιμετωπίζονται στη συνέχεια της Διατριβής. Η κατακόρυφη αύξηση και η προοπτική της χρήσης των Ε/Κ έχει οδηγήσει σε εντατικές προσπάθειες βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, με στόχο την αύξηση της δυναμικότητας και της απόδοσης των τελευταίων.

Τα αναπάντητα ερωτήματα, οι ελλείψεις και τα προβλήματα της σχετικής βιβλιογραφίας οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Ο εντοπισμός τους επιτεύχθηκε μετά από συστηματική ανασκόπηση, η οποία, όμως, εκτίθεται αναλυτικά στο τέλος του Κεφαλαίου 3, υπό το πρίσμα της ιεράρχησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ που αποτελεί κομβικό σημείο της έρευνάς μας και γι' αυτό αναγκαστικά προηγείται. Το σημαντικό μειονέκτημα των μέχρι σήμερα προσπαθειών που αναφέρονται σε μεμονωμένες λειτουργίες, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις επιχειρήθηκε να αντιμετωπιστεί στο Κεφάλαιο 3. Έτσι, θεωρώντας ότι η επεξεργασία αποσπασματικών προσεγγίσεων ελάχιστα έχει πια να προσφέρει στην απαιτούμενη παραπέρα βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και την αύξηση της αποδοτικότητάς τους, στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων που επινοήσαμε και το οποίο υποστηρίζουμε ότι πρέπει να αποτελέσει τη θεωρητική βάση των δράσεων βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ.



ΕΙΚΟΝΑ 1.5. Χάρτης μεθοδολογικής προσέγγισης με στόχο την ανάπτυξη εργαλείων, κανόνων, και αλγορίθμων που αποσκοπούν στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών ΣΕΜΠΟ.

Για πρώτη φορά στη διεθνή βιβλιογραφία, διατυπώνεται ένα τέτοιο πλαίσιο που συνεκτιμά τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, ιεραρχώντας τις ταυτόχρονα στα τρία επίπεδα λήψης αποφάσεων (στρατηγικό, τακτικό, επιχειρησιακό). Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζεται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στο Κεφάλαιο 4, ελέγχεται η εγκυρότητα του παραπάνω πλαισίου, μέσω της ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης, διά του οποίου μπορεί να προσεγγισθούν με ακρίβεια οι επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, προκειμένου να καθοριστούν αποτελεσματικές δράσεις βελτιστοποίησής τους. Ως περίπτωση μελέτης επιλέχθηκε η λειτουργία παράδοσης/παραλαβής, στο βαθμό που, ως χερσαία λειτουργία, είναι από τις λιγότερο μέχρι σήμερα μελετημένες και το παράδειγμα του Λιμανιού της Θεσσαλονίκης, που η λειτουργία του είναι αντιπροσωπευτική των περισσότερων λιμανιών της Μεσογείου. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι ευέλικτο και προσαρμόζεται εύκολα στις διαφορετικές συνθήκες των τερματικών σταθμών που εκφράζονται με τις διαφορετικές τιμές των παραμέτρων.

Στο Κεφάλαιο 5, ελέγχεται η δυνατότητα βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, μέσα από τη βελτιστοποίηση μιας λειτουργίας που δεν καταναλώνει πόρους,

όπως είναι ο προγραμματισμός αφίξεων φορτηγών. Η προσπάθεια στηρίχθηκε στη γνώση που έχει προκύψει από άλλους τομείς, στη χρήση του παραπάνω μοντέλου προσομοίωσης, αλλά και σε ουσιαστικές παρεμβάσεις, προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι σημαντικές ιδιαιτερότητες του δικού μας αντικειμένου.

Στο Κεφάλαιο 6, προσεγγίζεται η συμβολή των συστημάτων πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών στη διαχείριση και βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και, στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζονται ορισμένοι αλγόριθμοι επίλυσης συγκεκριμένων προβλημάτων. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να ενσωματωθούν στα αντίστοιχα υποσυστήματα, όπως παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο. Τα προβλήματα αυτά εντοπίστηκαν από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής με τη βοήθεια του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε. Έτσι, η μείωση των μη παραγωγικών κινήσεων συνεισφέρει στη βελτίωση της απόδοσης της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής, αφού μειώνει καθοριστικά το χρόνο εξυπηρέτησης των διασκελετικών μεταφορέων.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 περιλαμβάνονται η σύνοψη και τα συμπεράσματα της Διδακτορικής Διατριβής.

#### **1.4. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Οι ΣΕΜΠΟ ορίζονται, επιχειρησιακά, ως οργανισμοί που προσφέρουν στα διάφορα μέσα μεταφοράς ένα σύνολο λειτουργιών και υπηρεσιών διαχείρισης, αποθήκευσης και ελέγχου εμπορευμάτων, ελαχιστοποιώντας το κόστος. Εγγενώς, επομένως, εμφανίζονται με ένα βαθμό εξαιρετικής πολυπλοκότητας, με συνέπεια η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους να προβάλλει ως σταθερή συνθήκη της όποιας προσπάθειας αύξησης της ανταγωνιστικότητάς τους.

Μέσα σ' αυτό το πλαίσιο κινείται και το αντικείμενο αυτής της Διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της μελέτης ήταν να αναδείξει τη συμβολή που μπορεί να έχει η χρήση μοντέλων προσομοίωσης και πληροφορικών αλγορίθμων στην περιγραφή και την αντιμετώπιση των εκτεταμένων αλληλεξαρτήσεων που παρουσιάζουν οι λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ, με απώτερο στόχο τη χρησιμοποίηση αυτών των εργαλείων για τη βελτιστοποίηση των τελευταίων.

Ειδικότερα, η ερευνητική συμβολή της παρούσας Διατριβής συνοψίζεται ως ακολούθως: Αρχικά, η λεπτομερής και συστηματική καταγραφή της δομής και λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ αποτελεί βασικό εργαλείο αναφοράς, για την περαιτέρω διερεύνηση των περιοχών που αποτελούν πεδίο εφαρμογής μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας με σκοπό την βελτίωση της επίδοσης και της ανταγωνιστικότητας των ΣΕΜΠΟ.

Στη συνέχεια, με την ανάπτυξη ενός καινοτόμου ολοκληρωμένου ιεραρχικού πλαισίου λήψης αποφάσεων για τις λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ, αλλά και την αποτύπωση των αλληλεξαρτήσεων αυτών, δημιουργείται ένα σημαντικό πρώτο βήμα για τη διενέργεια συστηματικής έρευνας πάνω στην εξεταζόμενη περιοχή, καθώς δίνεται και η ευκαιρία στις επιχειρήσεις να κατανοήσουν το πλαίσιο των ζητημάτων, τα οποία θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους. Στη συνέχεια, με την ανάπτυξη ενός προτύπου προσομοίωσης των χερσαίων λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ δίνεται η δυνατότητα να εξεταστούν όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία της παράδοσης - παραλαβής. Έτσι, θα εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία και τους τρόπους βελτίωσης της απόδοσης που βασίζονται σε αποφάσεις που δεν επηρεάζουν τους εμπλεκόμενους φορείς και συνεργάτες (stakeholders).

Επιπροσθέτως, στο στρατηγικό επίπεδο, για πρώτη φορά, μελετάται η εφαρμογή του χρονικού προγραμματισμού στις αφίξεις των φορτηγών με τη χρήση χρονικού παραθύρου. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου έχει σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης της δυναμικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών των ΣΕΜΠΟ, με τη χρήση της οποίας δεν είναι αναγκαίο να ληφθούν αποφάσεις που απαιτούν μεγάλες επενδύσεις σε μηχανολογικό και ανθρώπινο δυναμικό.

Τέλος, αναπτύσσονται αλγόριθμοι που βελτιστοποιούν σε τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο συγκεκριμένες λειτουργίες που δεν έχουν αναφερθεί στην προσιτή σε μας βιβλιογραφία.

Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω συμβολή, μπορεί να ειπωθεί συμπερασματικά ότι η συνεισφορά της Διατριβής συνίσταται σε:

- Συστηματική καταγραφή της δομής και των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ.
- Πρακτικό ενδιαφέρον της ανάπτυξης του μεθοδολογικού ιεραρχικού πλαισίου λήψης αποφάσεων στις διοικήσεις σταθμών εμπορευματοκιβωτίων λιμένων.
- Ανάπτυξη εργαλείων λήψης αποφάσεων μέσω μοντέλου προσομοίωσης, με απώτερο στόχο τη χρησιμοποίησή τους για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ σε στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο.
- Προσδιορισμό των βέλτιστων κανόνων για την εφαρμογή του χρονικού προγραμματισμού στις αφίξεις των φορτηγών με τη χρήση χρονικού παραθύρου, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των υφιστάμενων πόρων της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής (στρατηγικό επίπεδο).
- Ανάπτυξη νέων αλγορίθμων βελτιστοποίησης, συγκεκριμένων λειτουργιών, που λαμβάνουν χώρα στους ΣΕΜΠΟ με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης των ΣΕΜΠΟ (τακτικό/επιχειρησιακό επίπεδο).

- Εφαρμογή των παραπάνω κανόνων και ενσωμάτωση των αλγορίθμων οδηγώντας στη βελτίωση της απόδοσης των ΣΕΜΠΟ, τη μείωση των ρύπων που απορρέει από τη αντίστοιχη μείωση του χρόνου αδράνειας των φορτηγών, και τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών γύρω από τους ΣΕΜΠΟ.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑΣ



**ΣΤΑΘΜΟΙ  
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ**

<b>2.1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ.....</b>	<b>15</b>
2.1.1. ΔΟΜΗ .....	15
2.1.2. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....	18
2.1.2.1. Γερανογέφυρες .....	18
2.1.2.2. Μέσα οριζόντιας μεταφοράς.....	20
2.1.3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ .....	21
2.1.3.1. Φορτοεκφόρτωση πλοίου .....	22
2.1.3.2. Μεταφορά κρηπιδώματος .....	23
2.1.3.3. Λειτουργία Χ/Σ .....	23
2.1.3.4. Παραλαβή/Παράδοση .....	24
2.1.4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	26
2.1.5. ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΔΟΣΗΣ .....	27
2.1.5.1 Ποσοστά χρήσης (utilization measures) .....	28
2.1.5.2 Ποιότητα παροχής υπηρεσιών (quality of service).....	29
2.1.5.3 Δείκτες παραγωγής (production measures) .....	29
2.1.5.4 Δείκτες παραγωγικότητας (productivity measures) .....	30
2.1.5.5 Δείκτης συμφόρησης (congestion measure) .....	31
<b>2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΣΕΜΠΟ.....</b>	<b>31</b>
2.2.1. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑ .....	33
2.2.1.1. Εμπορευματοκιβώτια εισαγωγής.....	33
2.2.1.2. Προστοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής .....	34
2.2.1.3. Διασκορπίζουσα στοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής.....	34
2.2.2. ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ .....	35
2.2.2.1. Οριζόντιες μεταφορές στο χώρο στοιβασίας .....	35
2.2.2.2. Οριζόντια μεταφορά – Εσωτερικές μετακινήσεις .....	37
2.2.2.3. Μεταφορές στην ενδοχώρα .....	37
2.2.2.4. Βελτιστοποίηση μεταφοράς στοιβασίας με ελαστικοφόρες γερανογέφυρες.....	39
2.2.3. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΠΛΕΥΡΙΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ .....	39
2.2.4. ΠΛΑΝΟ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ .....	40
2.2.5. ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΩΝ.....	41





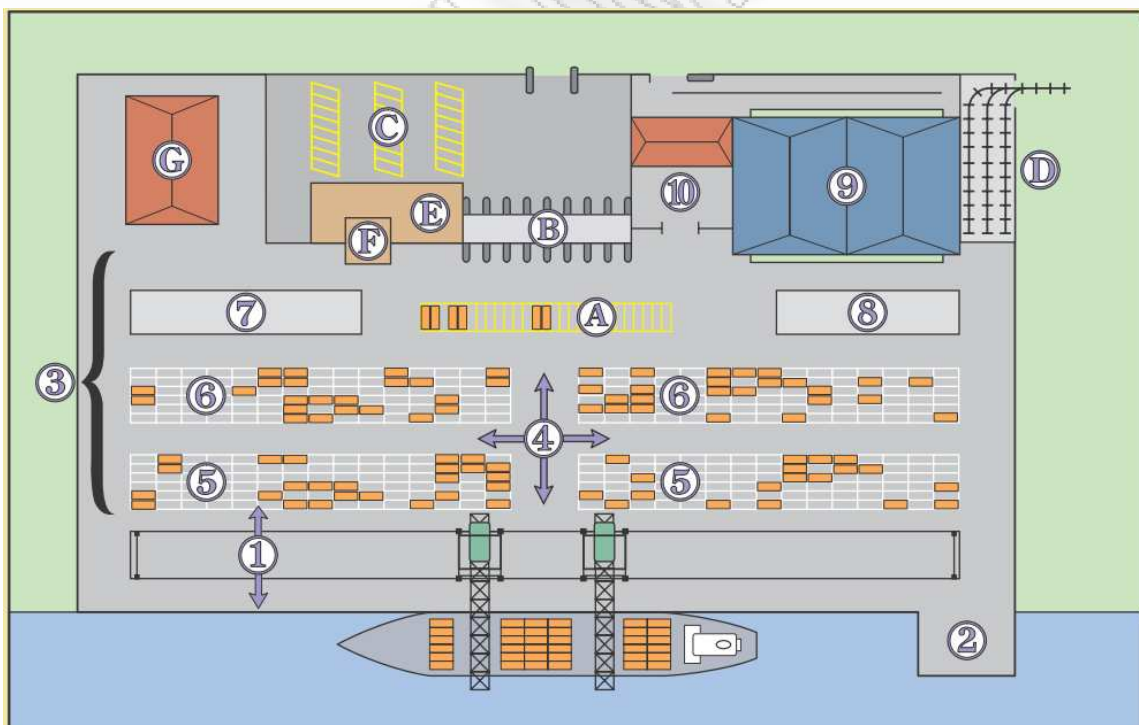
*“Engineering is the professional art  
of applying science to the optimum  
conversion of natural resources to the benefit of man”*

Ralph J. Smith

## 2.1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

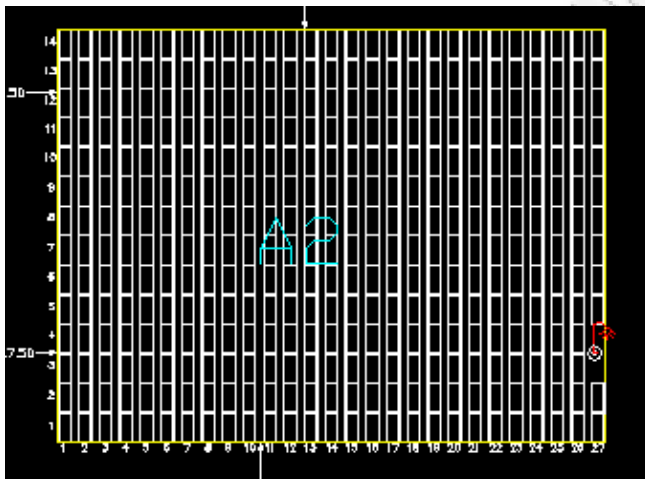
### 2.1.1. Δομή

Σε γενικές γραμμές, οι ΣΕΜΠΟ μπορεί να περιγραφούν ως ανοιχτά συστήματα ροής υλικών με δύο σταθμούς εργασίας. Αυτοί είναι το κρηπίδωμα, όπου γίνεται η φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων, και οι χώροι στη χερσαία ζώνη, όπου τα Ε/Κ φορτώνονται και εκφορτώνονται στα/από φορτηγά και βαγόνια. Έπειτα, τα Ε/Κ αποθηκεύονται σε στοιβάδες ανάλογα με τον προορισμό τους. Οι βασικές περιοχές του ΣΕΜΠΟ περιγράφονται στη συνέχεια (εικ. 2.1).



ΕΙΚΟΝΑ 2.1. Σχεδιάγραμμα τυπικού ΣΕΜΠΟ. Α: Περιοχή παράδοσης/παραλαβής, Β: Πύλη, C: Χώροι στάθμευσης, D: Τερματικός σιδηροδρομικός σταθμός, E: Κτήριο διοίκησης, F: Κέντρο ελέγχου, G: Μηχανουργείο, 1: Κρηπίδωμα, 2: Ράμπα RO-RO, 3: Αυλή Ε/Κ, 4: Δρόμοι διέλευσης/διάδρομοι, 5: Τομέας εξαγωγής, 6: Τομέας εισαγωγής, 7: Ειδικό χώρο (π.χ. ψυγεία), 8: Ειδικό χώρο μακράς αποθήκευσης, 9: Αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ, 10: Χώροι ελέγχων.

**1. Περιοχή φορτοεκφόρτωσης (κρηπίδωμα).** Η βασική εγκατάσταση του ΣΕΜΠΟ είναι το κρηπίδωμα (εικ. 2.1.1), όπου πλευρίζει το πλοίο για να εκφορτώσει και να φορτώσει το φορτίο του. Το μήκος του κρηπιδώματος και το βάθος των υδάτων πρέπει να είναι κατάλληλα για την υποδοχή των διάφορων τύπων και μεγεθών πλοίων που προσεγγίζουν τακτικά το λιμάνι. Το κρηπίδωμα πρέπει να έχει τέτοιο πλάτος, ώστε να δέχεται μεγάλες γερανογέφυρες κρηπιδώματος που εξυπηρετούν τους περισσότερους ΣΕΜΠΟ στη φόρτωση και εκφόρτωση των πλοίων. Πρέπει να διαθέτει επίσης χώρο για την απόθεση των Ε/Κ, ο οποίος επιπλέον θα δίνει στο μηχάνημα μετακίνησης των Ε/Κ τη δυνατότητα να μανουβράρει, να περισυλλέγει και να αποθέτει τα Ε/Κ ή να προσπερνά άλλα μηχανήματα με ασφάλεια. Χρειάζεται ακόμη χώρος, ώστε τα Ε/Κ να μπορούν να στοιβάζονται προσωρινά στο πίσω μέρος του κρηπιδώματος, σε περίπτωση που συλλέγονται από το πλοίο, ώστε να επιτρέπουν την πρόσβαση σε Ε/Κ στοιβαγμένα κάτω από αυτά. Όταν τα εισερχόμενα Ε/Κ εκφορτωθούν, τα στοιβαγμένα Ε/Κ επαναφορτώνονται.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2. Σχηματικό διάγραμμα τομέα Α του χώρου στοιβασίας.

**2. Χώρος στοιβασίας (Χ/Σ) ή αυλή (εικ. 2.2).** Πίσω από το κρηπίδωμα υπάρχει ένας εκτεταμένος χώρος, που καταλαμβάνει περίπου το 60-70% του συνολικού χώρου του ΣΕΜΠΟ και χρησιμοποιείται κυρίως για τη στοιβασία των Ε/Κ που προορίζονται για περαιτέρω μετακίνηση. Η αυλή είναι χωρισμένη σε σαφώς οριοθετημένους και αριθμημένους τομείς αποθήκευσης, οι οποίοι συνδέονται με δρόμους διέλευσης οχημάτων και διαδρόμους, κατά μήκος των οποίων διέρχονται τα οχήματα και τα μηχανήματα. Συνεπώς, κάθε θέση εδάφους στο Χ/Σ ορίζεται από τον τομέα, τη σειρά, τη στήλη και το ύψος. Για παράδειγμα, στην εικόνα 2.1 η πρώτη θέση ορίζεται ως «Α-1,1,1». Ορισμένοι τομείς προορίζονται για εξαγωγές (συνήθως στην αυλή προς την πλευρά της θάλασσας) και κάποιοι άλλοι για εισαγωγές (συνήθως στην αυλή από την πλευρά της ξηράς). Η ακριβής χωροταξική διάταξη των τομέων εξαρτάται από τον τύπο των μηχανημάτων μεταφοράς που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ της αυλής και άλλων περιοχών. Ορισμένοι τομείς του Χ/Σ προορίζονται ειδικά για Ε/Κ «ειδικής» χρήσης:

Ε/Κ-ψυγεία, Ε/Κ που μεταφέρουν φορτία υπερβολικά μεγάλου ύψους και πλάτους, Ε/Κ που μεταφέρουν επικίνδυνα φορτία κ.ο.κ. Συνήθως, ένας άλλος χώρος προορίζεται ειδικά για τη στοιβασία κενών Ε/Κ και έχει ιδιαίτερο τρόπο διαχείρισης.

**3. ΑΣΑΕ.** Σε κάποιους ΣΕΜΠΟ υπάρχει μια αποθήκη συσκευασίας/αποσυσκευασίας Ε/Κ (ΑΣΑΕ), για την εκκένωση ή πλήρωση Ε/Κ (εικ. 2.1.9).

**4. Χώροι ελέγχων.** Υπάρχουν διάφοροι χώροι στις αυλές Ε/Κ που προορίζονται για ποικίλες λειτουργίες ελέγχων (εικ. 2.1.10). Για παράδειγμα, διατίθεται συνήθως ξεχωριστός υπαίθριος και στεγασμένος αποθηκευτικός χώρος για τον τελωνειακό έλεγχο των Ε/Κ και του περιεχομένου τους.

**5. Περιοχή παράδοσης/παραλαβής.** Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής, είναι το μέρος εκείνο του ΣΕΜΠΟ, στο οποίο επιτρέπεται η πρόσβαση στα οδικά οχήματα για την παράδοση και παραλαβή των Ε/Κ. Υπάρχουν δύο ξεχωριστοί τύποι περιοχών παράδοσης/παραλαβής, ανάλογα με τον τύπο των μηχανημάτων μεταφοράς Ε/Κ που χρησιμοποιούνται στον ΣΕΜΠΟ:

- α. Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής (εικ. 2.1.Α), που αποτελεί ξεχωριστό οριοθετημένο χώρο στάθμευσης (interchange area) εντός της αυλής Ε/Κ. Τα Ε/Κ μεταφέρονται με τα μηχανήματα μεταφοράς από και προς την περιοχή παράδοσης/παραλαβής όπου σταθμεύουν τα οδικά οχήματα μεταφοράς που θα τα παραλάβουν/παραδώσουν.
- β. Η περιοχή παράδοσης/παραλαβής (εικ. 2.1.4), που αποτελείται από μια σειρά διαδρόμων κατά μήκος της πλευράς κάθε μπλοκ αποθήκευσης. Τα οδικά οχήματα κατευθύνονται προς την αυλή Ε/Κ και παραλαμβάνουν τα Ε/Κ από θέσεις κατά μήκος των στοιβών, όπου τα μηχανήματα στοιβασίας ανυψώνουν και αποθέτουν τα Ε/Κ.

**6. Τερματικός σιδηροδρομικός σταθμός.** Για τα Ε/Κ που φθάνουν ή αναχωρούν σιδηροδρομικώς (εικ. 2.1.Δ), ενδέχεται να υπάρχει τερματικός σταθμός παραλαβής/αποστολής εντός ή εκτός του ΣΕΜΠΟ.

**7. Διοικητικά γραφεία.** Εντός του ΣΕΜΠΟ παρέχονται διοικητικά γραφεία (εικ. 2.1.Ε), όπου στεγάζεται το προσωπικό που είναι επιφορτισμένο με τον προγραμματισμό, τις διοικητικές δραστηριότητες και τις διαδικασίες τεκμηρίωσης.

**8. Μηχανουργείο.** Στο ΣΕΜΠΟ υπάρχει εγκατάσταση συντήρησης των ακριβών μηχανημάτων που απαιτούν τακτική συντήρηση και επισκευή (εικ. 2.1.Γ), ώστε να εξασφαλίζεται η εύρυθμη λειτουργία τους.

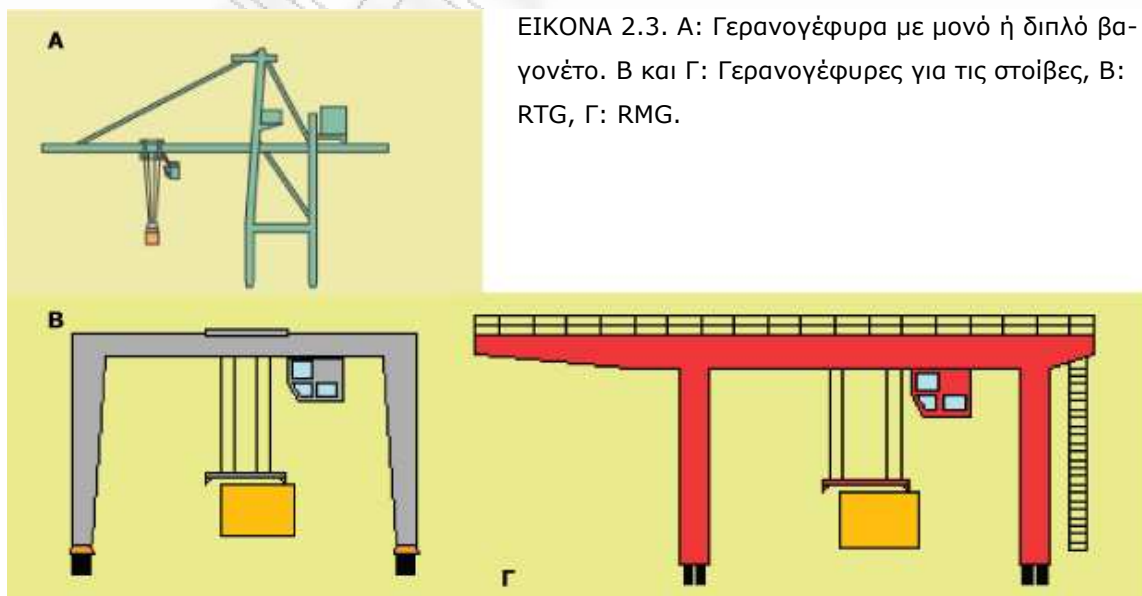
### 2.1.2. Μηχανολογικός εξοπλισμός

Συνήθως οι ΣΕΜΠΟ περιγράφονται πολύ συγκεκριμένα από τις δυνατότητες του εξοπλισμού τους και τη δυνατότητα αποθήκευσης. Από πλευράς εφοδιαστικής, όμως, οι ΣΕΜΠΟ αποτελούνται από δύο στοιχεία, τα μέσα αποθήκευσης και τα μέσα μεταφοράς.

Οι χώροι αποθήκευσης, τα πλοία, τα τρένα και τα φορτηγά θεωρούνται ως μέσα αποθήκευσης. Τα αποθέματα ορίζονται στατικά από την ικανότητα αποθήκευσης Ε/Κ, από τη δυναμική άποψη, όμως, η πράξη είναι αυτή που καθορίζει τον τρόπο και το χώρο της αποθήκευσης. Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά ανάμεσα σ' αυτούς τους τύπους αποθέματος, αλλά μόνο διαφορά στη χωρητικότητα και το περιεχόμενο. Η πορεία και ο προγραμματισμός των πλοίων, των τρένων και των φορτηγών δεν ανήκει στις λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ. Παρόλα αυτά, μπορεί και αυτά να θεωρηθούν ως μέσα αποθήκευσης. Για την ειδική αποθήκευση, τα πλοία και τα τρένα χρειάζονται συγκεκριμένες πληροφορίες, που να ορίζουν τη θέση για κάθε Ε/Κ. Η αλληλουχία των εργασιών μεταφοράς πρέπει να είναι καθορισμένη. Όχι μόνο οι ομοιότητες, αλλά κυρίως οι ιδιαιτερότητες κάθε στοιχείου και εξοπλισμού συνεκτιμώνται με τις μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας και δίνουν πληθώρα προσεγγίσεων και λύσεων.

#### 2.1.2.1. Γερανογέφυρες

**Γερανογέφυρες με μονό ή διπλό βαγονέτο.** Διαφορετικοί τύποι γερανογεφυρών (εικ. 2.3.Α) χρησιμοποιούνται στους ΣΕΜΠΟ. Οι γερανογέφυρες που χρησιμοποιούνται στις αποβάθρες για τη φορτοεκφόρτωση πλοίων, παίζουν το σημαντικότερο ρόλο. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων γερανογεφυρών, οι γερανογέφυρες με μονό και οι γερανογέφυρες με διπλό βαγονέτο. Τα βαγονέτα κινούνται μαζί με τις γερανογέφυρες και είναι



ΕΙΚΟΝΑ 2.3. Α: Γερανογέφυρα με μονό ή διπλό βαγονέτο. Β και Γ: Γερανογέφυρες για τις στοιβές, Β: RTG, Γ: RMG.

εξοπλισμένα με ειδικές κλίμακες για τη συλλογή των Ε/Κ. Οι σύγχρονες κλίμακες επιτρέπουν την κίνηση δύο Ε/Κ 20 ποδών ταυτόχρονα. Συνήθως στους ΣΕΜΠΟ υπάρχουν γερανογέφυρες μονού βαγονέτου. Μεταφέρουν τα Ε/Κ από τα πλοία στην ακτή και τα τοποθετούν στην αποβάθρα ή σε κάποιο όχημα (αντιστρόφως για τον κύκλο φόρτωσης). Οι γερανογέφυρες με ένα βαγονέτο είναι χειροκίνητες. Οι διπλού βαγονέτου γερανογέφυρες αποτελούν καινοτομία και χρησιμοποιούνται μόνο σε ορισμένους σταθμούς. Το κύριο βαγονέτο μεταφέρει το Ε/Κ από το πλοίο σε μια πλατφόρμα, ενόσω το δεύτερο βαγονέτο παίρνει το Ε/Κ από την πλατφόρμα και το πηγαίνει στην ακτή. Το πρώτο είναι χειροκίνητο, ενώ το δεύτερο αυτόματο. Στις σύγχρονες γερανογέφυρες και στους δύο τύπους, ο οδηγός υποστηρίζεται μ' ένα ημιαυτόματο οδηγητικό σύστημα. Η μέγιστη επίδοση των γερανογεφυρών εξαρτάται από τον τύπο τους. Η θεωρητική επίδοσή τους κυμαίνεται στα 50–60 κιβώτια/ώρα, ενώ στην πράξη η επίδοση είναι της τάξης των 22–30 κιβώτια/ώρα.

**Γερανογέφυρες για τις στοίβες.** Μια άλλη κατηγορία είναι οι γερανογέφυρες που απευθύνονται στις στοίβες, των οποίων υπάρχουν τρεις τύποι: οι γερανογέφυρες στοιβασίας επί σιδηροτροχιών (rail-mounted yard gantry crane, RMG), οι ελαστικοφόρες γερανογέφυρες (rubber-tired yard gantry crane, RTG) (εικ. 2.3.Β και Γ) και οι εναέριας γερανογέφυρες (overhead bridge crane, OBC). Οι ελαστικοφόρες είναι πιο ευέλικτες λειτουργικά, οι γερανογέφυρες αποβάθρας είναι πιο σταθερές και οι εναέριας ανυψώνουν μπετόν και ασφάλινες κολώνες. Για να αποφεύγονται λειτουργικές διαταραχές και για να αυξάνεται η παραγωγικότητα και η αξιοπιστία, συνήθως δύο γερανογέφυρες αποβάθρας απασχολούνται παράλληλα ανά τομέα αποθήκευσης.

Τα Ε/Κ που πρέπει να μεταφερθούν από τη μια πλευρά της περιοχής στην άλλη, πρέπει να προφυλάσσονται στη μεταβατική περιοχή. Τα συστήματα διπλού RMG είναι μια καινοτομία. Αποτελούνται από δύο RMG διαφορετικών διαστάσεων, που έχουν τη δυνατότητα να αντικαθιστά το ένα το άλλο. Αποτέλεσμα αυτού είναι μια ελαφρώς αυξημένη παραγωγικότητα του συστήματος. Παρόλο που οι περισσότερες γερανογέφυρες είναι χειροκίνητες, υπάρχει η τάση, τα τελευταία χρόνια, για αυτοματισμό στην οδήγηση. Η θεωρητική επίδοση των γερανογεφυρών είναι περίπου 20 κινήσεις/ώρα.

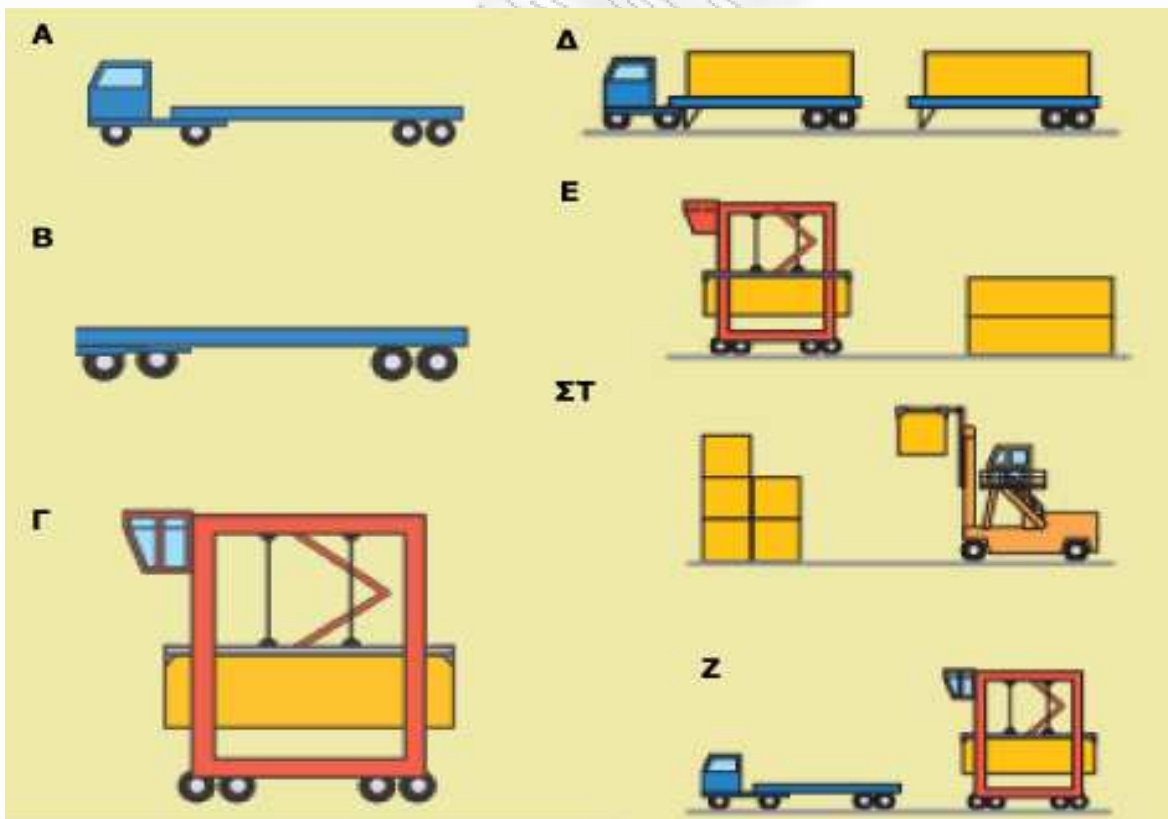
Μερικές γερανογέφυρες χρησιμοποιούνται για τη φορτοεκφόρτωση τρένων και έχουν άνοιγμα βραχίονα μερικές γραμμές (περίπου έξι). Τα Ε/Κ, που είναι για μεταφόρτωση από και προς τα βαγόνια, προ-αποθηκεύονται σε έναν προστατευμένο χώρο κοντά στην περιοχή αποθήκευσης, ενώ άλλα μηχανικά μέσα χρησιμοποιούνται για να στοιβάζουν ελαφριά Ε/Κ, ιδίως τα κενά.

2.1.2.2. Μέσα οριζόντιας μεταφοράς

Πληθώρα οχημάτων απασχολούνται για την οριζόντια μεταφορά, τόσο για τη μεταφορά και αποθήκευση σε πλοία, όσο και για τις διαδικασίες στον υπόλοιπο χώρο του ΣΕΜΠΟ. Τα μέσα οριζόντιας μεταφοράς διακρίνονται σε παθητικά και σε ενεργά (εικ. 2.4).

**Παθητικά μέσα οριζόντιας μεταφοράς.** Πρόκειται για μεταφορικά μέσα που δεν είναι ικανά να ανυψώσουν Ε/Κ από μόνα τους. Η φορτοεκφόρτωσή τους γίνεται με γερανογέφυρες. Φορτηγά με ρυμούλκες, πολυ-ρυμουλκά και αυτόματα ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Τεχνολογικά εξελιγμένο είδος παθητικών φορτηγών είναι τα ρομποτικά φορτηγά (automated guided vehicles, AGV), τα οποία είναι ικανά να κινούνται σε οδικό δίκτυο που υπάρχουν ηλεκτρικές γραμμές ή ράγες μεταφοράς στο έδαφος, για να ελέγχουν τη θέση τους.

Κάθε AGV μπορεί να φορτώσει ένα 40'/45' Ε/Κ ή δύο 20' Ε/Κ, είναι δηλαδή ικανό για πιθανές λειτουργίες πολλαπλής φόρτωσης. Τα συστήματα με AGV απαιτούν εγκαταστάσεις υψηλού κόστους και συνεπώς η λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι συμφέρουσα



ΕΙΚΟΝΑ 2.4. Μέσα οριζόντιας μεταφοράς και συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ. Α: Παθητικό φορτηγό. Β: Ρομποτικό φορτηγό (AGV) Γ: Διασκελετικός μεταφορέας σε διαδικασία μεταφοράς, Δ: Επικαθήμενο ρυμουλκούμενο (σασί), Ε: Διασκελετικός μεταφορέας σε διαδικασία στοίβασης, ΣΤ: Ανυψωτικό μηχάνημα, Ζ: Σύστημα ανταπόκρισης διασκελετικών μεταφορέων.

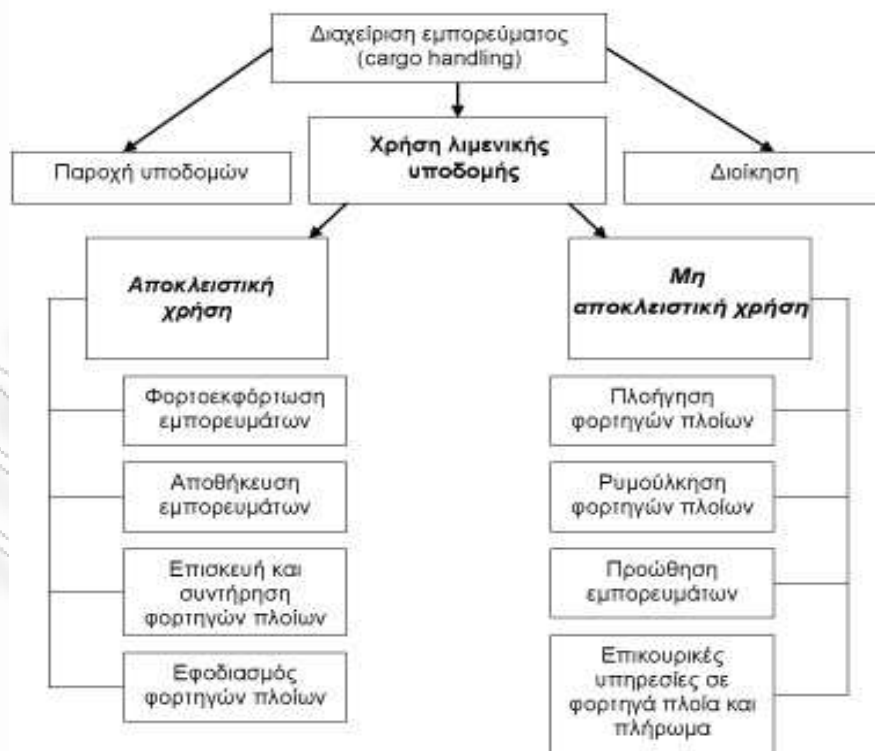


σε περιοχές όπου το εργατικό κόστος είναι υψηλό. Σήμερα, είναι σε λειτουργία στο Ρότερνταμ και στο Αμβούργο, σε συνδυασμό με αυτόματες γερανογέφυρες.

**Ενεργά μέσα οριζόντιας μεταφοράς.** Πρόκειται για μεταφορικά μέσα που, εκτός της μεταφοράς, είναι ικανά να ανυψώνουν Ε/Κ. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν οι διασκελετικοί μεταφορείς και τα περνοφόρα οχήματα. Οι διασκελετικοί μεταφορείς (straddle carriers) είναι τα σημαντικότερα μέσα οριζόντιας μεταφοράς. Δεν μεταφέρουν Ε/Κ μόνο, αλλά μπορούν και να τα στοιβάξουν στο χώρο στοιβασίας. Επίσης, μπορούν να θεωρηθούν ως «γερανοί», με την ευρεία έννοια, αφού έχουν ελεύθερη πρόσβαση στα Ε/Κ, ανεξάρτητα από τη θέση τους στην προκυμαία. Οι διασκελετικοί μεταφορείς επιτρέπουν τη μεταφορά Ε/Κ ακόμα και 20' ή 40', και είναι επίσης ικανοί για ταυτόχρονη μεταφορά και στοιβασία δύο Ε/Κ 20'. Εξαιτίας των εξαρτημάτων τους, είναι πολύ ευέλικτοι και δυναμικοί και υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία. Συνήθως, είναι χειροκίνητοι και ικανοί να στοιβάξουν 2 ή 3 Ε/Κ σε ύψος, και να μετακινήσουν ένα Ε/Κ πάνω από 2 ή 3 άλλα.

### 2.1.3. Λειτουργίες

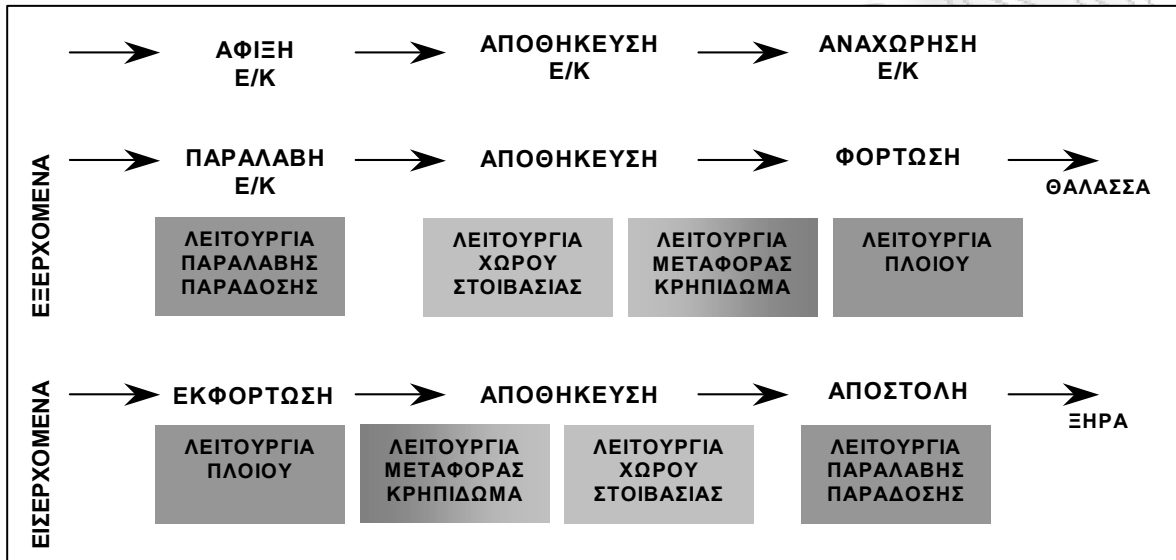
Στην εικόνα 2.5, παρουσιάζονται οι τυπικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ, όπως αυτές μπορούν να διακριθούν ανάλογα



ΕΙΚΟΝΑ 2.5. Παρουσίαση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση εμπορευμάτων στους ΣΕΜΠΟ.

με το βαθμό αποκλειστικότητας της χρήσης των λιμενικών υποδομών [3].

Τα στοιχεία που συνθέτουν τη λειτουργία του ΣΕΜΠΟ, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις αλληλουχίες δραστηριοτήτων, άφιξη, αποθήκευση και αναχώρηση Ε/Κ [4], οι οποίες στην πραγματικότητα, αντιστοιχούν σε τέσσερα βασικά συστήματα λειτουργιών, που αναλύονται στη συνέχεια (εικ. 2.6).



ΕΙΚΟΝΑ 2.6. Σύνοψη των λειτουργιών του ΣΕΜΠΟ.

2.1.3.1. Φορτοεκφόρτωση πλοίου

Η φορτοεκφόρτωση του πλοίου συνίσταται στη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ του κρηπιδώματος και του πλοίου. Για ένα *εισερχόμενο* Ε/Κ, η λειτουργία αρχίζει με τη γερανογέφυρα του κρηπιδώματος να χαμηλώνει και να προσαρτά το πλαίσιο ανάρτησής του (spreader) στο πάνω μέρος του Ε/Κ, όπως αυτό βρίσκεται στη θέση στοιβασίας του επί του πλοίου. Το πλαίσιο ανάρτησης ασφαλίζει πάνω στο Ε/Κ και, στη συνέχεια, απομακρύνεται από τη στοιβασία πάνω από την πλευρά του πλοίου προς το κρηπίδωμα. Τοποθετείται είτε πάνω σε ρυμουλκούμενο που αναμένει κάτω από τη γερανογέφυρα, είτε πάνω στην επιφάνεια του κρηπιδώματος.

Για ένα *εξερχόμενο* Ε/Κ, η φορτοεκφόρτωση συνίσταται στην προσάρτηση του πλαισίου ανάρτησης στο Ε/Κ, όπως αυτό βρίσκεται στο κρηπίδωμα (απευθείας ή πάνω σε ρυμουλκούμενο), στην ανύψωση του Ε/Κ πάνω στο πλοίο και στην τοποθέτησή του στη θέση στοιβασίας, από την οποία θα μπορεί, εν ευθέτω χρόνο, να εκφορτωθεί γρήγορα και εύκολα. Καθώς το πλοίο μπορεί να προσεγγίσει πολλούς λιμένες πριν από την άφιξή του στο συγκεκριμένο λιμένα εισαγωγής, το Ε/Κ πρέπει να στοιβαχτεί σε θέση που δεν θα παρεμποδίζεται από επακόλουθη έλευση Ε/Κ. Για ένα πλοίο Ro-Ro (φόρτωση/εκφόρτωση με χρήση ράμπας, roll-on-roll-off), φυσικά, η φορτοεκφόρτωση δεν α-



παιτεί γερανογέφυρα. Αντιθέτως, τα Ε/Κ μεταφέρονται στο πλοίο με τη βοήθεια ράμπας από το κρηπίδωμα, με ρυμουλκούμενο ή παρόμοιο μηχάνημα. Το Ε/Κ μπορεί να στοιβαχτεί στο πλοίο, ακόμη και όταν βρίσκεται επάνω στο ρυμουλκούμενο ή σε οδικό όχημα ή μπορεί να συλλεχθεί από το ρυμουλκούμενο και να στοιβαχτεί στο κατάστρωμα.

#### 2.1.3.2. Μεταφορά κρηπιδώματος

Η μεταφορά κρηπιδώματος συνίσταται στη μετακίνηση των Ε/Κ μεταξύ του κρηπιδώματος και της αυλής. Για τα *εισερχόμενα* Ε/Κ, η μεταφορά ξεκινά με την ανύψωση του Ε/Κ, που βρίσκεται στην επιφάνεια του κρηπιδώματος κάτω από τη γερανογέφυρα, από τα μηχανήματα μεταφοράς ή με την απόθεση του κιβωτίου από τη γερανογέφυρα κατευθείαν πάνω στο ρυμουλκούμενο. Τα μηχανήματα, στη συνέχεια, μεταφέρουν το Ε/Κ, ακολουθώντας μια προκαθορισμένη διαδρομή, στον κατάλληλο τομέα της αυλής Ε/Κ. Τα μηχανήματα μεταφοράς στοιβάζουν το Ε/Κ στη θέση αποθήκευσης ή σταματούν σε κάποιο σημείο παράδοσης/παραλαβής, ώστε να επιτραπεί στα μηχανήματα στοιβασίας να ανυψώσουν το Ε/Κ και να εκτελέσουν την τελική αυτή κίνηση στη στοιβα.

Για τα *εξερχόμενα* Ε/Κ, η εργασία ξεκινά με την ανύψωση του Ε/Κ από τη θέση στοιβασίας, από τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος ή από άλλη συσκευή ανύψωσης, η οποία τα αποθέτει επάνω στο ρυμουλκούμενο. Η διαδρομή μεταφοράς προς την πλευρά του κρηπιδώματος είναι, στην ιδανική περίπτωση, μια ξεχωριστή διαδρομή από αυτή που χρησιμοποιείται για τις εισαγωγές, προς αποφυγή επικίνδυνων διασταυρώσεων. Τέλος, το Ε/Κ τοποθετείται στην επιφάνεια του κρηπιδώματος κάτω από τους πυλώνες του γερανού ή ανυψώνεται κατευθείαν από το ρυμουλκούμενο μεταφοράς από τη γερανογέφυρα.

#### 2.1.3.3. Λειτουργία Χ/Σ

Το κομμάτι της λειτουργίας αυτής που αφορά την αποθήκευση Ε/Κ είναι κατά βάση μια μη ενεργός λειτουργία, αφού αφορά απλώς την ασφαλή κράτηση των Ε/Κ μέχρι να είναι έτοιμα για μετακίνηση με σκοπό την αποστολή ή την φόρτωση. Στην πράξη, μπορεί να υπάρχει μηχάνημα που να προορίζεται αποκλειστικά για την αυλή Ε/Κ, προκειμένου να μεταφέρει Ε/Κ από και προς τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος. Στην περίπτωση αυτή, η στοιβασία και η αποστοιβασία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν στοιχεία της λειτουργίας της αυλής Ε/Κ. Σε άλλα συστήματα, τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος μπορεί να εισέρχονται απευθείας στις στοιβες, αποθέτοντας και ανυψώνοντας τα Ε/Κ στην αρχή και στο τέλος της μεταφοράς τους, από και προς την πλευρά του κρηπιδώματος. Στην περίπτωση αυτή, η στοιβασία και αποστοιβασία μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελούν μέρος της λειτουργίας μεταφοράς μέσω κρηπιδώματος.

Ωστόσο, όποιο σύστημα στοιβασίας κι αν χρησιμοποιείται, υπάρχουν ακόμα μετακινήσεις Ε/Κ εντός της στοιβάς, προκειμένου να εξασφαλιστεί η πρόσβαση στα Ε/Κ που είναι αποθηκευμένα κάτω από τις επάνω στρώσεις και η επαναδιευθέτησή τους πριν από την άφιξη του πλοίου. Αυτές οι «μετακινήσεις Ε/Κ εντός του Χ/Σ » αποτελούν σημαντικά στοιχεία της λειτουργίας της αυλής Ε/Κ.

#### *2.1.3.4. Παραλαβή/Παράδοση*

Η λειτουργία παραλαβής/παράδοσης αποτελείται από δύο ξεχωριστά, αλληλεξαρτώμενα υποσυστήματα. Για παράδειγμα, για ένα εισερχόμενο Ε/Κ που αναχωρεί από το ΣΕΜΠΟ οδικώς, πραγματοποιείται πρώτα μετακίνησή του από τη θέση στοιβασίας του στην αυλή προς την περιοχή παραλαβής/παράδοσης, είτε κατά μήκος της στοιβάς (στην οποία οδηγείται το φορτηγό), είτε κοντά στην πύλη (στην οποία μεταφέρεται το Ε/Κ από το μηχάνημα μεταφοράς). Το Ε/Κ τοποθετείται στο ρυμουλκούμενο του φορτηγού στην περιοχή παραλαβής/παράδοσης και, στη συνέχεια, οδηγείται στην επόμενη λειτουργία, που αφορά την κίνηση του φορτηγού μέσω της πύλης. Οι δραστηριότητες εκεί περιλαμβάνουν την επιθεώρηση των Ε/Κ, τον έλεγχο σφραγίδας της πύλης και τις διαδικασίες τεκμηρίωσης που αφορούν την αποστολή του Ε/Κ. Για ένα εξερχόμενο Ε/Κ, οι δραστηριότητες τεκμηρίωσης και επιθεώρησης στην πύλη προηγούνται. Στη συνέχεια, ακολουθεί η μετακίνηση στην περιοχή παραλαβής/παράδοσης, η ανύψωση του Ε/Κ από το ρυμουλκούμενο του φορτηγού και η μεταφορά και εναπόθεσή του στο χώρο στοιβασίας. Αντίστοιχες λειτουργίες υπάρχουν για τα Ε/Κ που φθάνουν και αναχωρούν σιδηροδρομικώς (στον τερματικό σιδηροδρομικό σταθμό) και μέσω εσωτερικής πλωτής οδού (σε τερματικό σταθμό φορτηγίδων).

Όλες αυτές οι δραστηριότητες που συνθέτουν τις διάφορες λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ, δεν είναι ανεξάρτητες. Συσχετίζονται και αλληλεξαρτώνται στενά μεταξύ τους και, κατά συνέπεια, πρέπει να συντονίζονται προσεκτικά για την αποτελεσματική και αποδοτική λειτουργία του ΣΕΜΠΟ. Αν οι δραστηριότητες αποσυντονιστούν, δηλαδή κάποια λειτουργία εκτελείται με πιο αργούς ρυθμούς από τις υπόλοιπες, τότε αυτή η λειτουργία μπορεί να παρεμποδίσει ή να καθυστερήσει κάποια άλλη. Οι λειτουργίες θα χάσουν την ισορροπία τους και η απόδοση του χειρισμού των Ε/Κ θα είναι χαμηλή. Για παράδειγμα, αν έχουν διατεθεί πολύ λίγα μηχανήματα για τη μεταφορά εξερχόμενων Ε/Κ από την αυλή Ε/Κ στο κρηπίδωμα, η λειτουργία της μεταφοράς κρηπιδώματος δεν θα συμβαδίζει με τις δραστηριότητες των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και η φορτοεκφόρτωση του πλοίου θα καθυστερήσει. Κατά συνέπεια, το πλοίο θα παραμείνει στο λιμένα περισσότερο από τον προγραμματισμένο χρόνο. Αν παρατηρηθεί τέτοιου είδους ανισορροπία, μπορούν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, όπως, για παράδειγμα, να μεταφερθούν μηχανήματα από άλλο σημείο του ΣΕΜΠΟ, για να επισπευσθεί η λειτουργία

της μεταφοράς κρηπιδώματος και να συμβαδίσει με τη λειτουργία των γερανογεφυρών κρηπιδώματος.

Σε ΣΕΜΠΟ όπου η στοιβάση των Ε/Κ στην αυλή πραγματοποιείται με ξεχωριστά μηχανήματα από εκείνα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά κρηπιδώματος, η άμεση συνέπεια έλλειψης μηχανημάτων στοιβάσης έχει ως αποτέλεσμα την παρακώλυση της λειτουργίας μεταφοράς κρηπιδώματος. Τα μηχανήματα μεταφοράς κρηπιδώματος θα περιμένουν στην αυλή για την απομάκρυνση των εισερχόμενων εμπορευματοκιβωτίων ή την παράδοση των εξερχόμενων.

Τα προβλήματα όμως, δεν σταματούν εδώ. Η επιβράδυνση του ρυθμού μεταφοράς κρηπιδώματος θα προκαλέσει πολύ γρήγορα καθυστερήσεις στη φορτοεκφόρτωση του πλοίου. Επίσης, θα προκαλέσει δυσκολίες στις δραστηριότητες παραλαβής/παράδοσης, καθώς τα χερσαία μεταφορικά οχήματα θα περιμένουν τα μηχανήματα, προκειμένου να παραλάβουν από αυτά τα εξερχόμενα Ε/Κ και να τα στοιβάξουν στα μπλοκ εξαγόμενων ή να τους παραδώσουν τα εισερχόμενα.

Επίσης, μεγάλες είναι οι επιπτώσεις στη λειτουργία του σταθμού, όταν υπάρχουν καθυστερήσεις στη λειτουργία παραλαβής/παράδοσης. Για παράδειγμα, αν τα εισαγόμενα Ε/Κ δεν παραληφθούν από τον ΣΕΜΠΟ μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την εκφόρτωσή τους από το πλοίο, θα δημιουργηθεί συμφόρηση στους χώρους αποθήκευσης. Οι στοιβές θα μεγαλώνουν και τα Ε/Κ θα πρέπει να μετατοπίζονται συνέχεια, για να παρέχουν πρόσβαση σε εκείνα που απαιτείται, με αποτέλεσμα να απαιτείται περισσότερο χρόνος για την ανάκτηση του επιθυμητού Ε/Κ και να καθυστερεί η χερσαία μεταφορά.

Σοβαρές είναι οι συνέπειες της ανεπάρκειας προσωπικού ή εγκαταστάσεων στην πύλη, όταν αυξάνεται ο ρυθμός άφιξης των οδικών οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, πολύ γρήγορα, τα οδικά οχήματα δημιουργούν ουρές περιμένοντας να περάσουν από τις διατυπώσεις ελέγχου για την παράδοση/παραλαβή Ε/Κ. Κατ' αναλογία, σχηματίζονται ουρές μέσα από την πύλη, από τα οδικά οχήματα που περιμένουν να εξέλθουν του ΣΕΜΠΟ. Αυτές οι καθυστερήσεις δυσχεραίνουν την εξυπηρέτηση των χρηστών του ΣΕΜΠΟ, είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και καταλήγουν εξαιρετικά δαπανηρές. Όταν σχηματίζονται ουρές εντός του ΣΕΜΠΟ, μπορεί επίσης να παρεμποδίζεται η μετακίνηση των μηχανημάτων και οι λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ. Υπάρχει, ακόμη, περίπτωση τα μηχανήματα στοιβάσης να παραμένουν αδρανή, περιμένοντας την άφιξη των οδικών οχημάτων στις περιοχές παραλαβής/παράδοσης. Ανάλογα, είναι προφανές ότι χρειάζεται περισσότερο προσωπικό για τις λειτουργίες της πύλης και περισσότεροι διαθέσιμοι διάδρομοι για την επίσπευση της λειτουργίας παραλαβής/παράδοσης.

#### 2.1.4. Συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας

Στους ΣΕΜΠΟ απαντώνται τέσσερα συστήματα διαχείρισης και λειτουργίας, τα οποία εξαρτώνται από τον τύπο του εξοπλισμού μεταφοράς που χρησιμοποιούν.

**Σύστημα μεταφοράς με πλατφόρμες (σασί).** Στο σύστημα αυτό (εικ. 2.4Δ), το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως στη Βόρεια Αμερική, τα Ε/Κ μεταφέρονται από και προς το ΣΕΜΠΟ με τη χρήση ειδικής πλατφόρμας (wheeled road chassis). Τα εισερχόμενα Ε/Κ εκφορτώνονται απευθείας στα εγκεκριμένα για οδική κυκλοφορία ρυμουλκούμενα, που ονομάζονται *επικαθήμενα ρυμουλκούμενα* (σασί). Στη συνέχεια, μετακινούνται στον αποθηκευτικό χώρο επί του επικαθήμενου ρυμουλκούμενου και παραμένουν εκεί όση ώρα βρίσκονται στο ΣΕΜΠΟ. Όταν το Ε/Κ παραλαμβάνεται, το επικαθήμενο ρυμουλκούμενο προσαρτάται σε μια καμπίνα τράκτορα και μεταφέρεται σύσσωμο στον προορισμό του Ε/Κ. Ομοίως, τα εξαγόμενα κιβώτια φθάνουν στο λιμένα σε ρυμουλκούμενα. Οι οδικοί τράκτορες αποσυνδέονται κατά την παραμονή των Ε/Κ πάνω στα ρυμουλκούμενα στον αποθηκευτικό τους χώρο, μέχρι να μετακινηθούν από τράκτορες του ΣΕΜΠΟ προς την πλευρά του κρηπιδώματος, για ανύψωση από τα ρυμουλκούμενα και για την τοποθέτησή τους στη στοίβα. Ένα τέτοιου είδους αμιγές σύστημα μεταφοράς με πλατφόρμες ή ρυμουλκούμενα δεν απαιτεί τη χρήση άλλων μηχανημάτων χειρισμού.

**Άμεσο σύστημα με διασκελετικούς μεταφορείς (straddle carrier direct system).** Στο σύστημα αυτό (εικ. 2.4Ε), οι διασκελετικοί μεταφορείς μετακινούν τα Ε/Κ μεταξύ της πλευράς του κρηπιδώματος και της αυλής Ε/Κ. Είναι επίσης επιφορτισμένα με τη στοιβασία και αποστοιβασία στην αυλή, καθώς και με τη συλλογή και παράδοση από και προς τα σημεία παραλαβής/παράδοσης. Σε ένα τέτοιο σύστημα, όλες οι μετακινήσεις μεταφοράς κρηπιδώματος, αυλής Ε/Κ και παραλαβής/παράδοσης εκτελούνται με συνέπεια από το συγκεκριμένο τύπο μηχανήματος. Ο Χ/Σ είναι χωρισμένος σε τομείς που αποτελούνται από γραμμές και στήλες. Έτσι, κάθε θέση εδάφους ορίζεται από τον τόμα-γραμμή-στήλη-ύψος. Το μέγιστο ύψος εξαρτάται από τον τύπο του διασκελετικού μεταφορέα. Συνήθως, το ύψος είναι δύο Ε/Κ, γιατί οι μεταφορείς τύπου 2+1 είναι πιο γρήγοροι στη μεταφορά, λόγω του χαμηλότερου κέντρου βάρους τους. Ένα από τα προτερήματα του συστήματος αυτού είναι ότι τα Ε/Κ μπορούν να μεταφερθούν στην προκυμαία κάτω από τη γερανογέφυρα και να τα αφήσουν χωρίς να περιμένουν την κίνηση της γερανογέφυρας.

**Σύστημα με ανυψωτικά μηχανήματα.** Το σύστημα αυτό (εικ. 2.4ΣΤ) λειτουργεί πολύ αποτελεσματικά σε μικρότερους ΣΕΜΠΟ. Το μηχανήμα, είτε είναι φορτωτής πρόσθιας φόρτωσης είτε γερανοφόρο εμπρόσθιας στοιβασίας, ανυψώνει, μεταφέρει και στοιβάζει Ε/Κ σε όλα τα στάδια της λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ: στις γερανογέφυρες, στην αυλή Ε/Κ και στα σημεία παραλαβής/παράδοσης. Οι βασικοί περιορισμοί του συστήματος είναι ότι οι ταχύτητες μεταφοράς δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές και ότι τα μηχανήματα

χρειάζονται διαδρόμους με μεγάλο πλάτος για να στρίβουν. Το σύστημα δεν είναι πολύ κατάλληλο για μεγάλους ΣΕΜΠΟ μεγάλων αποστάσεων μεταφοράς μέσω κρηπιδώματος και υψηλής διακίνησης

**Σύστημα ανταπόκρισης διασκελετικών μεταφορέων.** Στο σύστημα αυτό (εικ. 2.4Z), συνήθως τράκτορες-ρυμουλκούμενα μετακινούν Ε/Κ μεταξύ της αυλής Ε/Κ και της πλευράς του κρηπιδώματος ή άλλων χώρων, όπως η ΑΣΑΕ, ενώ διασκελετικοί μεταφορείς ανυψώνουν τα Ε/Κ από τα σημεία παραλαβής/παράδοσης και τα στοιβάζουν στην αυλή. Η παραλαβή/παράδοση, οδικώς ή σιδηροδρομικώς, πραγματοποιείται μέσω άλλων, ξεχωριστών σημείων παραλαβής/παράδοσης, στα οποία οι διασκελετικοί μεταφορείς επιφορτίζονται με την ανύψωση και απόθεση των Ε/Κ από και προς τις στοίβες.

### 2.1.5. Δείκτες παραγωγικότητας και επίδοσης

Όπως αναλυτικότερα θα περιγραφεί στη συνέχεια, οι ΣΕΜΠΟ είναι επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών. Όπως οποιαδήποτε άλλη τέτοια επιχείρηση, πρέπει να γνωρίζει τον όγκο της επιχειρηματικής της δραστηριότητας, την ποιότητα με την οποία την εκτελεί, τη γνώμη των πελατών της κ.λπ. Με άλλα λόγια, πρέπει να μετρά και να παρακολουθεί την απόδοσή της, γεγονός που αποτελεί το πρώτο βήμα για την επιτυχημένη διοίκησή της. Για την περιγραφή της απόδοσης των ΣΕΜΠΟ δεν υπάρχει ενιαίος δείκτης που να ενσωματώνει όλες τις δραστηριότητές του. Αντίθετα, από τις εκάστοτε διοικήσεις χρησιμοποιείται ένας αριθμός δεικτών, βάσει των οποίων λαμβάνονται οι αποφάσεις. Οι ίδιοι δείκτες μπορούν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση νέων πολιτικών και μεθόδων βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ με την υποβοήθηση προσομοιωτικών μοντέλων.

Οι δείκτες παραγωγικότητας αναφέρονται αφενός στην εξυπηρέτηση του πλοίου στην θέση πλεύρισης και αφετέρου στο ποσοστό χρήσης των πόρων του ΣΕΜΠΟ. Η χρήση των διαφόρων δεικτών εξαρτάται από τη δυνατότητα αντικειμενικού προσδιορισμού τους, ο οποίος στηρίζεται στις επιδόσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού και στη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων κάθε λιμένα. Είναι αναμενόμενο ότι οι διάφοροι χρήστες και πελάτες (stakeholders) των ΣΕΜΠΟ επιδεικνύουν, ανάλογα με τα συμφέροντά τους, ιδιαίτερο ενδιαφέρον για διαφορετικούς κατά περίπτωση δείκτες. Για παράδειγμα, ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης πλοίου αποτελεί, για τις ναυτιλιακές εταιρίες, έναν από τους πιο σημαντικούς δείκτες αξιολόγησης των ΣΕΜΠΟ. Από την άλλη μεριά, όμως, η διοίκηση ενός ΣΕΜΠΟ, στην προσπάθεια να ελαχιστοποιήσει το κόστος λειτουργίας του, ενδιαφέρεται για τη μεγαλύτερη δυνατή χρήση του όλου του μηχανολογικού εξοπλισμού (utilization). Έτσι, τα αντικρουόμενα ή συμπληρωματικά συμφέροντα δημιουργούν την ανάγκη για την εξεύρεση λύσεων που βελτιώνουν διάφορους, κατά περίπτωση, δείκτες.

Στις περιπτώσεις αυτές, για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία της *Ανάλυσης Περιβαλλόμενων Δεδομένων* (Data Envelopment Analysis). Η παραπάνω μεθοδολογία, χρησιμοποιείται σε μοντέλα μέτρησης αποτελεσματικότητας πολλαπλών εισροών και πολλαπλών εκροών και δεν προϋποθέτει την ύπαρξη μιας σχέσης που να συνδέει τις εισροές με τις εκροές μιας παραγωγικής διαδικασίας προϊόντων ή υπηρεσιών. Επίσης, οι εισροές και εκροές μπορεί να εκφράζονται σε εντελώς διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Έτσι, χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της σχετικής αποτελεσματικότητας, δηλ. την αποτελεσματικότητα μιας μονάδας σε σχέση με άλλες συγκρίσιμες μονάδες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συνηθέστεροι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας και της επίδοσης των ΣΕΜΠΟ. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση διαφορετικών πολιτικών λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ.

#### 2.1.5.1 Ποσοστά χρήσης (utilization measures)

Για τη μέτρηση της αποδοτικότητας (efficiency) ενός τερματικού σταθμού χρησιμοποιούνται δείκτες που αναφέρονται στο βαθμό αξιοποίησης (utilization) των διαθέσιμων πόρων, δηλαδή του μηχανολογικού εξοπλισμού και των χερσαίων εγκαταστάσεών του. Οι γενικοί δείκτες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

- **Ποσοστό χρήσης κρηπιδώματος** (quay utilization) είναι το ποσοστό του χρόνου κατάληψης (χρήσης) του κρηπιδώματος και αποδίδεται από τον τύπο: [Ποσοστό χρήσης κρηπιδώματος = Πραγματικός χρόνος κατάληψης του κρηπιδώματος / Χρόνος διαθεσιμότητας του κρηπιδώματος].
- **Ποσοστό χρήσης Χ/Σ** (storage yard utilization) είναι ο λόγος του αριθμού των κατειλημμένων προς το συνολικό αριθμό θέσεων του ΣΕΜΠΟ.
- **Ποσοστό χρήσης πύλης** (gate utilization) είναι ο μέσος όρος της ημερήσιας διακίνησης στην πύλη συγκρινόμενος με την πραγματική δυναμικότητα της πύλης και αποδίδεται από τον τύπο: [Ποσοστό χρήσης πύλης = Μέσος όρος ημερήσιας διακίνησης / Ημερήσια δυναμικότητα πύλης].
- **Ποσοστό χρήσης μηχανολογικού εξοπλισμού** (equipment utilization) είναι ο λόγος του χρόνου που χρησιμοποιήθηκε προς το μέγιστο χρόνο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μηχάνημα, σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο και αποδίδεται από τον τύπο: [Ποσοστό χρήσης μηχανήματος = Χρόνος λειτουργίας / Χρόνος διαθεσιμότητας του μηχανήματος].
- **Ποσοστό χρήσης ΑΣΑΕ** (CFS, container freight storage utilization) είναι ο λόγος της κατειλημμένης προς τη συνολική επιφάνεια της ΑΣΑΕ.

### 2.1.5.2 Ποιότητα παροχής υπηρεσιών (quality of service)

Οι δείκτες αυτοί αποτελούν τους πλέον σημαντικότερους δείκτες αξιολόγησης των ΣΕΜΠΟ, για τις ναυτιλιακές εταιρίες. Για τη διαχειρίστρια εταιρία του τερματικού σταθμού οι δείκτες αυτοί δεν έχουν την απόλυτη προτεραιότητα, διότι η βελτίωση των δεικτών αυτών πολλές φορές προϋποθέτει την ανάλωση πολύτιμων πόρων που με την σειρά τους αυξάνουν και το κόστος λειτουργίας τους. Οι γενικοί δείκτες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

- **Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης πλοίου** (ship turnaround time) είναι το άθροισμα των παρακάτω χρόνων:
  - Χρόνος αναμονής πλοίου
  - Χρόνος πρόσδεσης
  - Χρόνος στο κρηπίδωμα
  - Χρόνος καθυστέρησης μέχρι τον απόπλου.
- **Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών** (total vehicle turnaround time) είναι ο χρόνος μεταξύ της άφιξης του φορτηγού στο σταθμό Ε/Κ και της εξόδου του από αυτόν.
- **Χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών** (vehicle service time) είναι ο χρόνος μεταξύ της άφιξης του φορτηγού στην πύλη εισόδου του ΣΕΜΠΟ και της εξόδου του από αυτόν (δεν περιέχει το χρόνο αναμονής μέχρι την πύλη εισόδου).
- **Χρόνος αποθήκευσης Ε/Κ εισαγωγής (ή εξαγωγής)** (container dwell time) είναι ο χρόνος αποθήκευσης Ε/Κ προς εισαγωγή (ή εξαγωγή) στο χώρο στοιβασίας μετρούμενος από την ημέρα εκφόρτωσης (ή μέχρι την ημέρα φόρτωσης) (σε μερικά λιμάνια, ο χρόνος αυτός αρχίζει από την ημέρα που το Ε/Κ είναι έτοιμο για παραλαβή από το ΣΕΜΠΟ).

### 2.1.5.3 Δείκτες παραγωγής (production measures)

Με τους δείκτες αυτούς αξιολογείται η παραγωγική διαδικασία των ΣΕΜΠΟ και συμπεριλαμβάνονται κατά την αποτίμηση των κέντρων κόστους των παρεχομένων υπηρεσιών.

- **Διακίνηση αυλής Ε/Κ** (container yard throughput) εκφράζεται ως το σύνολο των κινήσεων Ε/Κ που πραγματοποιήθηκαν στην αυλή Ε/Κ για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- **Διακίνηση κρηπιδώματος** (quay transfer throughput) δηλώνει τις κινήσεις Ε/Κ /φορτίου μεταξύ του κρηπιδώματος και της αυλής εντός συγκεκριμένης περιόδου.

- **Διακίνηση παραλαβής/παράδοσης** (receipt/delivery throughput) δηλώνει τις συνολικές μετακινήσεις Ε/Κ από τα μηχανήματα του ΣΕΜΠΟ που αφορούν την παραλαβή και παράδοση, π.χ. η στοιβασία/αποστοιβασία, οι εσωτερικές μετακινήσεις στοιβασμένων Ε/Κ, οι μετακινήσεις προς/από τις περιοχές παραλαβής/παράδοσης.
- **Διακίνηση πύλης** (gate throughput) είναι δείκτης απόδοσης για τις δραστηριότητες παραλαβής/παράδοσης, που εκφράζεται ως το σύνολο των μετακινήσεων Ε/Κ μέσω όλων των διαδρόμων της πύλης σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

#### 2.1.5.4 Δείκτες παραγωγικότητας (productivity measures)

Οι δείκτες παραγωγικότητας σε τερματικό σταθμό Ε/Κ δείχνουν την ταχύτητα διακίνησης Ε/Κ. Ο πλέον σημαντικός δείκτης αυτής της κατηγορίας είναι ο αριθμός κινήσεων της Γ/Φ ανά ώρα. Οι δείκτης αυτός κυμαίνεται από 16 μέχρι 40 κινήσεις την ώρα και με βάση αυτόν γίνεται κατηγοριοποίηση των ΣΕΜΠΟ. Οι δείκτες που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

- **Παραγωγικότητα πλοίου** (ship productivity) περιγράφεται από τους ακόλουθους τρεις δείκτες:
  - **Σύνολο κινήσεων Ε/Κ\* ανά ώρα παραμονής του πλοίου στο λιμάνι** (container moves per ship-hour in port)
  - **Σύνολο κινήσεων Ε/Κ ανά ώρα παραμονής του πλοίου στη θέση παραβολής** (container moves per ship-hour at berth)
  - **Σύνολο κινήσεων Ε/Κ ανά εργάσιμη ώρα πλοίου** (container moves per ship working hour)
- **Παραγωγικότητα γερανογέφυρας** (crane productivity) εκφράζεται από το σύνολο των κινήσεων Ε/Κ ανά εργάσιμη ώρα γερανογέφυρας.
- **Παραγωγικότητα κρηπιδώματος** (quay productivity) εκφράζεται από το σύνολο των κινήσεων Ε/Κ ανά μέτρο κρηπιδώματος στη μονάδα του χρόνου (τυπική τιμή 0,5-1,0 TEU/m<sup>2</sup>/έτος).
- **Παραγωγικότητα ΣΕΜΠΟ** (terminal area productivity) εκφράζεται από τον αριθμό των Ε/Κ ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας του ΣΕΜΠΟ στη μονάδα του χρόνου.
- **Παραγωγικότητα Χ/Σ** (storage area productivity) δηλώνει τον αριθμό των Ε/Κ που διακινήθηκαν ανά m<sup>2</sup> επιφάνειας (ή ανά θέσεις εδάφους) του Χ/Σ σε δεδομένη χρονική περίοδο.

\* Μετά από αναγωγή σε TEU, σε όλες τις περιπτώσεις.



- **Παραγωγικότητα ΑΣΑΕ** δηλώνει τη διακίνηση (σε ποσότητα εμπορευμάτων, Ε/Κ και/ή TEUs) ανά m<sup>2</sup> συνολικής επιφάνειας της ΑΣΑΕ.
- **Παραγωγικότητα μηχανολογικού εξοπλισμού** (equipment productivity) δηλώνει τον αριθμό των κινήσεων Ε/Κ που έγιναν ανά ώρα (συνολικής ή πραγματικής) χρήσης συγκεκριμένου μηχανήματος.
- **Παραγωγικότητα ανθρώπινου δυναμικού** (labour productivity) εκφράζεται από τη διακίνηση Ε/Κ προς τον αριθμό των εργαζομένων στο ΣΕΜΠΟ.
- **Κόστος - Αποτελεσματικότητα** (cost-effectiveness) αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος διαχείρισης του ΣΕΜΠΟ προς τον αριθμό των διακινουμένων Ε/Κ.

#### 2.1.5.5 Δείκτης συμφόρησης (congestion measure)

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της κατάστασης του Χ/Σ ενός τερματικού σταθμού και είναι ενδεικτικός της συμφόρησής του. Για παράδειγμα, σε ΣΕΜΠΟ που τα Ε/Κ στοιβάζονται μέχρι δύο επίπεδα, ο Χ/Σ του ΣΕΜΠΟ θεωρείται σε κατάσταση συμφόρησης, όταν ο δείκτης είναι πάνω από 1,75. Στην περίπτωση αυτή ο μηχανολογικός εξοπλισμός στοιβάσας είναι αναγκασμένος να πραγματοποιεί αυξημένο αριθμό μη παραγωγικών κινήσεων (σκάντζες). Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

- **Δείκτης συμφόρησης ή δείκτης μέσου ύψους Χ/Σ** (stack height indicator) είναι ο λόγος των κατειλημμένων θέσεων (σε TEU) προς το συνολικό αριθμό θέσεων εδάφους (σε TEU) του ΣΕΜΠΟ. Για παράδειγμα, σε ΣΕΜΠΟ που τα Ε/Κ στοιβάζονται μέχρι δύο επίπεδα, ο ΣΕΜΠΟ θεωρείται σε κατάσταση συμφόρησης όταν ο δείκτης είναι πάνω από 1,75.

## 2.2. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΣΕΜΠΟ

Όπως μια αποθήκη, ένα κέντρο διανομής και μια εγκατάσταση παραγωγής, έτσι και ο ΣΕΜΠΟ μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα διαχείρισης υλικών [5]. Ο Kulwies [6] ορίζει το σύστημα διαχείρισης υλικών ως εξής: «*Η διαχείριση υλικών είναι ένα σύστημα ή συνδυασμός μεθόδων, εγκαταστάσεων, εργατικού δυναμικού και εξοπλισμού, με σκοπό τη μεταφορά, πακετάρισμα και αποθήκευση υλικών που αποσκοπεί στην επίτευξη συγκεκριμένων στόχων*». Διευρύνοντας αυτό τον ορισμό ο Tompkins [7] υποστηρίζει ότι «*Η διαχείριση υλικών σημαίνει την παροχή σωστής ποσότητας σωστού υλικού, στη σωστή κατάσταση, στη σωστή τοποθεσία, τη σωστή χρονική στιγμή, στη σωστή θέση, με τη σωστή σειρά και με το σωστό κόστος, χρησιμοποιώντας τις σωστές μεθόδους*». Ο ορισμός αυτός περιγράφει τρία βασικά σημεία των ΣΕΜΠΟ, ως συστημάτων διαχείρισης υλικών:

- α. Η κρίσιμη σημασία της σωστής χρονικής στιγμής, δεδομένου του κόστους που συνεπάγεται η σπατάλη χρόνου από έλλειψη συντονισμού των διαδικασιών της φόρτωσης και της εκφόρτωσης φορτηγών πλοίων.
- β. Η αξία της σωστής θέσης, δεδομένων των απωλειών που εύκολα μπορεί να προκύψουν από κακή εκμετάλλευση του Χ/Σ του ΣΕΜΠΟ, αλλά και των χώρων του πλοίου.
- γ. Η μεγάλη σημασία της σωστής σειράς, δεδομένων των δυσμενών συνεπειών για την ασφάλεια του πλοίου, που απορρέουν από τη λανθασμένη κατανομή του βάρους των Ε/Κ, ή των μετατοπίσεων μέσω προκυμαίας που μπορεί να επιβάλει τυχόν λανθασμένη σειρά φόρτωσης κ.ο.κ.

Κατόπιν αυτού, σύμφωνα με τους Rijssenbrij και Saanen [8], οι ΣΕΜΠΟ ορίζονται ως: *«οργανισμοί που προσφέρουν στα διάφορα μέσα μεταφοράς ένα σύνολο λειτουργιών και υπηρεσιών διαχείρισης, αποθήκευσης και ελέγχου εμπορευμάτων, ελαχιστοποιώντας το κόστος».*

Οι ήδη κορεσμένοι ΣΕΜΠΟ καλούνται να διαχειριστούν ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό Ε/Κ. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η δημιουργία/επέκταση λιμένων απαιτεί υψηλές επενδύσεις και μεγάλο χρόνο υλοποίησης, η βελτίωση της αποδοτικότητας λιμένων προβάλλει, σήμερα περισσότερο από ποτέ, ως ένας κρίσιμος στόχος. Συνεπώς, τα συστήματα διαχείρισης Ε/Κ πρέπει να αναβαθμιστούν ενσωματώνοντας μεθόδους βελτιστοποίησης των λειτουργιών τους. Η βελτιστοποίηση αυτή θα ωφελήσει αφενός μεν την αποδοτικότητα των ΣΕΜΠΟ και αφετέρου δε συνολικά την εφοδιαστική αλυσίδα συνδυασμένων μεταφορών, ένας κρίκος της οποίας είναι ο λιμένας. Κατά συνέπεια, η βελτιστοποίηση αυτών των λειτουργιών, δυνητικά, θα επιφέρει μειώσεις στο κόστος φορτοεκφόρτωσης Ε/Κ, στους χρόνους μεταφοράς, διαχείρισης και ανακύκλωσης των Ε/Κ, στους χρόνους παραμονής του πλοίου στο κρηπίδωμα, και ταυτόχρονα αύξηση της δυναμικότητας των ΣΕΜΠΟ.

Η ανάγκη για βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ με τη χρήση μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας έγινε ολοένα και πιο σημαντική τα τελευταία χρόνια. Η εφοδιαστική, ειδικά των μεγάλων ΣΕΜΠΟ, έχει φτάσει ήδη σ' ένα βαθμό πολυπλοκότητας, που η περαιτέρω βελτίωσή της απαιτεί επιστημονικές μεθόδους. Η προσωπική εκτίμηση από τους υπεύθυνους λειτουργίας δεν αρκεί πλέον για την αξιολόγηση των μεθόδων εφοδιαστικής και βελτιστοποίησης. Για την υποστήριξη των αποφάσεων είναι απαραίτητες αντικειμενικές μέθοδοι. Τα διαφορετικά θέματα εφοδιαστικής, οι κανόνες αποφάσεων και οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης πρέπει να υποβάλλονται σε πλήρη ανάλυση και όπου απαιτείται, και σε προσομοίωση πριν εφαρμοστούν στα πραγματικά συστήματα.

Τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ απαιτούν online (σε πραγματικό χρόνο) βελτιστοποίηση και αποφάσεις, επειδή οι περισσότερες από τις διαδικασίες δεν μπορούν να προβλεφθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Γενικά, ο χρονικός ορίζοντας προγραμματισμού για βελτιστοποίηση είναι πολύ μικρός. Για παράδειγμα, παρόλο που τα μηνύματα ηλεκτρονικής ανταλλαγής δεδομένων (electronic data interchange, EDI) προσφέρουν έγκαιρη ενημέρωση σχετικά με τα Ε/Κ που παραδίνονται στους σταθμούς, ο ακριβής χρόνος που αυτά φτάνουν στο σταθμό δεν είναι πάντοτε γνωστός με ικανοποιητική ακρίβεια (π.χ. παρεμβολή καιρικών φαινομένων). Επίσης, κατά την άφιξη και το σχετικό έλεγχο, μπορεί να διαπιστωθούν φθορές στα Ε/Κ, οι οποίες ενδέχεται να ανατρέψουν το σχεδιασμό που έχει γίνει με βάση την πρότερη ενημέρωση. Και τα δύο αυτά σενάρια ακυρώνουν τα δεδομένα του συστήματος και επηρεάζουν την τελική θέση αποθήκευσης των Ε/Κ.

### 2.2.1. Αποθήκευση και στοιβασία

Η εφοδιαστική της στοιβασίας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πεδίο ανάπτυξης, επειδή όλο και περισσότερα Ε/Κ πρέπει να αποθηκεύονται σε λιμάνια, καθώς τα μεταφερόμενα Ε/Κ συνεχώς αυξάνονται και ο ελεύθερος χώρος αποθήκευσης μειώνεται. Ο χρόνος παραμονής των Ε/Κ στο χώρο στοιβασίας είναι, κατά μέσο όρο, 3-5 ημέρες. Ένα σύστημα προγραμματισμού αποθήκευσης ή απόφασης για στοιβασία πρέπει να αποφασίζει ποια περιοχή και ποια θέση πρέπει να επιλεγεί, για να αποθηκευτεί ένα Ε/Κ.

#### 2.2.1.1. Εμπορευματοκιβώτια εισαγωγής

Για τα εισαγόμενα Ε/Κ γίνεται μόνο μια κράτηση στη χωρητικότητα του Χ/Σ, που αφορά το αντίστοιχο μέγεθος και δεν επιδέχεται περαιτέρω διαφοροποίησης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πληροφορίες και τα μέσα μεταφοράς είναι άγνωστα κατά την ώρα της εκφόρτωσης. Αν ο τρόπος μεταφοράς είναι γνωστός, οι περιοχές εισαγωγών μπορούν να υποδιαιρεθούν ανάλογα. Οι συνήθεις στρατηγικές για τα εισαγόμενα Ε/Κ επιλέγουν κάποιες θέσεις στην κατάλληλη περιοχή ή στοιβάζουν στον ίδιο χώρο τα Ε/Κ της ίδιας ημέρας αποθήκευσης [20].

Ειδική περίπτωση διαχείρισης της αυλής γίνεται σε άμεσο σύστημα με μηχανήματα μεταφοράς και στοιβασίας Ε/Κ. Οι διασκελετικοί μεταφορείς τύπου 2+1 στοιβάζουν μέχρι το δεύτερο επίπεδο και μπορούν να «σηκώσουν» μέχρι και τρίτο, ώστε να συλλέξουν ένα κιβώτιο από μία γραμμή του Χ/Σ και να το περάσουν πάνω από δύο στοιβαγμένα κιβώτια. Η σταθερότητα των διασκελετικών μεταφορέων, άρα και η ταχύτητα της πορείας τους, εξαρτάται από το ύψος στο οποίο βρίσκεται το Ε/Κ. Όταν χρειαστεί να «σηκώσουν» το Ε/Κ σε τρίτο επίπεδο, το κέντρο βάρους τους ανεβαίνει μειώνοντας παράλληλα τη σταθερότητα τους. Για την αποφυγή τέτοιων κινήσεων, τα Ε/Κ εισαγωγής τοποθετούνται σε περιοχή που αρχικώς είναι ελεύθερη. Σε μια ελεύθερη περιοχή, ο

διασκελετικός μεταφορέας τοποθετεί τα Ε/Κ με συγκεκριμένη σειρά ξεκινώντας από τη θέση 1,1,1 και συνεχίζοντας στη θέση 1,1,2 – 1,2,1 – 1,2,2 – 1,3,1 ...n , n, 1. Με αυτή τη μεθοδολογία στοιβασίας (επαναστοιβασία – τακτοποίηση αυλής), ο διασκελετικός μεταφορέας πετυχαίνει καλύτερες αποδόσεις, άρα και καλύτερη εξυπηρέτηση της γερανογέφυρας κατά την εκφόρτωση του πλοίου. Έτσι, πριν από την άφιξη του πλοίου καθορίζονται τομείς στο χώρο στοιβασίας, σύμφωνα με τον αριθμό των εισαγόμενων Ε/Κ που αναμένονται, και δημιουργείται μια ελεύθερη περιοχή τακτοποιώντας όσα Ε/Κ δεν παρελήφθησαν από τους ιδιοκτήτες τους και έχουν παραμείνει από προηγούμενο ταξίδι.

#### 2.2.1.2. Προστοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής

Μια συνήθης στρατηγική για τον προγραμματισμό των εξαγωγών είναι να κρατούνται θέσεις μέσα στις σειρές για Ε/Κ με τον ίδιο τύπο και λιμάνι εκφόρτωσης, ενώ βαρύτερα Ε/Κ στοιβάζονται σε υψηλότερες θέσεις καθώς θα φορτωθούν πρώτα, εξαιτίας της σταθερότητας του πλοίου. Για να διευκολυνθεί η θέση και να εξασφαλιστεί η υψηλή απόδοση λειτουργίας των πλοίων, των τρένων και των φορτηγών, τα Ε/Κ μερικές φορές προστοιβάζονται (pre-marshaling) κοντά στην περιοχή φόρτωσης, έτσι ώστε η στοιβασία να αντιστοιχεί στη σειρά φόρτωσης. Επειδή η προ-αποθήκευση απαιτεί επιπλέον μεταφορά, κοστίζει ακριβά και, κανονικά, οι ΣΕΜΠΟ προσπαθούν να την αποφύγουν βελτιστοποιώντας τη στοιβασία στο χώρο στοιβασίας. Η εφοδιαστική στοιβασίας και αποθήκευσης γίνεται ολοένα και πιο περίπλοκη και παίζει σημαντικό ρόλο στην ολική αποδοτικότητα των σταθμών [88].

#### 2.2.1.3. Διασκορπίζουσα στοιβασία για εμπορευματοκιβώτια εξαγωγής

Ο προγραμματισμός του Χ/Σ και της αποθήκευσης σπάνια ταιριάζει με την πραγματική παράδοση, επειδή η παράδοση των Ε/Κ είναι μια στοχαστική μέθοδος που δεν μπορεί να προβλεφθεί επακριβώς. Η ποιότητα αυτού του προγραμματισμού εξαρτάται κυρίως από τη στρατηγική καθορισμού μιας καλής μεταφοράς στοιβασίας και μιας καλής πρόβλεψης για την κατανομή των Ε/Κ. Και οι δύο παράγοντες είναι δύσκολο να λυθούν, με αποτέλεσμα να υπάρχει σχετικά μεγάλος αριθμός επαναστοιβασιών (restowing) στο χώρο στοιβασίας. Επιπλέον, η κράτηση χώρου αποθήκευσης «μειώνει» τη χωρητικότητα του Χ/Σ. Εξαιτίας αυτών των μειονεκτημάτων, μερικοί σταθμοί εγκαθιστούν ένα εναλλακτικό σχέδιο στοιβασίας, που καλείται διασκορπίζουσα στοιβασία (scattered stacking). Σύμφωνα με αυτό, οι περιοχές του Χ/Σ δεν καθορίζονται πλέον για συγκεκριμένη άφιξη πλοίου, αλλά σχετίζεται μόνο με την περιοχή θέσεων πλεύρισης. Κατά την άφιξη ενός Ε/Κ, το πληροφοριακό σύστημα ΣΕΜΠΟ (container terminal information system, CTIS) επιλέγει μια θέση πλεύρισης από το πρόγραμμα των πλοίων και αυτόματα ψάχνει μια καλή θέση στοιβασίας μέσα στην περιοχή που ορίζεται από τη θέση πλεύρισης [89].

Η θέση στοιβασίας επιλέγεται σε πραγματικό χρόνο και τα Ε/Κ της ίδιας κατηγορίας –πλοία, τύπος, μήκος, λιμάνι εκφόρτωσης, βάρος– στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο κατά την εναπόθεσή τους στο ΣΕΜΠΟ πριν από την άφιξη του πλοίου. Συνεπώς, τα Ε/Κ για ένα πλοίο διασκορπίζονται στοχαστικά στην κατάλληλη περιοχή στοιβασίας και δεν είναι πλέον απαραίτητες οι κρατήσεις θέσεων στο χώρο στοιβασίας. Αυτό το σενάριο έχει ως αποτέλεσμα υψηλή χρησιμοποίηση του χώρου της στοιβασίας και αξιοσημείωτα μικρότερο αριθμό ανασχηματισμών, επειδή το κριτήριο στοιβασίας ταυτίζεται με αυτό της αποθήκευσης του πλοίου [99].

## 2.2.2. Μεταφορές

### 2.2.2.1. Οριζόντιες μεταφορές στο χώρο στοιβασίας

Για τη φορτοεκφόρτωση των πλοίων, τα Ε/Κ πρέπει να μεταφέρονται από την περιοχή στοιβασίας στα πλοία και αντίστροφα. Η βελτιστοποίηση της μεταφοράς στην περιοχή του Χ/Σ δεν σημαίνει μόνο μείωση των χρόνων μεταφοράς αλλά επίσης και συγχρονισμό των μεταφορών με τις ενέργειες φορτοεκφόρτωσης από τις γερανογέφυρες κρηπιδώματος. Ο γενικός στόχος είναι η αύξηση της παραγωγικότητας των γερανογεφυρών. Το αντίθετο είναι αποτέλεσμα των μη παραγωγικών χρόνων, όπως παύσεις και διαλείμματα κατά τις βάρδιες, κινήσεις των εξοπλισμών, τεχνικές ή λειτουργικές διαταραχές και συμφορήσεις που γίνονται κατά την οριζόντια μεταφορά. Επιπλέον, η χρήση μεγάλου αριθμού μεταφορικών οχημάτων προκαλεί μεγαλύτερο κόστος, με αποτέλεσμα η λειτουργία φορτοεκφόρτωσης των πλοίων να γίνεται λιγότερο οικονομική.

Όσον αφορά την εφοδιαστική, η αύξηση της παραγωγικότητας των πλοίων δεν επιτυγχάνεται απαραίτητα αυξάνοντας τον αριθμό ή την ταχύτητα των οχημάτων που λειτουργούν στο κρηπίδωμα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι η πιθανότητα συμφόρησης γερανογεφυρών στο κρηπίδωμα αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων ή την ταχύτητά τους. Μείωση της συμφόρησης μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη συστήματος βελτιστοποίησης.

Για τη διάθεση οχημάτων στις γερανογέφυρες στην περιοχή του κρηπιδώματος, υπάρχουν διαφορετικές στρατηγικές και τρόποι μεταφοράς. Στη μέθοδο ενός κύκλου, τα οχήματα εξυπηρετούν μόνο μια γερανογέφυρα. Σύμφωνα με τον κύκλο του γερανού, μεταφέρεται το καθένα εκφορτώνοντας Ε/Κ από το κρηπίδωμα στο χώρο στοιβασίας ή εξάγοντας Ε/Κ από το κρηπίδωμα στη γερανογέφυρα. Στη μέθοδο διπλού κύκλου, τα μεταφορικά οχήματα εξυπηρετούν πολλές γερανογέφυρες που βρίσκονται στο φορτοεκφορτωτικό κύκλο αντίστοιχα κι έτσι γίνεται η μεταφορά των εισαγόμενων και εξαγόμενων Ε/Κ. Τα μεταφορικά οχήματα μπορούν το καθένα να διατεθεί αποκλειστικά σε μια γερανογέφυρα (gang structure) ή σε μερικές γερανογέφυρες και πλοία (pooling) [89].

Στη μέθοδο ενός κύκλου δεν υπάρχει κανένα ενδεχόμενο βελτιστοποίησης του κύκλου. Η βελτιστοποίηση της εκφόρτωσης των Ε/Κ περιορίζεται στην επιλογή βέλτιστων θέσεων στην αποβάθρα, η οποία εντάσσεται στον προγραμματισμό της αποβάθρας. Καθώς τα εισαγόμενα Ε/Κ πρέπει να μεταφερθούν στις προεπιλεγμένες θέσεις στοιβασίας, τα άδεια δρομολόγια δεν μπορούν να μειωθούν. Μόνο οι αποστάσεις μπορούν να μειωθούν, αν επιλεγούν θέσεις κοντά στην αποβάθρα.

Για τη φόρτωση εξαγόμενων Ε/Κ, υπάρχει πιθανότητα βελτιστοποίησης. Γενικά, η αλληλουχία μεταφοράς δεν είναι ίδια με αυτή της φόρτωσης ενός πλοίου. Η σειρά φόρτωσης καθορίζεται από το πλάνο φόρτωσης, τη διαίρεση των γερανογεφυρών και τη στρατηγική φόρτωσης των γερανογεφυρών. Η σειρά μεταφοράς πρέπει να λαμβάνει υπόψη διαφορετικές αποστάσεις, ανασχηματισμούς αποβάθρας και ειδικά Ε/Κ. Τα τελευταία, μερικές φορές, χρειάζονται ειδικό εξοπλισμό, ο οποίος πρέπει να εγκαθίσταται πριν αυτά μεταφερθούν. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα επιπλέον μεταφορικούς χρόνους. Ακόμα, η αλληλουχία μεταφοράς πρέπει να διαφοροποιείται για να εξασφαλίζονται οι απαιτήσεις της αλληλουχίας φόρτωσης. Οι νεκροί χρόνοι και οι συμφορήσεις οχημάτων στις γερανογέφυρες και στα αποθέματα πρέπει να αποφεύγονται, γιατί και τα δύο μειώνουν την παραγωγικότητα.

Η μέθοδος διπλού κύκλου είναι πιο περίπλοκη. Περιλαμβάνει τις μεταφορές των εισαγόμενων και εξαγόμενων Ε/Κ προς και από τις γερανογέφυρες, στο ίδιο ή σε γειτονικά πλοία. Τα οχήματα λειτουργούν σε ομάδες, εξυπηρετώντας διάφορες γερανογέφυρες με εναλλακτικούς τρόπους (φόρτωσης ή εκφόρτωσης). Άδεια δρομολόγια ή μεταφορικοί χρόνοι μειώνονται με τη μέθοδο αυτή, που είναι πιο αποτελεσματική αλλά και δυσκολότερη στην οργάνωση, εξαιτίας της μεγάλης της πολυπλοκότητας. Οι χρόνοι αναμονής των γερανογεφυρών μπορεί να μειωθούν, αν τα Ε/Κ προ-αποθηκεύονται στις εισόδους των γερανογεφυρών.

Στην πράξη, συχνά, συγκεντρώνονται τα αυτόματα μεταφορικά οχήματα, όπως τα AGV, ενώ ο χειροκίνητος εξοπλισμός, όπως οι διασκελετικοί μεταφορείς ή τα φορτηγά συνήθως λειτουργούν σε μια γερανογέφυρα (μεικτή διάθεση). Αν η χωρητικότητα φόρτωσης υπερβαίνει ένα Ε/Κ, είναι πιθανός ένας πολλαπλός τρόπος φόρτωσης. Η πολλαπλή φόρτωση για τα AGV μπορεί να βελτιστοποιηθεί, αλλά αυτό στην πράξη γίνεται σπάνια εξαιτίας της δύσκολης οργάνωσης. Όταν χρησιμοποιείται για μεταφορά εξοπλισμός, όπως τα AGV και τα οχήματα αυτόματης στοιβασίας (automated lifting vehicles, ALV), καθώς και οι αυτόματοι γερανοί για στοιβασία, ο κύριος σκοπός του συστήματος ελέγχου είναι να συγχρονίσει τον εξοπλισμό κατά τρόπο, ώστε τα Ε/Κ να φτάνουν «ακριβώς στην ώρα» ('on time') στα κέντρα εργασίας (των γερανογεφυρών και των AGV) και οι νεκροί χρόνοι (των γερανογεφυρών) να μειώνονται.

Η λειτουργία του πλοίου, στην πράξη, είναι δυναμική και επιπλέον απαιτεί πραγματικού χρόνου (online) βελτιστοποίηση. Για εισαγόμενα Ε/Κ, για παράδειγμα, η ακριβής θέση στην προκυμαία δεν μπορεί να επιλεγθεί πριν εκφορτωθεί το Ε/Κ και ελεγχθούν οι πληροφορίες και η κατάστασή του. Μεταβολές κατά τη φορτοεκφόρτωση του πλοίου συμβαίνουν συχνά, με αποτέλεσμα να αλλάζει αμέσως η προγραμματισμένη αλληλουχία διαδικασιών. Τέτοιες μεταβολές αφορούν τη διακοπή της λειτουργίας του γερανού, εξαιτίας λειτουργικών ή τεχνικών προβλημάτων, την αλλαγή στη σειρά φορτοεκφόρτωσης που αποφασίζει ο υπεύθυνος φορτοεκφόρτωσης για λόγους σταθερότητας του πλοίου, καθώς και προβλήματα που εμφανίζονται κατά την οριζόντια μεταφορά. Ο αντικειμενικός σκοπός της βελτιστοποίησης, σε κάθε περίπτωση, είναι για μεν τις γερανογέφυρες η ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης στη διανομή ενός Ε/Κ, για δε τα μεταφορικά οχήματα η ελαχιστοποίηση των μεταφορικών χρόνων.

#### 2.2.2.2. Οριζόντια μεταφορά – Εσωτερικές μετακινήσεις

Εσωτερικές μετακινήσεις γίνονται για πολλούς λόγους. Επιπλέον μεταφορές πρέπει να εκτελεστούν, αν υπάρχουν στο ΣΕΜΠΟ υπόστεγα ή αποθήκες για τα άδεια Ε/Κ. Τα εισαγόμενα Ε/Κ για να αδειάσουν, πρέπει να μεταφερθούν στα κατάλληλα υπόστεγα, ενώ τα συσκευασμένα Ε/Κ πρέπει να οδηγηθούν στο εξαγόμενο απόθεμα. Τα κενά Ε/Κ συσκευάζονται απαραίτητως στα υπόστεγα. Εξαιτίας της δυσαναλογίας εισαγωγών/εξαγωγών, προκύπτουν άδεια Ε/Κ που είναι απαραίτητο να φορτωθούν στα πλοία, στα τρένα και στα φορτηγά και πρέπει να μεταφερθούν στην ανάλογη αποβάθρα ή περιοχή μετάβασης.

Άλλες εσωτερικές μετακινήσεις προκύπτουν, όταν τα προγραμματισμένα για αναχώρηση Ε/Κ ενός πλοίου δεν φορτώνονται εξαιτίας της πληρότητας του πλοίου. Αυτό συνεπάγεται εκ νέου οργάνωση των χώρων στοιβάσις, λόγω επιστροφής των Ε/Κ που δεν φορτώθηκαν. Χαρακτηριστικό αυτών των τύπων μεταφοράς είναι ότι η αλληλουχία των εργασιών πρέπει να εκτελείται ακριβώς. Γι' αυτό το λόγο, μερικές φορές, πρέπει να υπάρχει σημαντικό περιθώριο χρόνου (time-window). Γενικά, αυτό το είδος μεταφοράς δεν είναι τόσο κρίσιμο χρονικά, όσο η λειτουργία των πλοίων και των φορτηγών. Ο αντικειμενικός σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων και των χρόνων φόρτωσης και μεταφοράς.

#### 2.2.2.3. Μεταφορές στην ενδοχώρα

Οι μεταφορές στην ενδοχώρα γίνονται με το σιδηροδρομικό δίκτυο ή οδικώς. Ο συνήθης τρόπος λειτουργίας είναι η διάθεση ενός ορισμένου αριθμού οχημάτων σε κάθε είδος μεταφοράς, το οποίο να είναι κατάλληλο για τις απαιτήσεις των εργασιών. Μια

πιο εξελιγμένη στρατηγική είναι η συγκέντρωση όλων των οχημάτων που απαιτούνται για όλες τις περιοχές λειτουργίας.

**Σιδηροδρομικώς.** Τα τρένα συνήθως φορτοεκφορτώνονται από γερανογέφυρες, ενώ οι μεταφορές ανάμεσα στα αποθέματα και τους σιδηροδρομικούς σταθμούς γίνονται από διασκελετικούς μεταφορείς, φορτηγά, ρυμούλκα ή ανάλογο εξοπλισμό. Τα Ε/Κ αποθηκεύονται δίπλα στους σιδηροδρομικούς σταθμούς ή ακριβώς πάνω στα ρυμούλκα. Μερικές φορές, υπάρχουν δρομολόγια άδειων διασκελετικών μεταφορέων, όταν αυτά οδηγούνται στα βαγόνια, για να στοιβάξουν και να αφήσουν τα Ε/Κ.

Η λειτουργία των συρμών είναι ανάλογη με αυτή στην περιοχή της αποβάθρας. Το πλάνο φόρτωσης περιγράφει σε ποιο βαγόνι θα τοποθετηθεί κάθε Ε/Κ. Η θέση κάθε Ε/Κ στο βαγόνι εξαρτάται από τον προορισμό του, τον τύπο και το βάρος του, το μέγιστο φορτίο του βαγονιού και τη θέση του βαγονιού στη σειρά του τρένου. Το πλάνο φόρτωσης δημιουργείται είτε από τη σιδηροδρομική εταιρία και στέλνεται στο χειριστή του σταθμού μέσω του συστήματος EDI, είτε δημιουργείται από τον ίδιο το χειριστή. Ο σκοπός του υπεύθυνου του τρένου είναι η ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς με τρένο, ενώ στόχος του υπεύθυνου του σταθμού είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των ανασχηματισμών της αποβάθρας, του χρόνου αναμονής του γερανού και των άδειων δρομολογίων των γερανογεφυρών και των άλλων μεταφορικών μέσων. Η βελτιστοποίηση σ' ένα σιδηροδρομικό σταθμό διευκολύνεται αν στέλνεται στον υπεύθυνο ένα πλάνο που δείχνει τη θέση ενός Ε/Κ σ' ένα βαγόνι ανάλογα με τις ιδιότητές του και όχι ειδικές θέσεις για κάθε Ε/Κ. Η μεταφορά και οι λειτουργίες του γερανού πρέπει να συγχρονίζονται, για να αποφεύγονται νεκροί χρόνοι ή άσκοπες κινήσεις γερανογεφυρών. Χρησιμοποιείται η μέθοδος ενός ή η μέθοδος διπλού κύκλου, ανάλογα με τον αριθμό των τρένων που φορτοεκφορτώνονται παράλληλα.

**Οδικώς.** Τα φορτηγά φτάνουν στις εισόδους του σταθμού, όπου οι πληροφορίες για τα Ε/Κ πρέπει να ελεγχθούν και να καταχωρηθούν στο πληροφοριακό σύστημα ή, ανάλογα, να ακολουθηθούν οι αντίστοιχες οδηγίες. Τα φορτηγά τότε οδηγούνται στις θέσεις μετάβασης, όπου τα Ε/Κ φορτοεκφορτώνονται από εσωτερικό εξοπλισμό. Οι μεγάλοι ΣΕΜΠΟ εξυπηρετούν μερικές εκατοντάδες φορτηγά την ημέρα. Τα σημεία μετάβασης βρίσκονται στις γερανογέφυρες στοιβασίας ή μέσα στην αποβάθρα, στην περίπτωση λειτουργίας διασκελετικών μεταφορέων. Το πρόγραμμα οδήγησης των φορτηγών καθορίζει τα σημεία που έχουν πρόσβαση και τη σειρά πρόσβασης. Ο χρόνος άφιξης των φορτηγών στα σημεία μετάβασης δεν μπορεί να προβλεφθεί ακριβώς. Για παράδειγμα, οι εργασίες μεταφοράς με εσωτερικό εξοπλισμό δεν μπορούν να γίνουν αν δεν φτάσουν τα φορτηγά στα σημεία μετάβασης. Εξαιτίας της μόνιμης αλλαγής της κυκλοφοριακής έντασης, το μοντέλο βελτιστοποίησης πρέπει να είναι πολύ ευέλικτο και γρήγορο. Γι' αυτό απαιτείται online βελτιστοποίηση. Οι αντικειμενικοί στόχοι της βελτιστοποίησης



στην περιοχή λειτουργίας των φορτηγών είναι η ελαχιστοποίηση των άδειων δρομολογίων και των χρόνων μεταφοράς. Τα άδεια δρομολόγια μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, αν οι μεταφορές των εξαγόμενων Ε/Κ από τα σημεία μετάβασης στην αποβάθρα συνδυαστούν με τις μεταφορές των εισαγόμενων από την αποβάθρα στα σημεία εναλλαγής.

#### 2.2.2.4. Βελτιστοποίηση μεταφοράς στοιβασίας με ελαστικοφόρες γερανογέφυρες

Άλλο κεφάλαιο εφαρμογής των μεθόδων βελτιστοποίησης είναι οι μεταφορές με γερανογέφυρες που λειτουργούν σε στήλες. Οι απαιτήσεις της μεταφοράς δεν διαφέρουν από αυτές της οριζόντιας μεταφοράς, που αναφέρθηκαν παραπάνω. Πρέπει να υπολογίζονται οι αλληλουχίες των εργασιών και να καθορίζονται οι ανάλογες εργασίες στις κατάλληλες γερανογέφυρες. Συνήθως, η θέση που θα τοποθετηθεί ένα Ε/Κ στην στοίβα, υπολογίζεται από το μοντέλο της αποβάθρας. Αυτό ισχύει και για τα Ε/Κ που πρέπει να επαναστοιβαχθούν.

Η βελτιστοποίηση της μεταφοράς για τις γερανογέφυρες στοιβασίας περιορίζεται από τις ίδιες απαιτήσεις με την οριζόντια μεταφορά και μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογοι αλγόριθμοι. Πρέπει να ληφθεί υπόψη η προτεραιότητα των εργασιών, όπως και στην οριζόντια μεταφορά. Ο αντικειμενικός στόχος της βελτιστοποίησης είναι η ελαχιστοποίηση των χρόνων αναμονής των μεταφορικών οχημάτων στους χώρους στοιβασίας και των χρόνων μεταφοράς των γερανογεφυρών στοιβασίας. Επειδή η κίνηση στους εσωτερικούς χώρους αλλάζει γρήγορα απαιτείται online βελτιστοποίηση και η αλληλουχία των εργασιών πρέπει να επαναπροσδιορίζεται, όταν εμφανίζεται καινούρια εργασία.

### 2.2.3. Προγραμματισμός θέσεων πλεύρισης πλοίων

Εκτός από τα παραπάνω, στόχο της βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ αποτελούν και οι προγραμματισμοί που γίνονται πριν από την άφιξη των πλοίων και ειδικότερα ο προγραμματισμός των θέσεων πλεύρισης (berth planning), ο προγραμματισμός της αποθήκευσης (stowage planning) και η κατανομή των γερανογεφυρών (crane split).

Η θέση πλεύρισης κάθε πλοίου (berth planning/allocation) προγραμματίζεται πριν από την άφιξή του. Τα προγράμματα για τα μεγάλα υπερπόντια σκάφη είναι γνωστά περίπου ένα χρόνο πριν και γνωστοποιούνται από τις ναυτιλιακές εταιρίες στο σταθμό μέσω του συστήματος EDI. Η ανάθεση της θέσης πλεύρισης, ιδεατά, ξεκινά πριν από την άφιξη των πρώτων Ε/Κ, που ανήκουν σ' αυτό το πλοίο, κατά μέσο όρο 2-3 εβδομάδες πριν από την άφιξη του πλοίου. Εκτός από τα τεχνικά δεδομένα των πλοίων και των γερανογεφυρών αποβάθρας, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλα κριτήρια, όπως το μήκος του πλοίου και το μήκος του βραχίονα των γερανογεφυρών, αφού δεν μπο-

ρούν όλοι οι γερανοί να εξυπηρετήσουν όλα τα πλοία. Για να μπορούν τα πλοία να αράξουν σε αποδεκτό χρονικό περιθώριο, πρέπει να ανταποκρίνονται στα συστήματα ανάθεσης θέσης πλεύρισης [146].

Υπάρχουν αρκετοί αντικειμενικοί στόχοι βελτιστοποίησης της ανάθεσης μιας θέσης πλεύρισης. Από πρακτική άποψη, για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγικότητα στη λειτουργία του πλοίου, πρέπει να μεγιστοποιηθεί το ποσοστό χρήσης της αποβάθρας, σε συνάρτηση με το χώρο στοιβασίας. Η αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση ως προς την ανάθεση της θέσης πλεύρισης είναι απαραίτητη, ειδικά στην περίπτωση που το πλοίο έχει καθυστέρηση, αφού τότε πρέπει να ανατεθεί στο πλοίο διαφορετική θέση πλεύρισης, από εκείνη στην οποία έχουν ήδη στοιβαχτεί τα Ε/Κ στην αποβάθρα.

#### **2.2.4. Πλάνο φόρτωσης πλοίων**

Το σχέδιο (πλάνο) στοιβασίας αμبارιών (master bay plan) είναι ο πυρήνας του προγραμματισμού των πλοίων. Ο στόχος του σχεδίου αυτού είναι να καθοριστούν οι θέσεις όλων των Ε/Κ που θα φορτωθούν στο πλοίο. Το σχέδιο στοιβασίας γίνεται από τη ναυτιλιακή εταιρία ή προσφέρεται ως υπηρεσία από το ΣΕΜΠΟ. Τελική έγκριση για το σχέδιο στοιβασίας δίνει ο υπεύθυνος φορτοεκφόρτωσης του πλοίου. Τα Ε/Κ ομαδοποιούνται σε κατηγορίες, σύμφωνα με τις ιδιότητές τους, όπως το μήκος ή ο τύπος τους, το λιμάνι εκφόρτωσης και το βάρος ή η κλάση βάρους του Ε/Κ. Τα Ε/Κ που ανήκουν στην ίδια κατηγορία, ορίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο πλοίο και τοποθετούνται στην ίδια στοίβα.

Ο αντικειμενικός στόχος της βελτιστοποίησης από την πλευρά της ναυτιλιακής εταιρίας είναι η ελαχιστοποίηση των μετατοπίσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας στο λιμάνι (από πλοίο σε πλοίο ή από πλοίο σε μέσα αποθήκευσης) και η μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης των θέσεων στο πλοίο. Καθοριστικός παράγοντας στη φορτοεκφόρτωση του πλοίου είναι η σταθερότητά του τόσο κατά τη φορτοεκφόρτωση όσο και κατά την πλεύση. Το πλάνο φόρτωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ροπές στρέψης που δημιουργούνται κατά τη φορτοεκφόρτωση του πλοίου.

Οι οδηγίες φόρτωσης στο πλοίο (pre-advise) από τη ναυτιλιακή εταιρία εντάσσονται στο σύστημα του σταθμού και χρησιμοποιούνται ως οδηγίες εργασίας ή προ-πλάνο για τον προγραμματιστή των πλοίων του σταθμού. Χαρακτηριστικό των οδηγιών της ναυτιλιακής εταιρίας είναι η ανάθεση των Ε/Κ σε θέσεις στο πλοίο ανάλογα με κάποια ειδικά χαρακτηριστικά. Βασισόμενος σ' αυτές τις οδηγίες, ο προγραμματιστής του σταθμού ορίζει τα πιστοποιημένα από αριθμούς Ε/Κ σε ανάλογες θέσεις. Στα συστήματα προγραμματισμού αποθήκευσης του ΣΕΜΠΟ, εμφανίζεται τόσο το τμήμα του πλοίου που πρέπει να προγραμματιστεί, όσο και η θέση αποθήκευσης στο χώρο στοιβασίας.

Μερικά συστήματα επιτρέπουν αυτόματο καθορισμό και βελτιστοποίηση. Υπάρχουν διάφοροι αντικειμενικοί στόχοι βελτιστοποίησης, όπως η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας των γερανογεφυρών, η ελαχιστοποίηση κόστους ή η ελαχιστοποίηση των ανασχηματισμών στο χώρο στοιβασίας. Από πρακτική πλευρά, σημαντικό ρόλο παίζει η ελαχιστοποίηση των επαναστοιβασιών (restow).

### 2.2.5. Διάρθρωση γερανογεφυρών

Το τρίτο βήμα του προγραμματισμού πλοίων είναι η ανάθεση γερανογεφυρών αποβάθρας στα πλοία και στα τμήματα των πλοίων, δηλαδή η διάρθρωση γερανογεφυρών (crane split) (προγραμματισμός). Ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου, συνήθως διατίθενται 3-5 γερανοί για ένα υπερπόντιο σκάφος, και 1-2 για τα τροφοδοτικά σκάφη. Στην πράξη, η διάθεση γερανογεφυρών στα πλοία υπόκειται σε πολλούς περιορισμούς, που αναφέρονται ειδικά στα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλοίων και των γερανογεφυρών και στην προσβασιμότητα των γερανογεφυρών στο κρηπίδωμα.

Η κατανομή των γερανογεφυρών συνεπάγεται αφενός τη διάθεση ενός αποδεκτού αριθμού γερανογεφυρών σε κάθε πλοίο και στα τμήματά του (αμπάρι, κατάστρωμα) και αφετέρου το πρόγραμμα σύμφωνα με το οποίο θα εξυπηρετηθούν. Το πρόγραμμα δεν ανταποκρίνεται μόνο σ' ένα πλοίο, αλλά σε αρκετές γειτονικές θέσεις πλευρίσης και κυρίως σε όλα τα πλοία που αράζουν στο σταθμό σε δεδομένη περίοδο. Δεν υπάρχει μόνο ένας αντικειμενικός στόχος βελτιστοποίησης. Η ελαχιστοποίηση της συνολικής καθυστέρησης όλων των πλοίων μπορεί να αποτελεί αντικειμενικό στόχο, ενώ η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πλοίων ή μια καλή ισορροπία ή η οικονομικότερη χρησιμοποίηση των γερανογεφυρών μπορεί να είναι άλλοι στόχοι. Στην πράξη, εξαρτάται από τις επιθυμίες και το συμφέρον κάθε ΣΕΜΠΟ. Επιπλέον, από τη διάθεση και την κατανομή των γερανογεφυρών κρίνεται ο τρόπος φόρτωσης ενός πλοίου ή των τμημάτων του. Ένα μέρος μπορεί να φορτωθεί είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα, αρχίζοντας στη χερσαία ή τη θαλάσσια ζώνη, με αποτέλεσμα τέσσερις διαφορετικούς τρόπους φόρτωσης. Το πλάνο φόρτωσης, η κατανομή των γερανογεφυρών και ο τρόπος φόρτωσης αποτελούν τη βάση εργασίας, με την οποία ορίζεται η σειρά φόρτωσης για κάθε Ε/Κ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αλληλουχία για τη μεταφορά στη χερσαία ζώνη πρέπει να είναι ίδια με την αλληλουχία φόρτωσης.

**Συμπερασματικά**, όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, η κατακόρυφη αύξηση και η προοπτική της χρήσης των Ε/Κ έχει οδηγήσει σε εντατικές προσπάθειες βελτιστοποίησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, με θετικά αποτελέσματα στην απόδοση των τελευταίων. Τα αναπάντητα ερωτήματα, οι ελλείψεις και τα προβλήματα της σχετικής βι-

βλιογραφίας οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Ο εντοπισμός τους επιτεύχθηκε μετά από συστηματική ανασκόπηση, η οποία όμως, εκτίθεται αναλυτικά στο τέλος του Κεφ. 2, υπό το πρίσμα της ιεράρχησης των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ που αποτελεί κομβικό στοιχείο της έρευνάς μας και γι' αυτό αναγκαστικά προηγείται.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

## **Κεφάλαιο 3**

# **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΙΕΡΑΡΧΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

<b>3.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>51</b>



*“A goal without a plan is just a wish”*

Antoine de Saint-Exupery

Από την περιγραφή των διαδικασιών των ΣΕΜΠΟ, που έγινε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, διαφαίνεται ότι, τόσο η λειτουργία τους, όσο και η προσπάθεια βελτιστοποίησής τους, χαρακτηρίζονται από εξαιρετική πολυπλοκότητα, η οποία περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, δεδομένου του τεράστιου όγκου των υπό διαχείριση πληροφοριών. Με στόχο τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και την αύξηση της αποδοτικότητάς τους, έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης διαφόρων μεθόδων λήψης αποφάσεων. Σημαντικό μειονέκτημα των μέχρι σήμερα προσπαθειών είναι ότι αναφέρονται σε μεμονωμένες λειτουργίες, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Ελάχιστες από αυτές, όπως φαίνεται στη σχετική συστηματική ανασκόπηση στο τέλος του Κεφαλαίου, συμπεριλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις, οι οποίες αναφέρονται είτε στο στρατηγικό (strategic) είτε στο τακτικό (tactical) είτε στο επιχειρησιακό (operational) επίπεδο, αδιαφορώντας ότι ο χαρακτήρας πολλών λειτουργιών μπορεί να είναι ταυτόχρονα, τόσο στρατηγικός, όσο και τακτικός ή και επιχειρησιακός.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιχειρήθηκε να αντιμετωπιστεί αυτό ακριβώς το πρόβλημα, θεωρώντας ότι η επεξεργασία αποσπασματικών προσεγγίσεων ελάχιστα έχει πια να προσφέρει στην απαιτούμενη παραπέρα βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και την αύξηση της αποδοτικότητάς τους. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται ένα μεθοδολογικό ιεραρχικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων στους ΣΕΜΠΟ, που ακολουθεί τη φυσική ροή της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες επιμέρους λειτουργίες/δράσεις, όπως αυτές χαρακτηρίζονται, ταξινομούνται και αλληλεπιδρούν σε στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο [9].

### **3.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

Στρατηγικού επιπέδου θεωρούνται οι μακροπρόθεσμες αποφάσεις (ένα ή περισσότερα έτη), όπως π.χ. ο λεπτομερής χωροταξικός σχεδιασμός του ΣΕΜΠΟ. Στο επίπεδο αυτό λαμβάνονται διάφορες αποφάσεις, χρησιμοποιώντας ως αντικειμενικά κριτήρια

απόδοσης, τη χρονική διάρκεια υλοποίησης της απόφασης, το συνολικό κόστος της επένδυσης και τον αναμενόμενο χρόνο απόσβεσης του κεφαλαίου. Για παράδειγμα, στρατηγικές αποφάσεις είναι αυτές που επηρεάζουν το χωροταξικό σχεδιασμό του ΣΕΜΠΟ [π.χ. αριθμός θέσεων πλεύρισης (μήκος κρηπιδώματος), μέγεθος και αριθμός τομέων του Χ/Σ ], την επιλογή του τύπου και της αναγκαίας ποσότητας του εξοπλισμού (π.χ. διασκελετικοί μεταφορείς, ελαστικοφόροι γερανογέφυρες, οχήματα εσωτερικής μεταφοράς), τις επιχειρησιακές πολιτικές (π.χ. ημέρες παραμονής των Ε/Κ που προσφέρονται ατελώς), τους τιμοκαταλόγους σύμφωνα με τις εκτιμώμενες λειτουργικές δαπάνες (κέντρα κόστους) και τις πολιτικές που έχουν επιπτώσεις στις διαδικασίες (π.χ. ιδιοκτησία). Οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο επιβάλλουν ένα σύνολο περιορισμών στα χαμηλότερα επίπεδα λήψης αποφάσεων.

Το τακτικό επίπεδο, αντίθετα, περιλαμβάνει μεσοπρόθεσμες αποφάσεις (μια εβδομάδα μέχρι μήνες), όπως π.χ. την κατανομή του χώρου εναπόθεσης στις ναυτιλιακές εταιρίες. Στο τακτικό επίπεδο λαμβάνονται μεσοπρόθεσμες αποφάσεις βασισμένες συνήθως στα ιστορικά στατιστικά στοιχεία των προαναγγελιών άφιξης πλοίων. Αυτές οι αποφάσεις προσπαθούν να εξισορροπήσουν τη διάθεση πόρων με την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση του ΣΕΜΠΟ. Τακτικές αποφάσεις είναι αυτές που αφορούν την κατανομή των πόρων ανά εργασία και την κατάρτιση γενικών κανόνων που διέπουν τη δημιουργία πλάνων απόθεσης στο χώρο στοιβάσις. Οι τακτικού επιπέδου αποφάσεις περιορίζονται από αυτές που λαμβάνονται σε στρατηγικό επίπεδο και επιβάλλουν νέους περιορισμούς στο επιχειρησιακό επίπεδο.

Τέλος, το επιχειρησιακό επίπεδο περιλαμβάνει τις καθημερινές, λεπτομερείς και συγκεκριμένες αποφάσεις, όπως π.χ. την τοποθέτηση ενός Ε/Κ σε συγκεκριμένη θέση στο χώρο στοιβάσις, οι οποίες ιεραρχούνται και στη συνέχεια οδηγούν σε συγκεκριμένες και λεπτομερείς εντολές εργασίας. Στο επίπεδο αυτό, οι αποφάσεις περιορίζονται από τις αποφάσεις που έχουν ήδη ληφθεί σε στρατηγικό και σε τακτικό επίπεδο. Για παράδειγμα, η απόφαση απόθεσης ενός Ε/Κ σε μια συγκεκριμένη θέση στο χώρο στοιβάσις υπαγορεύεται από τους περιορισμούς του στρατηγικού χωροταξικού σχεδιασμού και των κανόνων που έχουν ορισθεί στο τακτικό επίπεδο.

Γενικώς, όπως θα δειχθεί στη συνέχεια του Κεφαλαίου, ο αντίκτυπος κάθε βραχυ-, μεσο- ή μακροπρόθεσμης απόφασης στα άλλα επίπεδα ιεράρχησης μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντικός. Επομένως, πριν από τη λήψη κάθε απόφασης πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά οι συνέπειες και να αξιολογούνται τα πιθανά σενάρια που θα μπορούσαν ενδεχομένως να επιτύχουν συνολική βελτιστοποίηση σε όλα τα επίπεδα, αντί να επιδιώκεται μωπικά η μεμονωμένη βελτιστοποίηση των διαδικασιών σε κάθε επίπεδο.

Στον πίνακα 3.1. παρουσιάζονται οι σημαντικότερες αποφάσεις που λαμβάνονται στους ΣΕΜΠΟ και σημειώνεται το επίπεδο λήψης αποφάσεων για καθεμιά από αυτές.



ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Ταξινόμηση λειτουργιών ΣΕΜΠΟ ανάλογα με το επίπεδο λήψης αποφάσεων.

	Λειτουργίες / Αποφάσεις ΣΕΜΠΟ	Στρατηγικές	Τακτικές	Επιχειρησιακές
Στρατηγικός Σχεδιασμός & Διοίκηση	Χωροταξικός Σχεδιασμός ΣΕΜΠΟ	✓		
	Επιλογή Αριθμού Θέσεων Πλεύρισης	✓		
	Επιλογή Εξοπλισμού Μεταφορών (τύπος & αριθμός)	✓		
	Επιλογή Τύπου Γερανογέφυρας	✓		
	Επιλογής Εξοπλισμού Στοιβασίας	✓		
	Πολιτικές / Κανόνες Στοιβασίας	✓		
	Αρχές Λειτουργίας (Προαναγγελίες, Χρονικά Παράθυρα)	✓		
	Συμβάσεις - Πολιτικές Χρέωσης - Εκπτώσεις - Ποινικές Ρήτρες	✓		
	Κατανομή Εργατικού Δυναμικού - Αμοιβές	✓		
	Συντήρηση Εξοπλισμού - Διαθεσιμότητα	✓		
	Διαχείριση Αποθηκών Ανταλλακτικών - Διαθεσιμότητα	✓	✓	
	Διοικητικές Πολιτικές Ροής Εγγράφων & Τεκμηρίωσης	✓		
Λειτουργία Πλοίου	Κατανομή Θέσεων Πλεύρισης στα Αφικνούμενα Πλοία	✓		
	Προγραμματισμός Γερανογεφυρών		✓	✓
	Κατανομή Πόρων - Γερανογέφυρες		✓	✓
	Κατανομή Εργατικού Δυναμικού - Ομοχειρίες		✓	✓
	Δημιουργία Ακολουθίας Φόρτωσης - Πλάνο Φόρτωσης		✓	✓
	Επαναστοιβάση μέσω κρηπιδώματος		✓	✓
	Μετατοπίσεις εντός Πλοίου		✓	✓
Δημιουργία Αλληλουχίας Μεταφοράς Ε/Κ προς κρηπίδωμα			✓	
Λειτουργία Μεταφοράς προς Κρηπίδωμα	Κατανομή Πόρων - Εξοπλισμός Μεταφοράς		✓	✓
	Δρομολόγηση Εξοπλισμού Μεταφοράς προς κρηπίδωμα			✓
	Δημιουργία Ακολουθίας Εξοπλισμού Μεταφοράς			✓
Λειτουργία Αυλής Ε/Κ	Απόθεση Συγκεκριμένου Έμφορτου Ε/Κ			✓
	Προγραμματισμός Εναπόθεσης / Κατανομή Χώρου		✓	
	Εναπόθεση Κενών Ε/Κ		✓	✓
	Εναπόθεση Ε/Κ Μεταφόρτωσης		✓	✓
	Εναπόθεση Ε/Κ Ψυγείων		✓	✓
	Εναπόθεση Ε/Κ - Επικίνδυνα Φορτία		✓	✓
	Ανακατάταξη - Τακτοποίηση - Μη Παραγωγικές Κινήσεις	✓		✓
	Δημιουργία Ακολουθίας Μεταφοράς Ε/Κ			✓
Λειτουργία Παραλαβής / Παράδοσης Ε/Κ	Κατανομή Πόρων - Εξοπλισμός Μεταφοράς - Αποστολή			✓
	Δρομολόγηση Εξοπλισμού Μεταφοράς - Αποστολή			✓
	Λειτουργία Πυλών (Αριθμός Πυλών Εισόδου/Εξόδου)			✓

### 3.2. ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Στον πίνακα 3.2. παρουσιάζονται οι αλληλεπιδράσεις των αποφάσεων στους ΣΕΜΠΟ ανάλογα το εκάστοτε επίπεδο. Όπως φαίνεται, οι στρατηγικές αποφάσεις, τις περισσότερες φορές έχουν επιπτώσεις στις διαδικασίες τακτικού και επιχειρησιακού επιπέδου. Για παράδειγμα, έχοντας υπόψη το βασικό σχεδιάγραμμα ενός ΣΕΜΠΟ στο στρατηγικό επίπεδο, φαίνεται ότι οι διακλαδώσεις των αντίστοιχων λειτουργιών επηρεάζουν τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Κάθε τύπος εξοπλισμού έχει διαφορετικό κόστος κτίσης, λειτουργικές απαιτήσεις και απαιτήσεις αντοχής εδάφους. Συγκεκριμένοι εξοπλισμοί υπαγορεύουν τεχνολογικούς περιορισμούς στις διαδικασίες των ΣΕΜΠΟ. Η επιλογή, π.χ., διασκελετικού μεταφορέα για χρήση εντός του ΣΕΜΠΟ, επιβάλλει περιορισμό στο χώρο στοιβασίας, με ανώτατο όριο τα 3 Ε/Κ καθ' ύψος. Παρομοίως, ένα γερανοφόρο εμπρόσθιας στοιβασίας ή μια RTG μπορεί να χειριστεί μια στοίβα 5-6 Ε/Κ. Επιπλέον, όταν επιλέγονται ρομποτικά οχήματα απαιτείται μεγαλύτερος στόλος για την εκτέλεση των ίδιων εργασιών, λόγω της χαμηλότερης ταχύτητας.

Γενικότερα, τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού, όπως η ικανότητα ανύψωσης, η ταχύτητα και οι δαπάνες συντήρησης, πρέπει να εξετάζονται σε στρατηγικό επίπεδο, έτσι ώστε η απόφαση της επιλογής του εξοπλισμού να μην εμποδίζει τη λειτουργία του ΣΕΜΠΟ. Επιπρόσθετα, οι διαδικασίες στοιβασίας έχουν άμεση επίδραση στη συνολική χωρητικότητα TEU του ΣΕΜΠΟ. Σύμφωνα με τους Imai et al [10], όταν η στοιβασία γίνεται σε μεγαλύτερο ύψος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας αλλά συγχρόνως και την αύξηση του αριθμού των «κενών κινήσεων»/ανακατατάξεων. Αυστηρή τήρηση των διαδικασιών απαιτείται, για παράδειγμα, κατά την εξέταση της περίπτωσης των κενών Ε/Κ. Συνήθως, για λόγους ασφάλειας, τα κενά Ε/Κ στοιβάζονται σε ομάδες αρκετών σειρών, δίπλα-δίπλα, καθ' ύψος 5-6 Ε/Κ. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή αυτής της λειτουργίας περιορίζει σημαντικά την επιλογή του εξοπλισμού του Χ/Σ, ο οποίος θα πρέπει, σε αυτήν την περίπτωση, να έχει την ικανότητα να λειτουργήσει σε ύψος 5-6 Ε/Κ.

Συνήθης περιορισμός για την ανάπτυξη των λιμένων είναι η μικρή διαθεσιμότητα γης σε ένα ΣΕΜΠΟ. Οι δαπάνες για την επέκταση των θέσεων πλεύρισης και των χώρων στοιβασίας έχουν σημαντική επίπτωση στο σχεδιασμό ενός ΣΕΜΠΟ και γι' αυτό υπαγορεύεται η ανάγκη χρήσης στοιβών με το υψηλότερο πιθανό ύψος. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό ανακατατάξεων, άρα και υψηλότερες δαπάνες σε εργατικό δυναμικό και εξοπλισμό, με συνέπεια να αυξάνονται ιδιαίτερα οι λειτουργικές δαπάνες. Κατά συνέπεια, ένα σύστημα λήψης αποφάσεων (decision support system, DSS) πρέπει να αναπτύσσεται λαμβάνοντας υπόψη τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, το κεφάλαιο κτήσης εξοπλισμού και το κόστος συντήρησής του, τη διαθεσιμότητα γης και τους περιορισμούς επέκτασης του ΣΕΜΠΟ, καθώς και το απαραίτητο εργατικό δυναμικό.



Οι Nishimura et al [11] παρουσιάζουν ένα αντίστοιχο σύστημα, το οποίο όμως αποτυγχάνει να συμπεριλάβει όλες αυτές τις παραμέτρους. Επίσης, ο περιορισμός του ρυθμού απόδοσης της αποβάθρας του ΣΕΜΠΟ σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό και, πολύ περισσότερο, με το μήκος των θέσεων πλεύρισης που θα κατασκευαστούν. Παρομοίως, η χερσαία απόδοση του ΣΕΜΠΟ σχετίζεται με τον αριθμό των πυλών εισόδου/εξόδου που εξυπηρετούν τα φορτηγά.

Στο τακτικό επίπεδο, σε αρκετά λιμάνια, κάποια τμήματα που είναι αρμόδια για τις διαδικασίες των ΣΕΜΠΟ, λειτουργούν απομονωμένα το ένα από το άλλο. Ως εκ τούτου, η διοίκηση των λιμένων διαχειρίζεται τα στοιχεία αυτά, χωρίς να γνωρίζει τη δυναμικά εξελισσόμενη εικόνα του ΣΕΜΠΟ. Για παράδειγμα, πολύ συχνά συναντώνται τμήματα που αναθέτουν θέσεις πλεύρισης σε εισερχόμενα πλοία, χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε εξέταση στο σχεδιάγραμμα των χώρων στοιβάσις τη συγκεκριμένη στιγμή. Το αποτέλεσμα είναι να λαμβάνονται ελλειπείς διοικητικές αποφάσεις με επιβλαβείς επιπτώσεις στην αποδοτικότητα του ΣΕΜΠΟ.

Θεωρείται, λοιπόν, επιτακτικό να επαναπροσδιοριστούν οι υπηρεσιακές δομές και διαδικασίες, προκειμένου να αποφεύγονται τέτοιου είδους «παγίδες». Από τη σκοπιά των χειριστών πλοίων, η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου παραμονής τους βοηθά στην καλύτερη χρησιμοποίηση των ακριβών πλοίων που μεταφέρουν Ε/Κ. Για το συμφέρον τους, επιδιώκουν να βρουν ΣΕΜΠΟ που παρέχουν γρήγορες και αξιόπιστες υπηρεσίες, λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος ανά βάρδια. Είναι, επίσης, αρκετά συχνό να προτιμούν συμβάσεις που δεσμεύουν το λιμάνι για ελάχιστο αριθμό κινήσεων (φορτώσεις/εκφορτώσεις) ανά εργατοώρα στη θέση πλεύρισης και για συγκεκριμένο (ποσοτική έκπτωση) κόστος χειρισμού ανά κίνηση Ε/Κ. Έτσι, ο χειριστής πρέπει να επιτύχει (στρατηγικά/λειτουργικά) αυτό τον αριθμό κινήσεων ανά ώρα, βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες του ΣΕΜΠΟ, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δαπάνες τους και όχι οι χρόνοι παραμονής των πλοίων. Κατά συνέπεια, οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τους διάφορους συνεργάτες, πρέπει να αναλυθούν και να δοθεί λύση που να ικανοποιεί, τόσο το ΣΕΜΠΟ, όσο και τις ανάγκες των επενδυτών.

Στο επιχειρησιακό επίπεδο, οι περισσότερες αποφάσεις δεσμεύονται από στρατηγικές-τακτικές αποφάσεις που έχουν ήδη προγραμματιστεί. Συνήθως, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης εφαρμόζονται για την ελαχιστοποίηση της απόστασης που έχει συνολικά διανυθεί, ενώ η ακολουθία των εργασιών επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των χρόνων κίνησης των «κενών» οχημάτων εντός του ΣΕΜΠΟ. Τα σενάρια «σε περίπτωση που» για τα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας (όπως προγραμματισμός) πρέπει να αναπτύσσονται, χρησιμοποιώντας το πλαίσιο που παρουσιάζεται και εξετάζεται, έτσι ώστε να υιοθετηθεί το σενάριο βελτιστοποιημένο στρατηγικά, τακτικά και επιχειρησιακά.

### 3.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του Κεφαλαίου, ελάχιστες είναι οι μελέτες που αναφέρονται σε αλληλεπιδράσεις των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, χωριστά στο στρατηγικό, τακτικό ή επιχειρησιακό επίπεδο. Στη συνέχεια, γίνεται κριτική παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας, η οποία παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα 3.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Δημοσιεύσεις	Περιγραφή προβλήματος		Προσέγγιση	
	Περιοχή μελέτης	Τρόπος μεταφοράς	Επίπεδο αναφοράς	Χρήση
[12]	μεταφορά	οδικώς	επιχειρησιακό	αυτοματισμός
[13]	αποθήκευση	οδικώς	τακτικό	DSS
[14]	αποθήκευση	οδικώς	τακτικό	DSS
[15]	μεταφορά	όλα τα μέσα	όλα τα επίπεδα	αυτοματισμός
[16]	αποθήκευση /μεταφορά	οδικώς /σιδηροδρομικώς	επιχειρησιακό	DSS
[17]	αποθήκευση	οδικώς	επιχειρησιακό	DSS
[18]	μεταφορά	AGV	τακτικό	αυτοματισμός
[19]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[20]	αποθήκευση	οδικώς	τακτικό /στρατηγικό	DSS
[21]	φορτοεκφόρτωση πλοίων	οδικώς /σιδηροδρομικώς	τακτικό	DSS
[22]	φορτοεκφόρτωση πλοίων	θαλάσσια	τακτικό /στρατηγικό	DSS
[23]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[24]	μεταφορά		τακτικό /στρατηγικό	DSS
[25]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	στρατηγικό	DSS
[26]	ανάθεση αγκυροβολίου	θαλάσσια	τακτικό	DSS
[27]	ανάθεση αγκυροβολίου	θαλάσσια	τακτικό	DSS
[28]	μεταφορά	οδικώς /σιδηροδρομικώς	στρατηγικό	αυτοματισμός
[29]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[30]	ανάθεση αγκυροβολίου	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[31]	φορτοεκφόρτωση πλοίων	γερανογέφυρα κρη-πιδώματος (QC), θαλάσσια	τακτικό	DSS
[32]	μεταφορά	οδικώς	τακτικό	DSS
[33]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[34]	φορτοεκφόρτωση πλοίων	AGV/ALV	τακτικό	DSS
[35]	μεταφορά	γερανοί	τακτικό	DSS

Δημοσιεύσεις	Περιγραφή προβλήματος		Προσέγγιση	
	Περιοχή μελέτης	Τρόπος μεταφοράς	Επίπεδο αναφοράς	Χρήση
[36]	φορτοεκφόρτωση πλοίων	AGV/ γερανοί	τακτικό	DSS
[37]	μεταφορά	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[38]	μεταφορά	όλα τα μέσα	όλα τα επίπεδα	αυτοματισμός
[39]	μεταφορά	οδικώς	τακτικό /στρατηγικό	DSS
[40]	μεταφορά	οδικώς	στρατηγικό	DSS
[41]	ανάθεση αγκυροβολίου	θαλάσσια	τακτικό	DSS
[42]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	στρατηγικό	αυτοματισμός
[43]	μεταφορά	γερανοί	επιχειρησιακό	DSS
[44]	μεταφορά	γερανός πλοίου (SC)	τακτικό	DSS
[45]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	στρατηγικό	αυτοματισμός
[46]	ανάθεση αγκυροβολίου	θαλάσσια	τακτικό	DSS
[47]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	τακτικό	DSS
[48]	μεταφορά	οδικώς	επιχειρησιακό	DSS
[1]	όλες οι διαδικασίες	όλα τα μέσα	στρατηγικό	αυτοματισμός

#### A. Βιβλιογραφία στρατηγικού επιπέδου

Οι Kim και Kim [49] πρότειναν μεθόδους που αξιολογούν το σχεδιασμό του Χ/Σ με τον υπολογισμό του αναμενόμενου αριθμού των επαναστοιβασιών χρησιμοποιώντας ελαστικοφόρους γερανογέφυρες, ενώ οι Holgun-Veras και Jara-Duaz [50] μελέτησαν το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής χώρου.

Οι Liu et al [51] ανέλυσαν τα διάφορα μοντέλα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση νέων πολιτικών σε ένα ΣΕΜΠΟ, χρησιμοποιώντας μια πολυπαραγοντική μέθοδο λήψης αποφάσεων (multi-attribute decision making, MADM), μελέτησαν την απόδοση δύο διαφορετικών σχεδιαγραμμάτων χώρων στοιβασίας και καθόρισαν το βέλτιστο αριθμό των ανατιθεμένων ρομποτικών οχημάτων σε καθένα από αυτά, μέσω προσομοίωσης.

Οι Dekker et al [52] διερεύνησαν διάφορες πολιτικές στοιβασίας για τα Ε/Κ στους αυτοματοποιημένους ΣΕΜΠΟ, υιοθετώντας την προσομοίωση. Ο Hennesey [53] πειραματίστηκε εφαρμόζοντας τα συστήματα multi-agent, ερευνώντας τον αντίκτυπο που έχουν οι διαφορετικές πολιτικές δημιουργίας ακολουθιών μεταφοράς (sequencing), κατανομής θέσεων πλευρίσης (berthing) και στοιβασίας, στην απόδοση των ΣΕΜΠΟ. Μεγάλος αριθμός πειραμάτων βασίστηκε στο γεγονός ότι συλλέχθηκαν πραγματικά στοιχεία, προκειμένου να αξιολογηθούν οκτώ διαφορετικές πολιτικές μεταφόρτωσης. Ο Hennesey συμπέρανε ότι με καλύτερες αποφάσεις για τους χώρους στοιβασίας και για

την κατανομή θέσεων πλεύρισης, επιτυγχάνεται καλύτερος χρόνος εξυπηρέτησης των πλοίων (turnaround time) (π.χ. χρησιμοποιώντας την πολιτική «στοιβασίας σύμφωνα με τον προορισμό του» – stacking-by-destination).

Οι Ha et al [54] παρουσίασαν ένα μοντέλο προσομοίωσης για ΣΕΜΠΟ που αποτυπώνει αναλυτικά την απόδοση του εξοπλισμού. Οι κινήσεις των τρόλεϊ, των πλαϊσίων ανάρτησης κ.λπ. απεικονίζονται τρισδιάστατα και διαδραστικά. Οι Shabayek και Yeung [55] ανέπτυξαν το μοντέλο προσομοίωσης του ΣΕΜΠΟ του Kwai Chung στο Hong Kong. Οι Vis και Koster [56], χρησιμοποιώντας προσομοίωση, εξέτασαν την επίδραση της χρήσης ρομποτικών και αυτοματοποιημένων ανυψωτικών οχημάτων στους χρόνους εκφόρτωσης των πλοίων. Ο Kia [57] αξιολόγησε τη δυναμικότητα των ΣΕΜΠΟ, συγκρίνοντας και χρησιμοποιώντας δύο μοντέλα προσομοίωσης για εξερχόμενα Ε/Κ. Αντιστοίχως, άλλα μοντέλα προσομοίωσης απαντώνται στους Rizzolli et al [58], Zaffalon et al [59] και Liu et al [28].

Οι Imai et al [60] μελέτησαν το πρόβλημα κατανομής θέσεων πλεύρισης (berth allocation problem, BAP), χρησιμοποιώντας την τεχνική βελτιστοποίησης του Lagrange, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης του πλοίου. Μια τροποποίηση του προβλήματος BAP, που περιλαμβάνει την εξυπηρέτηση κατά προτεραιότητα, μαζί με την ανάπτυξη ενός γενετικού αλγορίθμου συζητήθηκε από τους Imai et al [61]. Οι Cordeau et al [62] παρουσίασαν έναν αλγόριθμο αναζήτησης tabu για τη λύση του προβλήματος BAP. Οι Kim και Moon [63] ανέπτυξαν για το πρόβλημα BAP ένα μοντέλο ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (mixed-integer-linear-programming, MILP), ενώ οι Dai et al [41] διατύπωσαν το πρόβλημα BAP ως πρόβλημα rectangle-packing με τους χρονικούς περιορισμούς άφιξης, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο αναζήτησης που υιοθετεί την έννοια του ζευγαριού ακολουθίας για να καθορίσει δομή γειτονιάς. Οι Wang και Lim [64] μετέτρεψαν το πρόβλημα BAP σε διαδικασία λήψης αποφάσεων πολλαπλών επιπέδων. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, παρουσιάζεται ένας στοχαστικός αλγόριθμος αναζήτησης (beam search), προκειμένου να αντιμετωπιστεί η δυσκολία εύρεσης αποτελεσματικών ορίων ή εκτιμήσεων ακριβείας για την κρίσιμη ποιότητα. Οι συγγραφείς αυτοί κατέδειξαν ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αναζήτησης λειτουργεί ακριβέστερα και αποδοτικότερα από εκείνον των Dai et al [41], αλλά και από τον κοινό αλγόριθμο αναζήτησης (beam search). Το ίδιο πρόβλημα μελετήθηκε από τους Legato και Mazza [65], τους Ambrosino et al [66] και τους Moorthy και Teo [67].

Ο Kozan [68] σχεδίασε ένα μοντέλο δικτύου για την ανάλυση της παραγωγικότητας ενός ΣΕΜΠΟ και των σημαντικότερων παραγόντων που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των μεταφορών στους ΣΕΜΠΟ. Επιπλέον, ανέπτυξε ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων, στο πλαίσιο της αξιολόγησης της επένδυσης στους ΣΕΜΠΟ. Το

πρόβλημα του προγραμματισμού του εργατικού δυναμικού αντιμετωπίζεται από του Legato και Monaco [69], αναπτύσσοντας ευρετικές μεθόδους. Επιπροσθέτως, οι Kim και Park [70] καθόρισαν το πρόβλημα του προγραμματισμού των χειριστών, ως πρόβλημα ικανοποίησης περιορισμών, χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο εμπορικό λογισμικό. Οι σημαντικότεροι περιορισμοί που εντοπίστηκαν στο μοντέλο περιλαμβάνουν περιορισμούς στην ανάθεση του ελάχιστου εργατικού δυναμικού σε βάρδια, το μέγιστο συνολικό χρόνο λειτουργίας ανά χειριστή και βάρδια, τους ελάχιστους και μέγιστους διαδοχικούς χρόνους εργασίας για κάθε χειριστή, τους τύπους εξοπλισμού που μπορεί να ανατεθούν σε κάθε χειριστή και τις διαθέσιμες χρονικές περιόδους για κάθε χειριστή ή για κάθε μηχάνημα του εξοπλισμού. Η πολιτική χρονικού προγραμματισμού αφίξεων φορτηγών για την παραλαβή εξερχομένων Ε/Κ χρησιμοποιείται στους ασιατικούς λιμένες, προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις καθυστερήσεις στις διαδικασίες των πυλών και των αυλών, σύμφωνα με τους Murty et al [29].

Οι Yongbin et al [71] μελέτησαν το πρόβλημα της διαχείρισης του Χ/Σ των ΣΕΜΠΟ. Για να μειωθεί η πιθανή κυκλοφοριακή συμφόρηση των φορτηγών, χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο εξισορρόπησης του φόρτου εργασίας (υψηλό-χαμηλό). Ανέπτυξαν ένα μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (mixed integer linear programming, MILP), για να προσδιοριστούν οι θέσεις αποθήκευσης και ο αριθμός των εισερχόμενων Ε/Κ, καθώς και ο ελάχιστος αριθμός ελαστικοφόρων γερανογεφυρών που χρειάζονται σε κάθε βάρδια. Ο Henesey [72] πρότεινε την προσέγγιση συστημάτων multi-agent. Το σύστημα που αναπτύσσεται χρησιμοποιεί τους agents για την αντιστοίχιση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ. Οι Henesey et al [73] ανέπτυξαν ένα μοντέλο προσομοίωσης με τη χρήση agents για την αξιολόγηση διαφορετικών λειτουργικών πολιτικών στη μεταφόρτωση Ε/Κ στους ΣΕΜΠΟ. Οκτώ πολιτικές μεταφόρτωσης αξιολογούνται, όσον αφορά διάφορες πτυχές τους, όπως ο συνολικός χρόνος παραμονής των πλοίων και η απόσταση που διανύουν τα μηχανήματα μεταφοράς και στοιβασίας Ε/Κ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι καλές επιλογές των χώρων αποθήκευσης και των κανόνων κατανομής θέσεων πλεύρισης μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερους συνολικούς χρόνους εξυπηρέτησης των πλοίων. Για παράδειγμα, στο ΣΕΜΠΟ που μελετάται, η πολιτική μείωσης του συνολικού χρόνου προσφέρει καλύτερους συνολικούς χρόνους εξυπηρέτησης των πλοίων, όταν συνδυάζεται με την πολιτική ανάθεσης πλεύρισης, κατά την οποία εξυπηρετούνται κατά προτεραιότητα τα πλοία με το μικρότερο προβλεπόμενο χρόνο φορτοεκφόρτωσης.

### *B. Βιβλιογραφία τακτικού επιπέδου*

Οι Nishimura et al [11] ανέπτυξαν έναν ευρετικό αλγόριθμο για τη δυναμική δρομολόγηση (dynamic routing) των ρυμουλκών, που επικεντρώνεται στην απόσταση που



διανύουν τα ρυμουλκά και το κατάλληλο μέγεθος στόλου (τακτικές/επιχειρησιακές αποφάσεις). Οι Kim και Park [74] ανέπτυξαν ένα μοντέλο MILP, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ανάθεση του Χ/Σ ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των επαναστοιβασίων. Οι Gambardella et al [75] παρουσίασαν ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο αξιολογεί τις μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν το πρόγραμμα κατανομής πόρων.

Οι Kim και Park [70] προτείνουν μια μέθοδο first branch and bound για την εύρεση της βέλτιστης λύσης του προβλήματος των γερανογεφυρών κρηπιδώματος και έπειτα αναπτύσσουν έναν ευρετικό αλγόριθμο αναζήτησης που μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα της μεθόδου branch and bound. Για το ίδιο πρόβλημα, ο Ng [76] και οι Ng και Mak [77] ανέπτυξαν ένα δυναμικό ευρετικό αλγόριθμο, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή παρέμβαση μεταξύ των γερανογεφυρών. Επίσης, οι Lee et al [78] αντιμετώπισαν το ίδιο πρόβλημα παρακινούμενοι από την εργασία των Kim και Park [70], με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Οι Liang και Mi [79], για τον ίδιο λόγο, πρότειναν ένα μοντέλο πολλαπλών στόχων. Οι λύσεις τους δίνονται με αριθμητικά πειράματα με τη χρήση ενός υβριδικού γενετικού αλγορίθμου πολλαπλών στόχων που ενσωματώνει μια κωδικοποίηση βάσει προτεραιοτήτων.

Οι Liu et al [80], για το ίδιο πρόβλημα, παρουσίασαν ένα μοντέλο MILP για προγραμματισμό χρονικού ορίζοντα μιας εβδομάδας. Στόχος τους ήταν η ελαχιστοποίηση της μέγιστης σχετικής αργοπορίας των αναχωρήσεων των πλοίων. Οι Goodchild και Daganzo [81, 82, 83, 84] και ο Goodchild [85, 86] μελέτησαν το μοντέλο διπλού κύκλου, όπου ένας κύκλος εκφόρτωσης ακολουθεί έναν κύκλο φόρτωσης, έτσι ώστε η γερανογέφυρα να μην έχει κενές κινήσεις. Το πρόβλημα διατυπώνεται ως πρόβλημα σχεδιασμού ροής δύο μηχανών, υποθέτοντας ότι η μια γερανογέφυρα κρηπιδώματος (quay crane, QC) αποτελείται από δύο ξεχωριστές γερανογέφυρες, μια για τη φόρτωση και μια άλλη για την εκφόρτωση.

Οι Gambardella et al [32] παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την ενσωμάτωση της προσομοίωσης, της πρόβλεψης και του προγραμματισμού για την υποστήριξη, τόσο των καθημερινών, όσο και των μακροπρόθεσμων αποφάσεων για τους χειριστές των ΣΕΜΠΟ. Οι Cordeau et al [87] συζήτησαν το πρόβλημα της κατανομής τακτικών υπηρεσιών σε ένα ΣΕΜΠΟ. Οι αποφάσεις κατανομής υπηρεσιών λαμβάνονται συνήθως σε χρονικό ορίζοντα τριών μηνών. Το πρόβλημα που μελετάται είναι ένα διοικητικό πρόβλημα για την εκπλήρωση των αιτημάτων των ναυτιλιακών εταιριών για την «κράτηση» των προτιμητέων περιοχών της αυλής καθώς και της αποβάθρας, κατά τη διαδρομή τους στα λιμάνια. Οι αποφάσεις στο τακτικό επίπεδο μπορεί να τροποποιηθούν, όταν τα πλοία φθάνουν πλέον στο λιμάνι.

Οι Ambrosino et al [66] αντιμετώπισαν το πρόβλημα δημιουργίας πλάνου φόρτωσης (master bay plan, MBP), βρίσκοντας το βέλτιστο πλάνο για τη φόρτωση των Ε/Κ σε ένα πλοίο, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο δομικών και λειτουργικών περιορισμών και προτείνοντας μια ευρετική μέθοδο βασισμένη στους κανόνες προ-αποθήκευσης (pre-marshaling). Οι Kim et al [88] εξέτασαν το πρόβλημα MBP διατυπώνοντας ένα σύστημα λήψης αποφάσεων, το οποίο παράγει τη λίστα φόρτωσης και την ακριβή ακολουθία φόρτωσης των εξαγόμενων Ε/Κ στο πλοίο. Το προτεινόμενο μοντέλο ελαχιστοποιεί την προσπάθεια χειρισμού της γερανογέφυρας κρηπιδώματος και του εξοπλισμού των λιμένων και εξασφαλίζει τη σταθερότητα των πλοίων.

Οι Feng et al [89] πρότειναν ένα γραμμικό (0-1) μοντέλο προγραμματισμού για το πρόβλημα MBP, λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερότητα του πλοίου. Ο στόχος τους ήταν να μεγιστοποιηθεί η χρήση του Χ/Σ, ελαχιστοποιώντας το κόστος λειτουργίας φόρτωσης και μεταφόρτωσης διαφορετικών τύπων Ε/Κ σε κάθε λιμένα ενός ταξιδιού με πολλές προσεγγίσεις, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που προκύπτουν από τη σταθερότητα των πλοίων, τους διεθνείς κανονισμούς και τις οδηγίες των εταιριών.

Οι Kim και Kim [90] εξέτασαν το πρόβλημα της κατανομής του Χ/Σ για τα εισαγόμενα Ε/Κ χρησιμοποιώντας τη στρατηγική διαχωρισμού, σύμφωνα με την οποία δεν επιτρέπεται να στοιβάζονται τα Ε/Κ που μόλις έφθασαν, πάνω από τα Ε/Κ που έχουν αφιχθεί νωρίτερα. Οι περιπτώσεις, όπου η συχνότητα άφιξης των Ε/Κ εισαγωγής (import) είναι σταθερή, κυκλική και δυναμική, αναλύονται περαιτέρω. Για κάθε πλοίο δεσμεύονται χώροι αποθήκευσης, προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο αναμενόμενος συνολικός αριθμός επαναστοιβασίων. Προτείνονται μαθηματικά μοντέλα και διαδικασίες για τη λύση του προβλήματος, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση. Σε επόμενη εργασία τους, οι Kim και Kim [91] παρουσίασαν μια μέθοδο προσδιορισμού του βέλτιστου αριθμού των χώρων αποθήκευσης και του βέλτιστου αριθμού γερανογεφυρών για το χειρισμό των εισαγόμενων Ε/Κ. Στην εργασία αυτή, ανέπτυξαν ένα μοντέλο κόστους που περιλαμβάνει το κόστος των χώρων, το κόστος επένδυσης των γερανογεφυρών, και τη λειτουργική δαπάνη των γερανογεφυρών και των φορτηγών.

Οι Kim και Lee [92] πρότειναν μια προσέγγιση simulated annealing για την επίλυση του θέματος της επανατοποθέτησης των οδικώς εξερχόμενων Ε/Κ μέσα σε ένα block (remarshaling) με πολλαπλές γερανογέφυρες που δεν διασταυρώνονται.

Οι Zhang et al [93] μελέτησαν το πρόβλημα της κατανομής των χώρων στοιβασίας των ΣΕΜΠΟ, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα. Για κάθε χρονικό ορίζοντα, το πρόβλημα αναλύεται σε δύο επίπεδα και κάθε επίπεδο διατυπώνεται ως μαθηματικό μοντέλο προγραμματισμού. Στο πρώτο επίπεδο, ο συνολικός αριθμός των Ε/Κ που τοποθετούνται σε κάθε τομέα για κάθε χρονική περίοδο του χρονικού ορίζοντα, ορίζεται προκειμένου να ισορροπήσουν οι δύο τύποι του φόρτου εργασίας μεταξύ των block. Στο δεύτερο επίπεδο, καθορίζεται ο αριθμός των Ε/Κ που συνδέονται με κάθε πλοίο, το οποίο καθορίζει το συνολικό αριθμό των Ε/Κ για κάθε block σε κάθε χρονική περίοδο, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συνολική απόσταση που απαιτείται για να μεταφερθούν τα Ε/Κ μεταξύ των χώρων αποθήκευσης και των θέσεων πλεύρισης των πλοίων.

Οι Kim et al [94] εστίασαν στη πολιτική στοιβασίας Ε/Κ στην αυλή των αυτοματοποιημένων ΣΕΜΠΟ. Η προτεινόμενη προσέγγιση υιοθετεί μέθοδο λήψης ασαφών αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων με δυναμικές απευθείας ρυθμίσεις των κριτηρίων στάθμισης που αντιπροσωπεύουν τη σχετική σημασία των κριτηρίων.

### *Γ. Βιβλιογραφία επιχειρησιακού επιπέδου*

Οι Kim και Kim [95, 96] ασχολούνται με το πρόβλημα δρομολόγησης διασκελετικών μεταφορέων, οι οποίοι στις συγκεκριμένες μελέτες χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση Ε/Κ στο χώρο στοιβασίας, όπως οι ελαστικοφόρες γερανογέφυρες, με στόχο την ελαχιστοποίηση της απόστασης που διανύεται από αυτές. Ο Bish [97] μελέτησε την ανάθεση εργασιών στα ρομποτικά οχήματα, αναλύοντας με ευρετικό αλγόριθμο ένα σεμινάριο της χειρότερης περίπτωσης που αναπτύχθηκε για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Γι' αυτή την προσέγγιση χρησιμοποίησε ως παράμετρο βελτιστοποίησης την ελαχιστοποίηση του χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τον περιορισμό που εισάγει η ελαχιστοποίηση του στόλου των ρομποτικών οχημάτων.

Οι Böse et al [98] ανέπτυξαν δύο εξελικτικά μοντέλα για την αντιμετώπιση του προβλήματος ανάθεσης διασκελετικών μεταφορέων. Στο πρώτο (semi-dynamic assignment), σταθερός αριθμός διασκελετικών μεταφορέων ανατίθεται στις γερανογέφυρες του πλοίου. Στο δεύτερο (dynamic assignment), συγκεκριμένος αριθμός διασκελετικών μεταφορέων ανατίθεται στο σύνολο των γερανογεφυρών. Το μοντέλο αδιαφορεί για τη στοιβαγή των Ε/Κ και για τον προορισμό των Ε/Κ που εκφορτώνονται.

Οι Murty et al [29] ανέπτυξε μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμους που χρησιμοποιήθηκαν στο σχεδιασμό συστήματος υποβοήθησης λήψης αποφάσεων για τις επιχειρησιακές λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ. Οι Kim και Bae [99] πρότειναν μια μεθοδολογία που μετατρέπει την υφιστάμενη κατάσταση του Χ/Σ σε κάποια επιθυμητή (remarshalling), μετακινώντας τον ελάχιστο αριθμό Ε/Κ και διανύοντας τη μικρότερη δυνατή απόσταση.

Οι Kang et al [100, 101] προτείνουν μια μεθοδολογία που βασίζεται στο simulated annealing, με στόχο να επιτύχουν τη βέλτιστη πολιτική στοιβασίας για τα εξαγόμενα Ε/Κ, για το βάρος των οποίων διατίθενται αβέβαιες πληροφορίες. Υπολογιστικά πειράματα δείχνουν ότι οι νέες στρατηγικές υπερκεράζουν τις παραδοσιακές στρατηγικές που στηρίζονται στο δόγμα της ομαδοποίησης και εναπόθεσης Ε/Κ του ίδιου βάρους, επειδή επιτυγχάνουν σημαντική μείωση των χρονοβόρων επαναστοιβασιών. Οι Kim και Lee [102] εφάρμοσαν την τεχνική ικανοποίησης περιορισμών (constraint satisfaction technique), με στόχο την αντιμετώπιση του προβλήματος ανάθεσης Χ/Σ στα εξαγόμενα Ε/Κ. Στόχος της προ-ανάθεσης του χώρου είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης του μηχανολογικού εξοπλισμού κατά τη διάρκεια της φόρτωσης.

Από την παραπάνω ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι, μέχρι σήμερα, μεγαλύτερη σημασία έχει δοθεί στις λειτουργίες που αφορούν τη φόρτωση και εκφόρτωση των Ε/Κ, με κύριο στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης των πλοίων. Άλλες, εξίσου ή και περισσότερο σημαντικές λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ παραμένουν ακόμη στο περιθώριο της σχετικής έρευνας και συνεχίζουν να απαιτούν εντατικότερη μελέτη.

Για παράδειγμα, οι περισσότερες μελέτες που αναφέρονται στη λειτουργία παράδοσης/παραλαβής, υιοθετούν πολιτικές, όπως η τιμολογιακή πολιτική ημερών ατέλειας για τις ημέρες αποθήκευσης των Ε/Κ, κατηγοριοποιημένες με βάση τον προορισμό και τον τρόπο μεταφοράς των Ε/Κ. Αυτές, όμως, οι πολιτικές επιδρούν άμεσα στο μέσο χρόνο παραμονής των Ε/Κ στο ΣΕΜΠΟ που, με τη σειρά του, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη συνολική διακίνηση των Ε/Κ στο ΣΕΜΠΟ, στην περίπτωση που θα επιλεγεί μεγάλη περίοδος ημερών ατέλειας. Τέτοιες παράμετροι είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν στα μοντέλα που αναπτύσσονται.

Άλλο πρόβλημα των σχετικών μελετών είναι ότι τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί δεν κατορθώνουν να συμπεριλάβουν τη διαθεσιμότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού. Στην πραγματικότητα, οι λειτουργίες της γερανογέφυρας σταματούν πολλές φορές χωρίς προειδοποίηση. Η παύση αυτή μπορεί να οφείλεται στις καιρικές συνθήκες, σε τεχνικά προβλήματα, σε κακή συντήρηση του εξοπλισμού, σε λάθη χειριστών κ.ά. και έχει επιπτώσεις σε όλες τις λειτουργίες των ΣΕΜΠΟ, γι' αυτό και πρέπει να συνεκτιμούνται.

Άλλος παράγοντας που δεν ελέγχεται από τις μέχρι τώρα μελέτες, είναι οι επιπτώσεις της καταχώρησης λανθασμένων δεδομένων στα συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων των ΣΕΜΠΟ. Για παράδειγμα, σε ΣΕΜΠΟ που δεν είναι πλήρως αυτοματοποιημένα, τα Ε/Κ μπορούν να στοιβαχθούν, από λάθος του χειριστή, σε θέση διαφορετική από τη θέση που προγραμματίστηκε από το σύστημα, με αποτέλεσμα η καινούρια

αυτή θέση να μην είναι γνωστή στο σύστημα διαχείρισης. Επίσης, λανθασμένα δεδομένα μπορεί να εισαχθούν στο σύστημα, λόγω παροχής λανθασμένων στοιχείων από τις ναυτιλιακές εταιρίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η προσπάθεια βελτιστοποίησης των λειτουργιών να βασίζεται σε λανθασμένα δεδομένα. Η αποφυγή ανάλογων προβλημάτων προϋποθέτει την ανάπτυξη συστημάτων ικανών να ελέγχουν αυτόματα τα δεδομένα εισαγωγής.

Εμφανής είναι η απουσία από τη βιβλιογραφία μεθόδων συνολικής βελτιστοποίησης περισσότερων του ενός τύπων μηχανολογικού εξοπλισμού, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις και στα τρία επίπεδα λήψης αποφάσεων.

Τέλος, η βελτίωση της απόδοσης των ΣΕΜΠΟ δεν επιτυγχάνεται μόνο με τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών ευθύνης του. Στην πράξη, στην καθημερινή λειτουργία των ΣΕΜΠΟ παρεμβάλλεται η επίδραση πληθώρας εξωγενών παραγόντων, όπως η προσόρμιση, η ρυμούλκηση, το δέσιμο των Ε/Κ (lashing) κ.ά., που ελέγχονται από διαφορετικούς οργανισμούς και υπηρεσίες (π.χ. λιμεναρχείο) και οι οποίοι επηρεάζουν το συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης των πλοίων. Η ανάπτυξη συστημάτων διεπαφής και διαδραστικότητας των ΣΕΜΠΟ με τους ποικίλους εξωτερικούς συνεργάτες του (stakeholders) είναι βέβαιο ότι μπορεί να οδηγήσει σε σαφή αύξηση της απόδοσής τους και, ως εκ τούτου, αποτελεί θερμό αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

**Συμπερασματικά**, οι παραπάνω ανεπάρκειες των επιστημονικών προσπαθειών, σε συνδυασμό με την εγγενή πολυπλοκότητα του προβλήματος, υπαγορεύουν την ανάγκη δημιουργίας ενός ολιστικού ιεραρχικού πλαισίου των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, που προσδοκούν να ελαχιστοποιήσουν τις δαπάνες τους και να αυξήσουν τα κέρδη, την απόδοση και την ανταγωνιστικότητά τους, μέσα από την ικανοποίηση των πελατών τους. Το μεθοδολογικό ιεραρχικό πλαίσιο που προτάθηκε, παρέχει τη βάση στην οποία μπορούν να στηριχθούν νέες προσπάθειες επίλυσης των προβλημάτων που απατούνται στη διαχείριση των ΣΕΜΠΟ για μια αποτελεσματικότερη βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους.



**ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ  
ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ**

<b>4.1. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ Ε/Κ ΣΤΟΝ ΟΛΘ.....</b>	<b>64</b>
<b>4.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....</b>	<b>73</b>
4.4.1. ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ .....	79
<b>4.5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....</b>	<b>80</b>
4.5.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	80
4.5.2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ .....	87





*“Design is not just what  
it looks like and feels like.*

*Design is how it works”*

Steve Jobs

Από τη συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, που έγινε στο προηγούμενο Κεφάλαιο, φαίνεται ότι είναι επιτακτική η βελτιστοποίηση των χερσαίων ιδιαίτερα λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, και προκύπτει η ανάγκη προσέγγισης του θέματος με τη βοήθεια του μεθοδολογικού ιεραρχικού πλαισίου αποφάσεων, που περιγράφηκε επίσης στο Κεφ. 2. Μια ανάλογη προσπάθεια που θα περιλάμβανε τη βελτιστοποίηση του συνόλου των λειτουργιών, ή έστω μόνο χερσαίων, είναι εξαιρετικά φιλόδοξη και πρακτικά ανέφικτη στο πλαίσιο μιας Διδακτορικής Διατριβής.

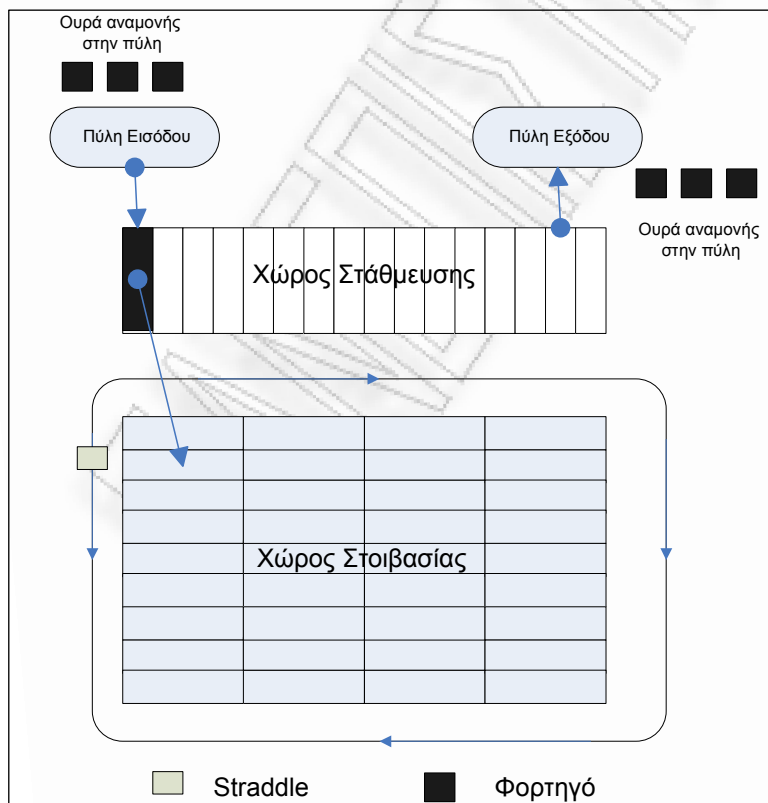
Έτσι και προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο η προτεινόμενη χρήση ενός μεθοδολογικού ιεραρχικού πλαισίου αποφάσεων μπορεί πράγματι να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιλέχθηκε να μελετηθεί, μέσα σ’ αυτό το πλαίσιο, η λειτουργία παράδοσης/παραλαβής σε ΣΕΜΠΟ λιμανιών που χρησιμοποιούν άμεσο σύστημα μεταφοράς και στοιβασίας Ε/Κ (straddle carrier direct system). Πέραν του γεγονότος ότι, μέχρι σήμερα, μόνο αποσπασματική μελέτη της συγκεκριμένης λειτουργίας υπάρχει στη βιβλιογραφία, βασικό κριτήριο για την επιλογή της αποτέλεσε η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος από τα ΣΕΜΠΟ των περισσότερων λιμανιών της Μεσογείου. Μεταξύ των τελευταίων περιλαμβάνεται και το λιμάνι της Θεσσαλονίκης, απ’ όπου υπήρχε η δυνατότητα άντλησης στοιχείων και πληροφοριών. Συγκεκριμένα, μας επιτράπηκε η πρόσβαση στα δεδομένα του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης (ΟΛΘ) των ετών 2006 και 2007, πάνω στα οποία βασίστηκε η επικύρωση (validation) και η επιβεβαίωση (verification) του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύχθηκε. Γι’ αυτό το λόγο, στη συνέχεια περιγράφεται κατ’ αρχάς λεπτομερώς η λειτουργία παράδοσης/παραλαβής ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ.

#### 4.1. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ Ε/Κ ΣΤΟΝ ΟΛΘ

Η ημερήσια δυναμικότητα παράδοσης/παραλαβής ενός ΣΕΜΠΟ είναι συνάρτηση πολλών μεταβλητών, όπως του διαθέσιμου εξοπλισμού, του τρόπου στοιβασίας, των διαθέσιμων εισόδων και εξόδων στο ΣΕΜΠΟ, των ωρών λειτουργίας, του ανθρώπινου δυναμικού και του ρυθμού προσέλευσης των φορτηγών. Η βελτιστοποίηση αυτής της λειτουργίας περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση της αναμονής και του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης, καθώς και την αύξηση της εκμετάλλευσης των διαθέσιμων πόρων.

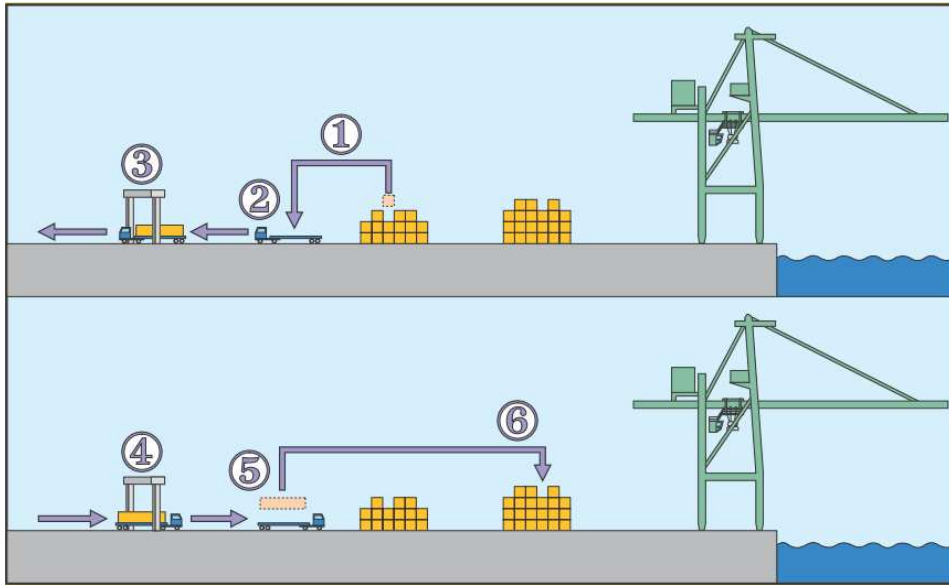
Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής συμβάλλει άμεσα στη μείωση του κόστους λειτουργίας, στη μείωση των ρύπων (truck idling time), στη βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας της περιοχής που γειτνιάζει με το ΣΕΜΠΟ και στην αύξηση της ημερήσιας δυναμικότητας παράδοσης/παραλαβής με αντίστοιχη μείωση του μέσου ύψους (δείκτης πληρότητας) στο χώρο στοιβασίας.

Στο ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ (εικ. 4.1) βρίσκονται σε λειτουργία τρεις πύλες εισόδου. Οι δύο από αυτές διατίθενται για παράδοση/παραλαβή Ε/Κ από το χώρο στοιβασίας και η τρίτη για απευθείας παράδοση Ε/Κ στα πλοία. Για την παράδοση/παραλαβή Ε/Κ από ένα φορτηγό απαιτείται η έκδοση αδειας απόθεσης και εξόδου, αντίστοιχα. Στο έγγραφο αυτό αναφέρεται και η πύλη του ΣΕΜΠΟ, από την οποία πρέπει να εισέλθει το φορτηγό. Έτσι, κάθε εισερχόμενο φορτηγό γνωρίζει εκ των προτέρων σε ποια πύλη πρέπει να προσέλθει. Επίσης, σε κάθε πύλη παράδοσης/παραλαβής αντιστοιχεί μια περιοχή στάθ-



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.

Σχηματικό διάγραμμα του ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2. Διάγραμμα λειτουργίας παράδοσης /παραλαβής στο ΣΕΜΠΟ του ΟΛΘ. 1: Συλλογή και μεταφορά Ε/Κ από το χώρο στοιβασίας στο χώρο στάθμευσης. 2: Εναπόθεση Ε/Κ στο φορτηγό και μεταφορά προς την πύλη εξόδου. 3: Έξοδος. 4: Είσοδος. 5: Μεταφορά από την πύλη εισόδου προς το χώρο στάθμευσης. 6: Συλλογή μεταφορά Ε/Κ από το χώρο στάθμευσης στο χώρο στοιβασίας.

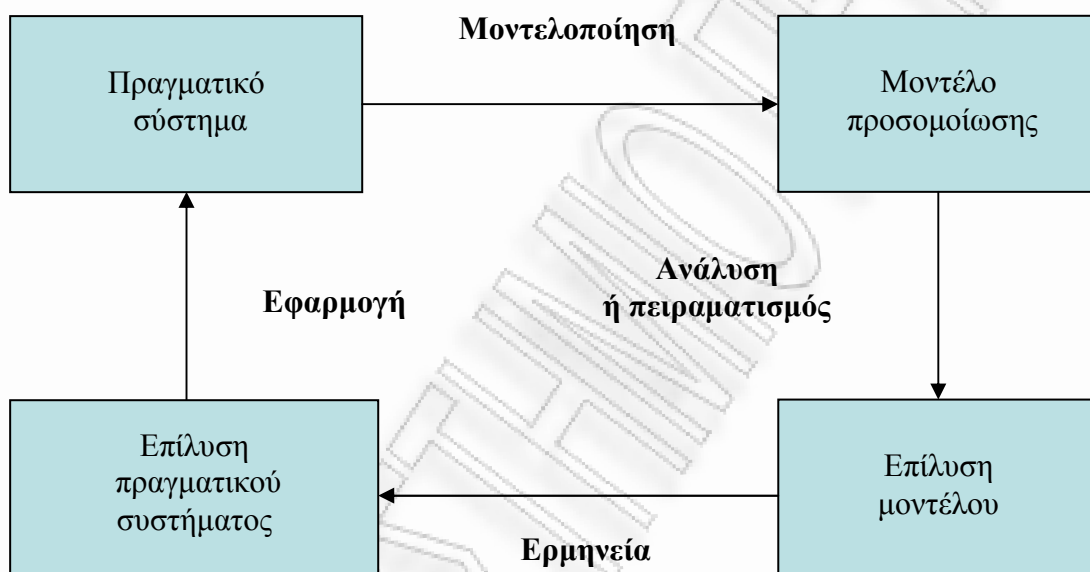
μευσης φορτηγών (interchange areas). Δηλαδή, τα φορτηγά που εισέρχονται από την πύλη Α, χρησιμοποιούν το χώρο στάθμευσης Α και τα φορτηγά που εισέρχονται από την πύλη Β, χρησιμοποιούν το χώρο στάθμευσης Β. Οι δύο χώροι στάθμευσης είναι κατάλληλα τοποθετημένοι, ώστε να μειώνονται οι αποστάσεις που πρέπει να διανύουν οι διασκελετικοί μεταφορείς κατά την παράδοση/παραλαβή.

Ο ΟΛΘ χρησιμοποιεί το άμεσο σύστημα με διασκελετικούς μεταφορείς, με μέγιστο ύψος δύο Ε/Κ (εικ. 4.2). Επίσης, χρησιμοποιεί τη μέθοδο επαναστοιβασίας, καθορίζοντας και προετοιμάζοντας συγκεκριμένους τομείς για τα Ε/Κ εισαγωγής, πριν από την άφιξη των πλοίων. Όταν ένα φορτηγό φτάνει στην πύλη εισόδου του ΣΕΜΠΟ, γίνεται έλεγχος εγγράφων για το Ε/Κ που θα παραληφθεί και παρέχεται άδεια για την είσοδό του σε συγκεκριμένη θέση του χώρου στάθμευσης. Την ίδια στιγμή, δημιουργείται και, μέσω ασύρματου τοπικού δικτύου, αποστέλλεται σε ένα διαθέσιμο διασκελετικό μεταφορέα, εντολή συλλογής του προς παραλαβή Ε/Κ από το χώρο στοιβασίας. Στη συνέχεια, το Ε/Κ μεταφέρεται από το χώρο στοιβασίας, στη θέση στάθμευσης που έχει ανατεθεί στο φορτηγό. Μετά την απόθεση του Ε/Κ στο φορτηγό, ο οδηγός του είναι υποχρεωμένος, βάσει των διεθνών κανόνων ασφαλείας, να κλειδώσει το Ε/Κ στο ρυμουλκό με τη χρήση αυτόματων συστρεφόμενων διατάξεων μανδάλωσης (twist locks). Ακολούθως, το φορτηγό πορεύεται προς την πύλη εξόδου, όπου γίνεται έλεγχος εγγράφων και έξοδος από το ΣΕΜΠΟ.

## 4.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Ως *προσομοίωση* ορίζεται η μέθοδος μελέτης ενός συστήματος και εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά του, με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος. Για την εύρεση των κανόνων που ελέγχουν τη λειτουργία ενός συστήματος, αναπτύσσονται *μοντέλα προσομοίωσης* που αναπαριστούν την εσωτερική λειτουργία του. Κάθε τέτοιο μοντέλο χαρακτηρίζεται από τις *εισροές* και τις *εκροές* του.

Με τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να μελετηθούν τα διάφορα στοιχεία του συστήματος και οι αλληλεπιδράσεις τους, με λεπτομέρεια και αντικειμενικότητα, ασύγκριτα μεγαλύτερου βαθμού από οποιαδήποτε άλλη τεχνική της επιχειρησιακής έρευ-

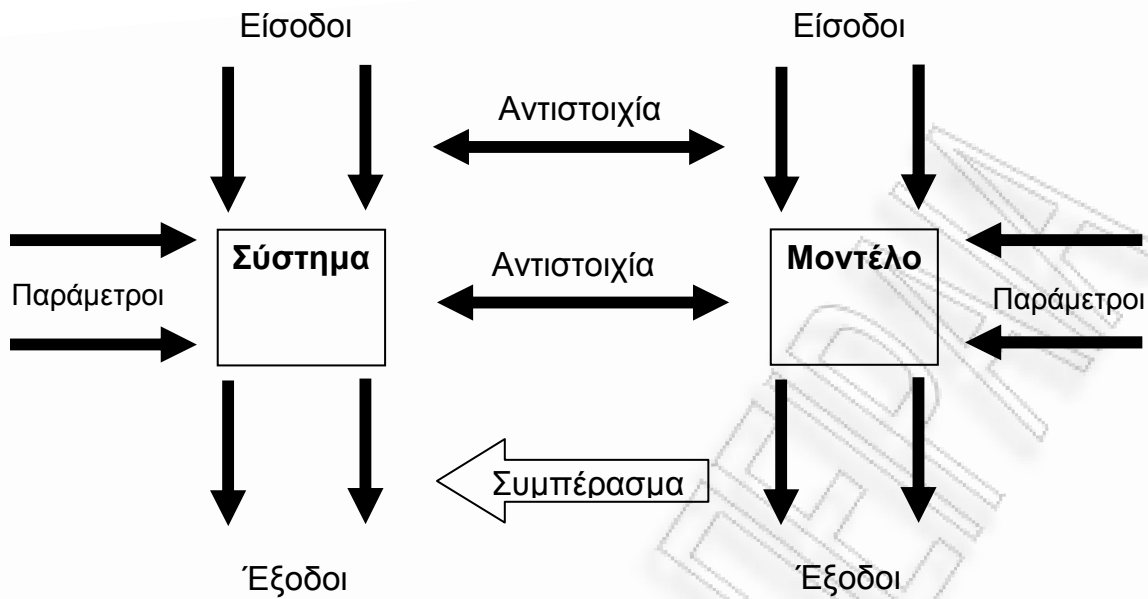


ΕΙΚΟΝΑ 4.3. Σχηματική παράσταση της μεθοδολογίας προσομοίωσης.

νας. Γίνεται έτσι δυνατή η μελέτη και ο πειραματισμός με πολύπλοκα συστήματα, για τα οποία η κατασκευή ενός μαθηματικού μοντέλου θα απαιτούσε τέτοιες υπεραπλουστεύσεις που θα περιορίζαν σημαντικά τη χρησιμότητά του ή θα ανταποκρίνονταν ελάχιστα στην πραγματικότητα. Για τη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι αναγκαία:

- Ο καθορισμός των στοιχείων του συστήματος.
- Η περιγραφή της λειτουργίας κάθε στοιχείου και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση.
- Ο καθορισμός των παραμέτρων εισόδου του συστήματος.
- Ο καθορισμός των παραμέτρων εξόδου του συστήματος.

Τα μοντέλα προσομοίωσης παράγουν αριθμούς, η ανάλυση και η ερμηνεία των οποίων οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση του συστήματος που μελετάται και στην πραγματοποίηση αλλαγών που βελτιώνουν τη λειτουργία του (εικ. 4.3).



ΕΙΚΟΝΑ 4.4. Στάδια ανάλυσης συστήματος.

Το εργαλείο προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του συστήματος παράδοσης/παραλαβής, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή, είναι το ARENA 12.0 (Rockwell Software). Πρόκειται για ένα περιβάλλον προσομοίωσης που αποτελείται από υπομονάδες (module templates), κατασκευασμένες με τη χρήση της γλώσσας προσομοίωσης SIMAN και το οποίο συμπεριλαμβάνει ένα γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης. Η SIMAN αποτελείται από δύο κατηγορίες αντικείμενων, τα blocks και τα elements. Για παράδειγμα, το «seize block» παριστά τη δέσμευση μιας «υπηρεσίας»-πόρου από μια οντότητα (entity), ενώ το «release block» την αποδεσμεύει, για να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια από κάποια άλλη οντότητα. Τα «elements» είναι αντικείμενα που παριστούν «υπηρεσίες», όπως οι πόροι (resources) και οι ουρές (queues), ή άλλα στοιχεία, όπως τα «dstat» και «tallies», που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα modules είναι τα κύρια δομικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης ARENA που έχουν δημιουργηθεί από τα βασικά αντικείμενα του ARENA, τα «blocks» ή και τα «elements». Για παράδειγμα, ένα process module αποτελείται από τα παρακάτω blocks: queue, seize, delay και release.

Η δημιουργία ενός τυπικού μοντέλου προσομοίωσης στο ARENA περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Επιλογή module/block εικόνων και απόθεση αυτών στο γραφικό καμβά του μοντέλου, σύμφωνα με το στάδιο της ανάλυσης (εικ. 4.4).
- Γραφική διασύνδεση των modules για την επισήμανση της φυσικής ροής των διαδικασιών ή και των λογικών ρών ελέγχου.
- Παραμετροποίηση των modules (εισαγωγή τιμών, συναρτήσεων κ.ο.κ.)
- Δημιουργία κώδικα για συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Κατά τη διαδικασία αυτή η ARENA δημιουργεί αυτομάτως στο παρασκήνιο τον κατάλληλο κώδικα στη γλώσσα προγραμματισμού SIMAN. Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή, έγινε ανάπτυξη πηγαίου κώδικα για την παραμετρική εισαγωγή στοιχείων εισόδου και τη δημιουργία αρχείου εξόδου.

#### 4.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για τον καθορισμό των παραμέτρων του συστήματος ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Συλλογή ιστορικών δεδομένων
- Ανάλυση δεδομένων
- Μοντελοποίηση χρονοσειράς δεδομένων
- Προσδιορισμός καλύτερης κατανομής (fitting).

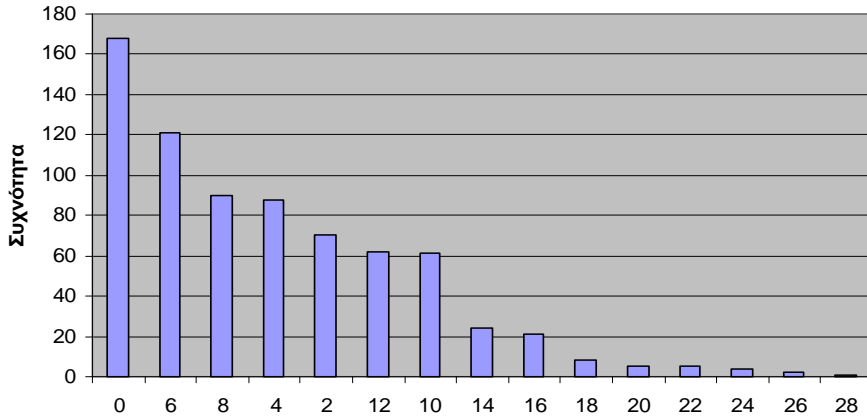
Για τη δημιουργία του μοντέλου προσομοίωσης δημιουργήθηκε ένας κύβος δεδομένων για τη συλλογή, από διαφορετικά συστήματα, και την ανάλυση των παρακάτω στοιχείων:

- Αφίξεις φορτηγών στην πύλη εισόδου
- Χρόνοι εξυπηρέτησης στην πύλη εισόδου/εξόδου
- Χρόνοι αναμονής στο χώρο στάθμευσης όπου εξυπηρετείται το φορτηγό
- Χρόνοι εξυπηρέτησης φορτηγών (IN/OUT)
- Σύνολο μη αποδοτικών κινήσεων ανά ημέρα
- Σύνολο κινήσεων ανά χώρο στάθμευσης
- Χρόνοι εξυπηρέτησης διασκελετικού μεταφορέα
- Χρόνοι καθυστέρησης οδηγού για το «κλείδωμα» των Ε/Κ
- Χρόνοι μετάβασης φορτηγού από την πύλη στο χώρο στάθμευσης
- Χρήση χώρων στάθμευσης ανά ημέρα.

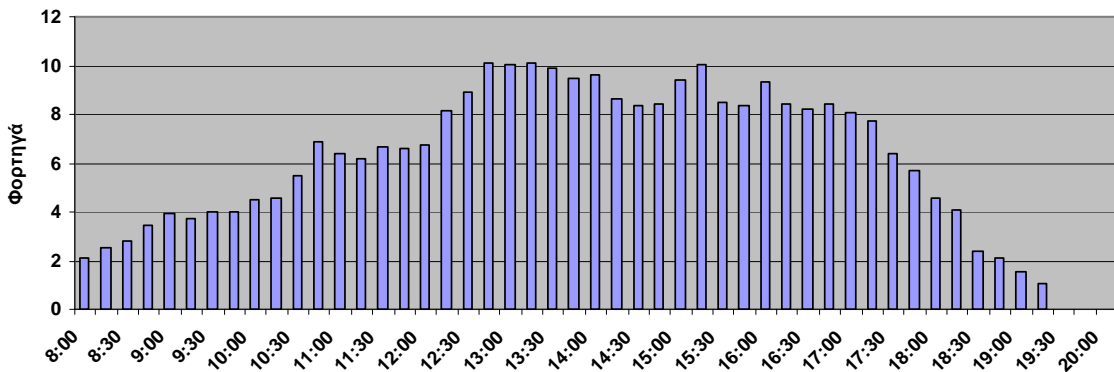
*A. Επεξεργασία δεδομένων αφίξεων φορτηγών.* Η συλλογή χρόνων αφίξεων φορτηγών μιας τυπικής ημέρας αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη σωστή ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης. Για τον προσδιορισμό του αντιπροσωπευτικού δείγματος κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία:

Δεδομένα 730 ημερών κατηγοριοποιήθηκαν σε ομάδες των 15 min ανά ημέρα λειτουργίας, από την έναρξη της λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ μέχρι τη λήξη (8:00–20:00). Σε κάθε κατηγορία αποκλείστηκαν οι ακραίες τιμές, δηλαδή αυτές που είχαν συχνότητα εμφάνισης μικρότερη του 20% και για κάθε κατηγορία δεκαπενταλέπτου υπολογίστηκε ο ρυθμός άφιξης λ.

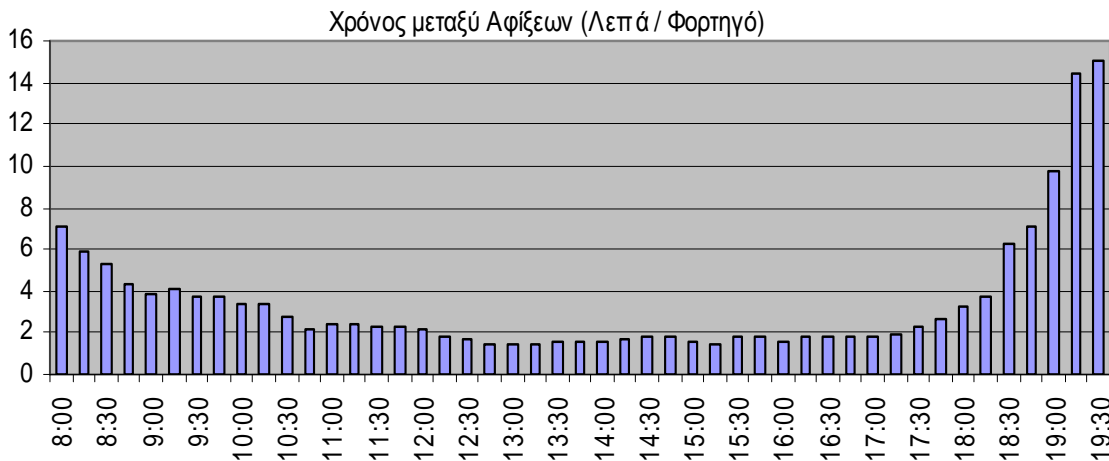
Για παράδειγμα, τα δεδομένα 730 ημερών του διαστήματος 10:00–10:15 κατηγοριοποιήθηκαν, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5. Υπήρξαν 165 μέρες που δεν εμφανίστηκε κανένα φορτηγό σε αυτό το διάστημα και 120 μέρες, κατά τις οποίες εμφανίστηκαν 6 φορτηγά. Το 83,4% του δείγματος περιλαμβάνει τις κατηγορίες 0, 6, 8, 4, 2 και 12. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για 48 δεκαπεντάλεπτα διαστήματα που υπάρ-



ΕΙΚΟΝΑ 4.5. Συχνότητα αφίξεων ανά κατηγορία.



ΕΙΚΟΝΑ 4.6. Αφίξεις φορτηγών στα δεκαπεντάλεπτα διαστήματα μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ.



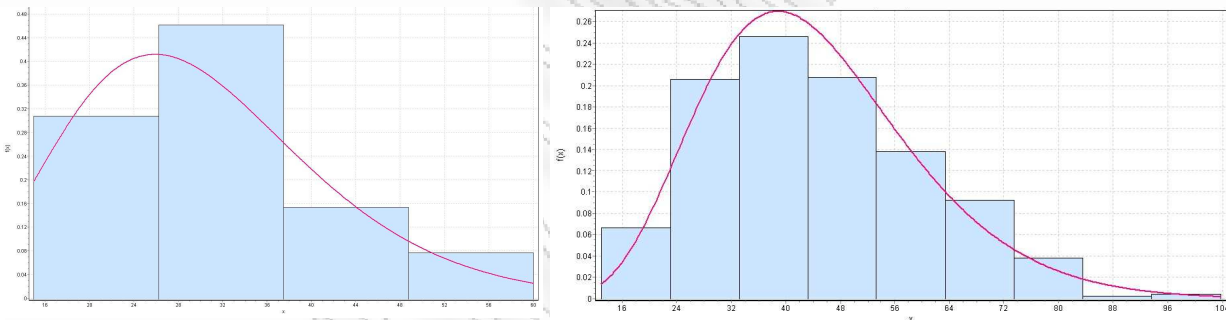
ΕΙΚΟΝΑ 4.7. Κατανομή χρόνων μεταξύ των αφίξεων.



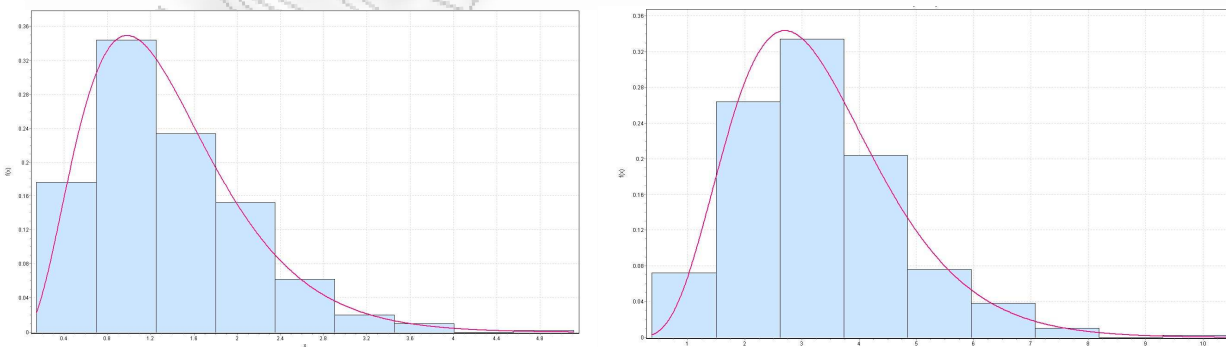
χουν στο δωδεκάωρο 8:00–20:00. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, που συνοψίζονται στην εικόνα 4.6, προκύπτει και η κατανομή του χρόνου μεταξύ των αφίξεων (1/λ) (εικ. 4.7), οι οποίοι μεταβάλλονται ανάλογα την ώρα της ημέρας.

*B. Χρόνοι εξυπηρέτησης στην πύλη εισόδου/εξόδου.* Μετά από τη συλλογή των χρόνων εξυπηρέτησης των φορτηγών στην πύλη εισόδου και εξόδου του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ, για τη συγκεκριμένη διατεία, επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός της καλύτερης κατανομής (fitting) που περιγράφει τις πυκνότητες των αντίστοιχων πιθανοτήτων εξυπηρέτησης, με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού Minitab 15.

Η πυκνότητα πιθανότητας εξυπηρέτησης φορτηγών στην πύλη εισόδου βρέθηκε ότι περιγράφεται καλύτερα από την κατανομή Erlang, με  $\alpha=6$ ,  $\beta=4,4515$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=26,7$  sec (εικ. 3.8). Αντίστοιχα, η πυκνότητα πιθανότητας εξυπηρέτησης φορτηγών στην πύλη εξόδου βρέθηκε ότι περιγράφεται καλύτερα από την κατανομή Gamma,  $\alpha= 7,9449$ ,  $\beta= 5,5905$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=44,41$  sec (εικ. 3.8).

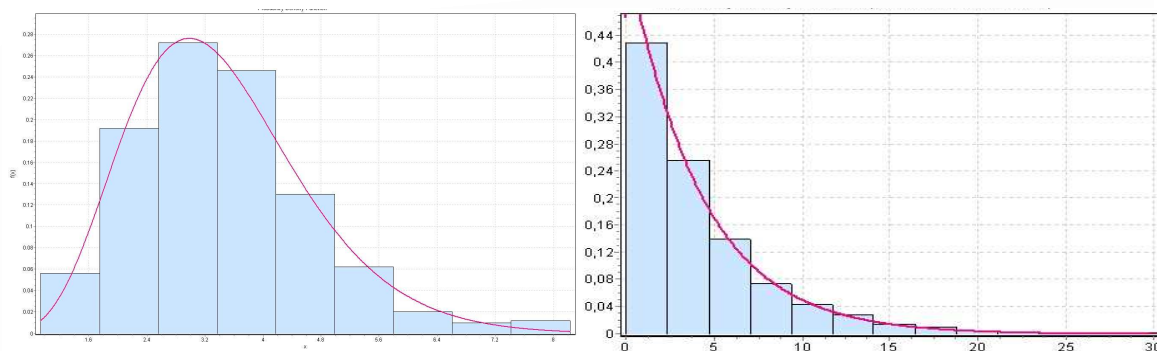


ΕΙΚΟΝΑ 4.8. Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας εξυπηρέτησης φορτηγών στην πύλη εισόδου (αριστερά) και εξόδου (δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 4.9. Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας μετάβασης φορτηγού από την πύλη στους χώρους στάθμευσης A (αριστερά) και B (δεξιά).





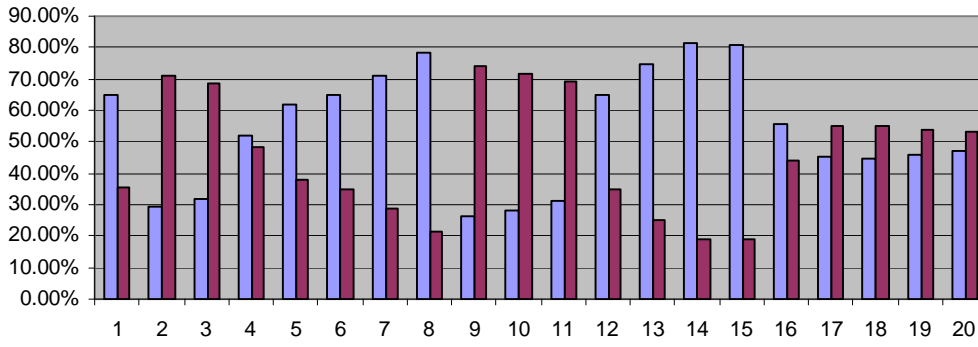
ΕΙΚΟΝΑ 4.10. Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας καθυστέρησης οδηγού (αριστερά) εξυπηρέτησης διασκελετικού μεταφορέα (δεξιά).

Γ. Χρόνοι μετάβασης φορτηγού από την πύλη στο χώρο στάθμευσης και αντίστροφα. Επειδή στο ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ δεν υπήρχαν καταγραφές των συγκεκριμένων παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που συλλέχθηκαν με παρατήρηση διάρκειας μιας εβδομάδας. Η πυκνότητα πιθανότητας μετάβασης στο χώρο στάθμευσης Α (εικ. 4.9) βρέθηκε (Minitab 15) ότι περιγράφεται καλύτερα από κατανομή Gamma, με  $\alpha=3,598$ ,  $\beta=0,37838$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=1,3$  min και στο χώρο στάθμευσης Β (εικ. 3.9) επίσης από κατανομή Gamma, με  $\alpha=5,5152$ ,  $\beta=0,59845$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=3,3$  min.

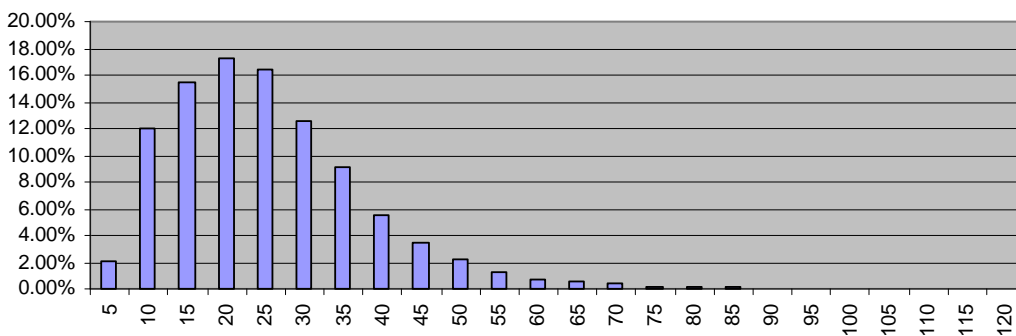
Δ. Χρόνοι μετάβασης διασκελετικού μεταφορέα από το χώρο στάθμευσης στο χώρο στοιβάσις και αντίστροφα. Πρόκειται για το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που δίνεται η εντολή απόθεσης/συλλογής Ε/Κ στο διασκελετικό μεταφορέα, μέχρι τη στιγμή ολοκλήρωσης της εντολής από το χειριστή. Συλλέχθηκαν οι χρόνοι μετάβασης διασκελετικού μεταφορέα από το χώρο στάθμευσης στο χώρο στοιβάσις και αντιστρόφως και βρέθηκε περιγράφεται καλύτερα από κατανομή Gamma, με  $\alpha=1,0225$ ,  $\beta=3,8275$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=3,91181$  min (εικ. 4.10).

Ε. Χρόνοι καθυστέρησης οδηγού για την ασφάλιση των Ε/Κ. Καταγράφηκε ο χρόνος που χρειάζεται ο οδηγός του φορτηγού να κλειδώσει το Ε/Κ στο ρυμουλκό του φορτηγού. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με παρατήρηση, βρέθηκε ότι περιγράφονται καλύτερα από κατανομή Gamma, με  $\alpha=7,662$ ,  $\beta=0,44783$  και μέση τιμή  $\alpha*\beta=6,662$  min (εικ. 4.10).

ΣΤ. Χρήση χώρων στάθμευσης ανά ημέρα. Ο τρόπος προγραμματισμού της εκφόρτωσης έχει άμεση σχέση με την παράδοση των φορτίων οδικώς. Όπως προαναφέρθηκε, τα Ε/Κ εισαγωγής εκφορτώνονται σε συγκεκριμένο, συνήθως ενιαίο, τμήμα του Χ/Σ. Έτσι, στις επόμενες 4 ημέρες, που είναι και ο μέσος όρος παραμονής των Ε/Κ στο χώρο στοιβάσις, 65-75% των Ε/Κ που θα παραδοθούν οδικώς, προέρχονται από το συγκεκριμένο χώρο που εξυπηρετείται από συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης και συγκεκριμένη πύλη. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ποσοστό χρήσης των πυλών του ΣΕΜΠΟ αναμένε-



ΕΙΚΟΝΑ 4.11. Χρήση χώρων στάθμευσης Α (μπλε) και Β (κόκκινο).

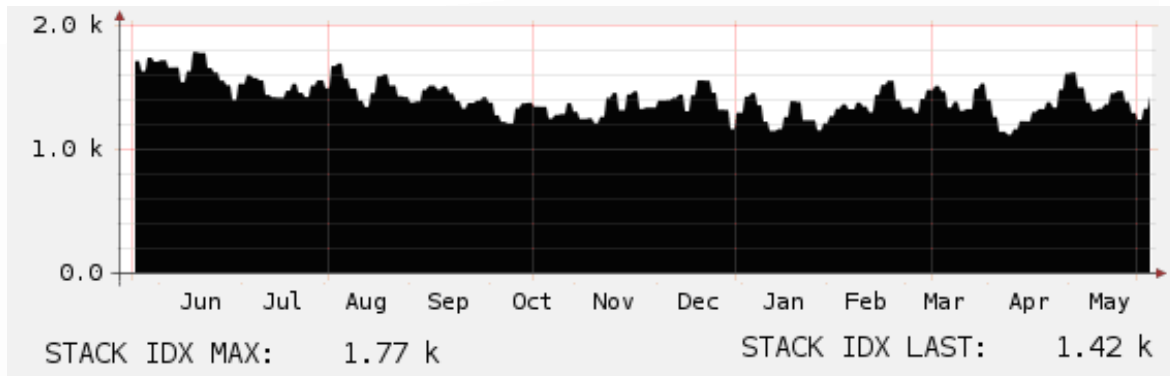


ΕΙΚΟΝΑ 4.12. Κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης φορτηγών.

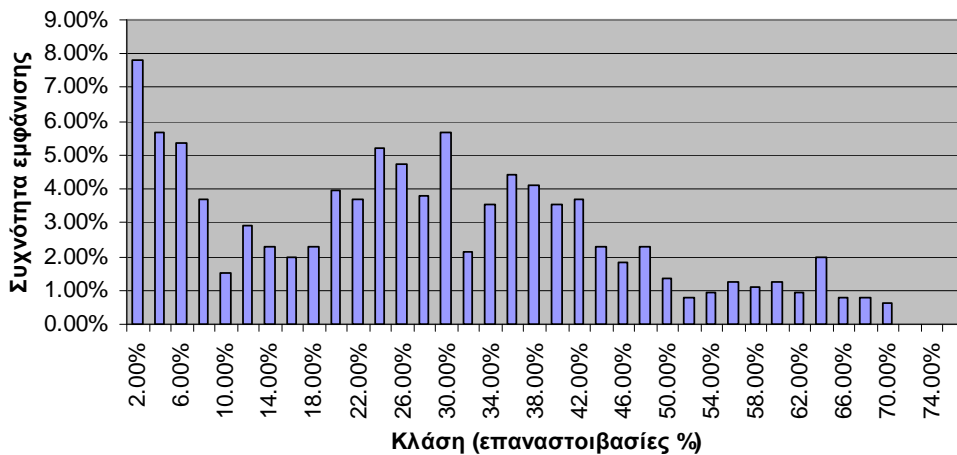
ται να ακολουθεί την ίδια αναλογία. Από τη βάση δεδομένων συλλέχθηκαν τα ποσοστά χρήσης των χώρων στάθμευσης (για περίοδο 20 ημερών) και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στην εικόνα 4.11.

*Ζ. Χρόνοι εξυπηρέτησης φορτηγών (in/out).* Ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών είναι η περίοδος από τη στιγμή που το φορτηγό εισήλθε στο ΣΕΜΠΟ μέχρι την ώρα εξόδου από την πύλη. Η ανάλυση των στατιστικών στοιχείων φαίνεται στην εικόνα 4.12.

*Η. Σύνολο επαναστοιβασιών ανά ημέρα.* Οι επαναστοιβασίες (restow) είναι μη αποδοτικές κινήσεις που έχουν άμεση επίπτωση στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών από τους διασκελετικούς μεταφορείς. Από την εικόνα 4.13 διαπιστώνεται η μεγάλη μεταβλητότητα του δείκτη ύψους ενός ΣΕΜΠΟ στη διάρκεια του χρόνου. Το μέσο ύψος στοίβασης αυξάνει, όταν ο ρυθμός άφιξης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αναχώρησης των Ε/Κ.



ΕΙΚΟΝΑ 4.13. Δείκτης ύψους στο ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ.

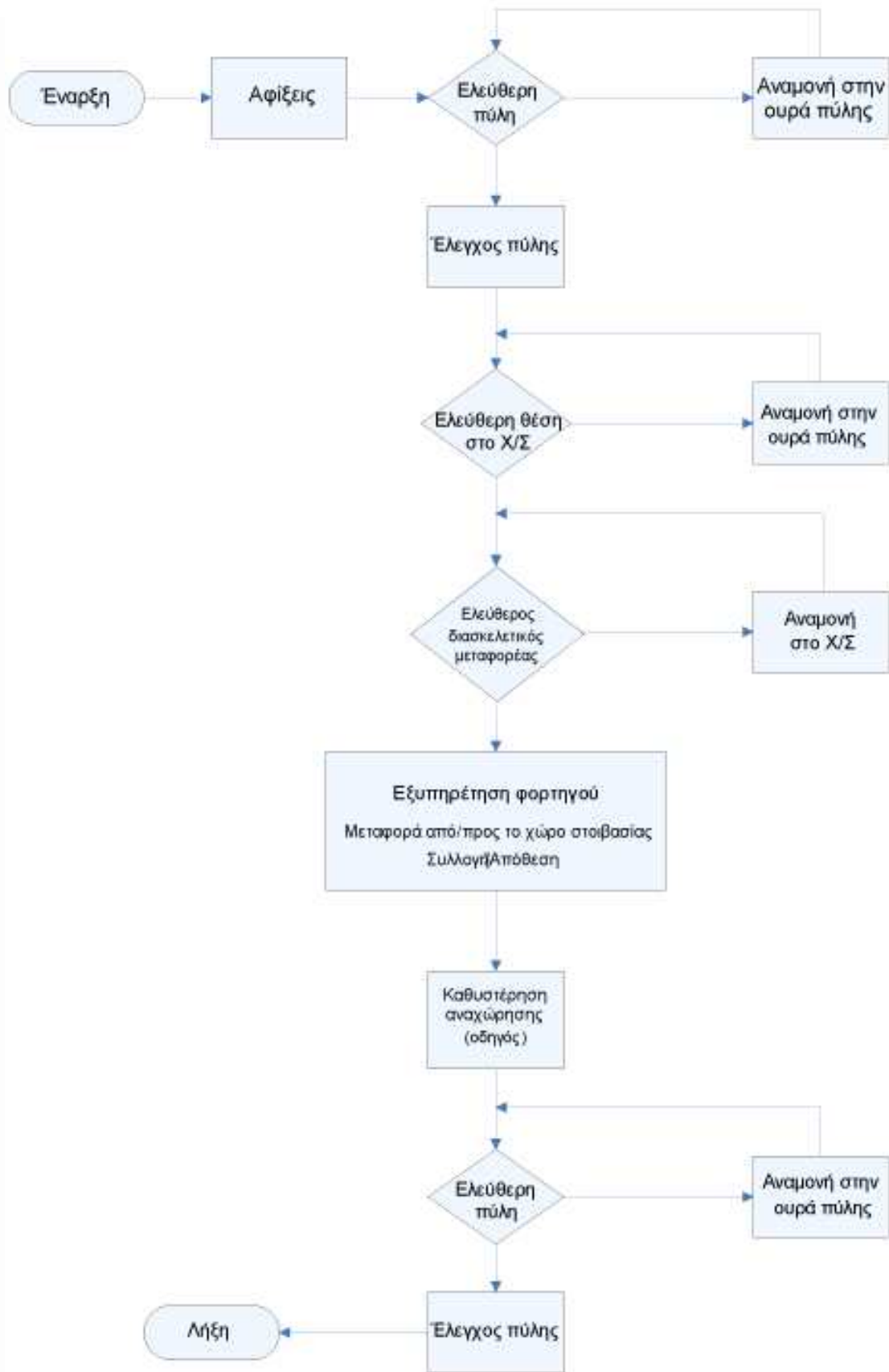


ΕΙΚΟΝΑ 4.14. Κατανομή επαναστοιβασιών ανά ημέρα.

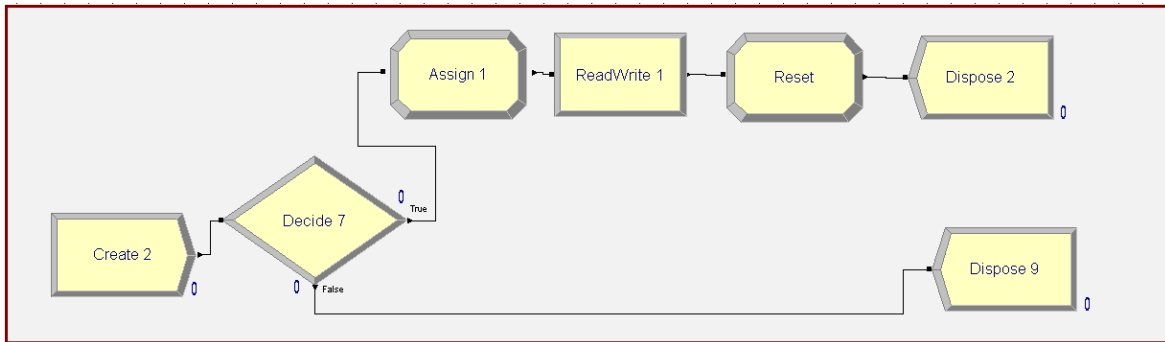
Μετά από τη συλλογή των συνολικών κινήσεων στο χώρο στοιβασίας ανά ημέρα και των αντίστοιχων κινήσεων επαναστοιβασίας, υπολογίστηκε το ποσοστό των επαναστοιβασιών επί του συνόλου των κινήσεων ανά ημέρα (εικ. 4.14). Κάποιες ημέρες εμφανίζουν ακραίες τιμές που προφανώς οφείλονται στο βαθμό συμφόρησης του Χ/Σ τις συγκεκριμένες μέρες. Ο μέσος όρος επαναστοιβασιών, μετά από την ανάλυση των στοιχείων, βρέθηκε ότι είναι 26,58%, ποσοστό σύμφωνο με το δείκτη ύψους, ο μέσος όρος του οποίου στο ίδιο διάστημα είναι περίπου 1,28.

#### 4.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά την παράδοση/παραλαβή απεικονίζονται στην εικόνα 4.15.



ΕΙΚΟΝΑ 4.15. Λειτουργικό διάγραμμα παράδοσης/παραλαβής.



ΕΙΚΟΝΑ 4.16. Υλοποίηση λογικής ελέγχου της τιμής του χρόνου ενδοαφίξεων.

A. Προσομοίωση αφίξεων φορτηγών. Η προσομοίωση των φορτηγών έγινε με τη χρήση ενός arrivals module (εικ. 4.16), σύμφωνα με το ρυθμό άφιξης λ που υπολογίστηκε παραπάνω. Για το σκοπό αυτό, η δωδεκάωρη ημερήσια λειτουργία του ΣΕΜΠΟ χωρίστηκε σε 48 χρονικές περιόδους των 15 min, σε καθεμία από τις οποίες ο χρόνος ενδοαφίξεων των φορτηγών αλλάζει ως εξής:

	0	15	30	45
8:00	7,0637	5,8738	5,2977	4,3544
9:00	3,7952	4,0523	3,7501	3,778
10:00	3,3501	3,3138	2,7347	2,1778
11:00	2,349	2,4356	3,008	4,1706
12:00	3,6183	1,8498	1,6829	1,4853
13:00	1,4931	1,4842	1,5106	1,5841
14:00	1,5643	1,9598	2,4931	1,7826
15:00	1,5983	1,4985	1,7704	1,7892
16:00	1,6054	1,7879	1,8323	1,7742
17:00	1,8544	1,9397	2,3367	2,6279
18:00	3,3027	3,6813	6,1961	7,1365
19:00	9,7204	14,388	15	15

Στη συνέχεια, το decision module καθορίζει τυχαία τον προορισμό του φορτηγού, σύμφωνα με το ποσοστό της μεταβλητής Gate\_percent. Με τον αυτό τρόπο επηρεάζεται το ποσοστό των φορτηγών που κατευθύνονται στην πύλη A ή B.

B. Διαδικασία ελέγχου πύλης εισόδου. Ένα process module προσομοιώνει την ουρά αναμονής της διαδικασίας ελέγχου στην πύλη. Ο χρόνος εξυπηρέτησης της πύλης ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους α και β. Μετά, ένα δεύτερο process module προσομοιώνει την ουρά αναμονής για ελεύθερη θέση στο χώρο στάθμευσης. Ο χρόνος εξυπηρέτησης της πύλης ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους α και β.

Γ. Μεταφορά στον χώρο στάθμευσης. Ένα route module προσομοιώνει την καθυστέρηση που λαμβάνει χώρα για τη μεταφορά του φορτηγού στη συγκεκριμένη θέση στάθμευσης που ορίστηκε στην πύλη. Ο χρόνος μετακίνησης φορτηγού από την

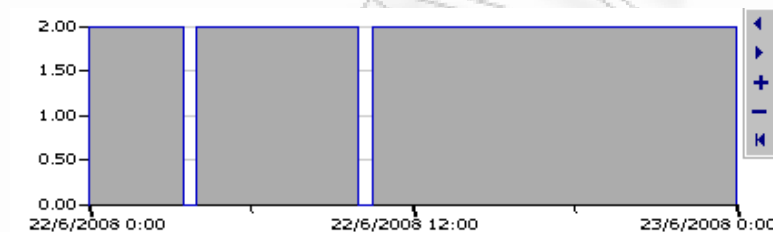
πύλη εισόδου στο χώρο στάθμευσης ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους  $\alpha$  και  $\beta$ .

*Δ. Εξυπηρέτηση φορτηγού.* Ένα seize module προσομοιώνει την ουρά αναμονής για ελεύθερο διασκελετικό μεταφορέα που θα μεταφέρει το ζητούμενο Ε/Κ από/προς το χώρο στοιβασίας. Για την προσομοίωση του χρόνου μεταφοράς του διασκελετικού μεταφορέα χρησιμοποιήθηκαν route modules (ένα για κάθε κατεύθυνση). Ο χρόνος μεταφοράς ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους  $\alpha$  και  $\beta$ .

*Ε. Χρόνος καθυστέρησης για ασφάλιση Ε/Κ από τον οδηγό.* Μετά τη εξυπηρέτηση του φορτηγού ακολουθεί ένα delay module για την προσομοίωση του χρόνου που χρειάζεται ο οδηγός του φορτηγού να ασφαλίσει το Ε/Κ στο ρυμουλκό του φορτηγού.

*ΣΤ. Μεταφορά στη πύλη εξόδου.* Ένα route module προσομοιώνει την καθυστέρηση που λαμβάνει χώρα για τη μεταφορά του φορτηγού από τη θέση στάθμευσης προς την πύλη εξόδου. Ο χρόνος μεταφοράς ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους  $\alpha$  και  $\beta$ .

*Ζ. Διαλείμματα πύλης.* Προγραμματίστηκαν στο μοντέλο 2 διαλείμματα μισής ώρας στην περίοδο λειτουργίας της πύλης. Το πρώτο διάλειμμα γίνεται στις 11:30 και το δεύτερο στις 18:00, οπότε γίνεται και η αλλαγή της πρωινής βάρδιας. Για την υλοποίηση του παραπάνω προγράμματος χρησιμοποιήθηκε ένα schedule module με παράμετρο calendar (εικ. 4.17).

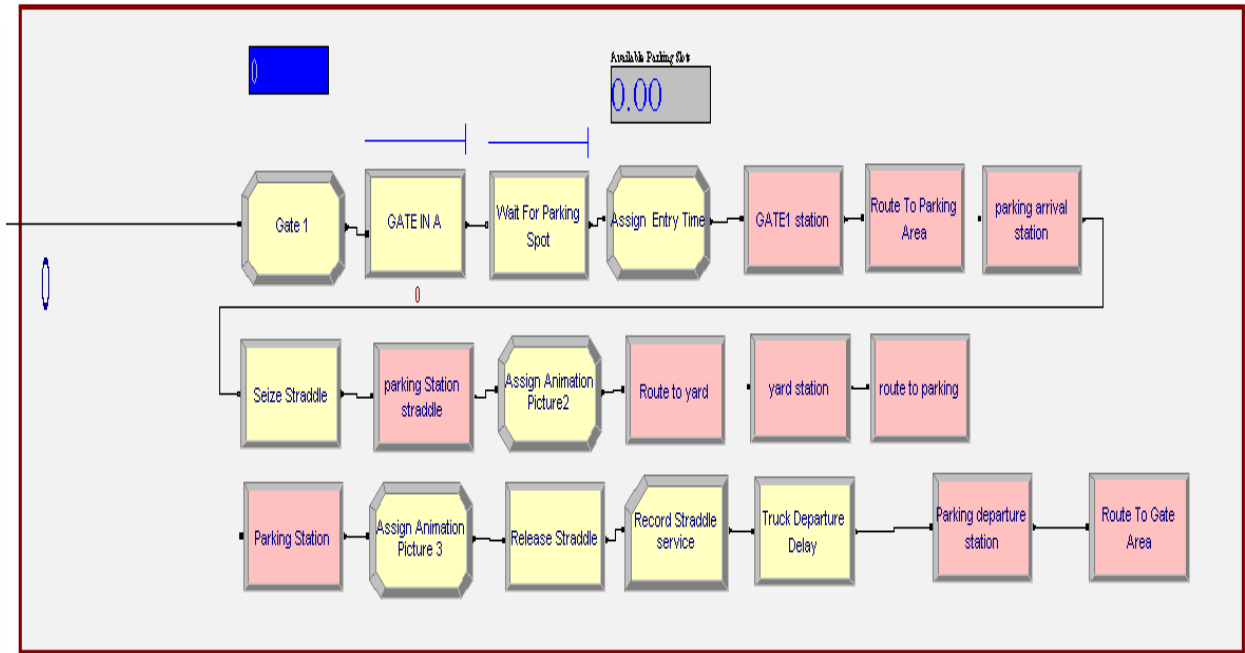


ΕΙΚΟΝΑ 4.17.  
Φόρμα εισαγωγής στοιχείων  
ωρών λειτουργίας πύλης (time  
patterns editor, ARENA).

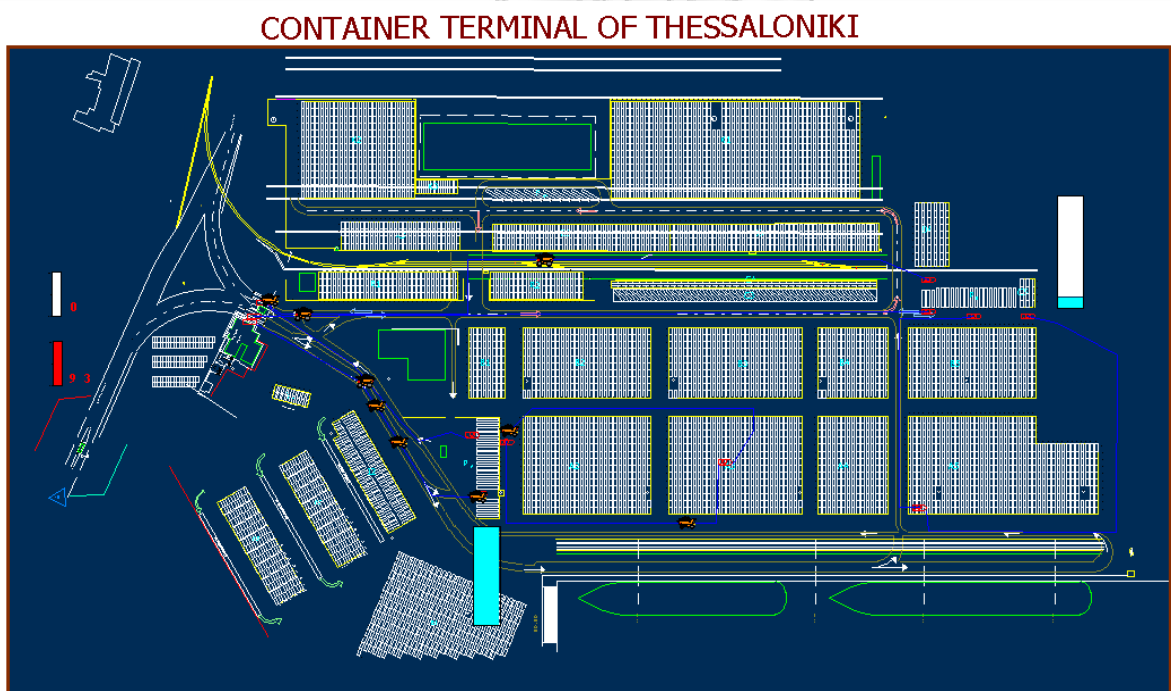
*Η. Διαδικασία ελέγχου πύλης εξόδου.* Ένα process module προσομοιώνει την ουρά αναμονής της διαδικασίας ελέγχου στην πύλη. Ο χρόνος εξυπηρέτησης της πύλης ακολουθεί κατανομή Gamma με παραμέτρους  $\alpha$  και  $\beta$ . Στο σημείο αυτό απελευθερώνεται και η θέση στάθμευσης που είχε ανατεθεί στο συγκεκριμένο φορτηγό κατά την είσοδό του (εικ. 4.18).

Στο μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν και άλλα modules για τη συλλογή στατιστικών στοιχείων. Η οπτικοποίηση του μοντέλου φαίνεται στην εικόνα 4.19.





ΕΙΚΟΝΑ 4.18. Σχηματικό διάγραμμα του μοντέλου προσομοίωσης (ARENA).



ΕΙΚΟΝΑ 4.19. Η οπτικοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης.

Η παραμετροποίηση του μοντέλου έγινε με τη χρήση δύο αρχείων. Στο πρώτο, υπάρχουν οι χρόνοι μεταξύ αφίξεων σε min (min/φορτηγό) και στο δεύτερο υπάρχουν οι μεταβλητές των κατανομών που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο. Ο Πίνακας 4.1 περιλαμβάνει τις μεταβλητές του μοντέλου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Οι μεταβλητές εισόδου (inputs) του μοντέλου προσομοίωσης.

	Τιμή	Κατανομή	Περιγραφή
uGate Closing Time	700		Χρόνος λειτουργίας της πύλης σε min
uGate_percent	75%	-	Ποσοστό αφικνούμενων φορτηγών που επέλεξαν τη πύλη Α
uGateInDelay_a	6	Erlang	Διαδικασία ελέγχου πύλης εισόδου (α) (sec)
uGateInDelay_b	4,4515	Erlang	Διαδικασία ελέγχου πύλης εισόδου (β)
UGateOutDelay_a	7,9449	Gamma	Διαδικασία ελέγχου πύλης εξόδου (α)
uGateOutDelay_b	5,5905	Gamma	Διαδικασία ελέγχου πύλης εξόδου (β)
uStraddle_Parking_a	1,865	Gamma	Μετακίνηση διασκελετικού μεταφορέα από χώρο στοιβασίας στο χώρο στάθμευσης (α)
uStraddle_Parking_b	0,9751	Gamma	Μετακίνηση διασκελετικού μεταφορέα από χώρο στοιβασίας στο χώρο στάθμευσης (β)
uStraddle_yard_a	1,865	Gamma	Μετακίνηση διασκελετικού μεταφορέα από το χώρο στάθμευσης στο χώρο στοιβασίας (α)
uStraddle_yard_b	0,9751	Gamma	Μετακίνηση διασκελετικού μεταφορέα από χώρο στοιβασίας στο χώρο στάθμευσης (β)
uTruck_delay_a	7,662	Gamma	Χρόνος καθυστέρησης για ασφάλιση Ε/Κ από τον οδηγό (α)
uTruck_delay_b	0,44783	Gamma	Χρόνος καθυστέρησης για ασφάλιση Ε/Κ από τον οδηγό (β)
uTruck_yard_a	3,598	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από την πύλη εισόδου στο χώρο στάθμευσης (α)
uTruck_yard_b	0,37838	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από την πύλη εισόδου στο χώρο στάθμευσης (β)
uTruck_exit_a	3,598	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από το χώρο στάθμευσης Α στην πύλη εξόδου (α)
uTruck_exit_b	0,37838	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από το χώρο στάθμευσης Α στην πύλη εξόδου (β)
uTruck_yard2_a	5,5125	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από την πύλη εισόδου στο χώρο στάθμευσης Β (α)
uTruck_yard2_b	0,59845	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από την πύλη εισόδου στο χώρο στάθμευσης Β (β)
uTruck_exit2_a	5,5125	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από το χώρο στάθμευσης Β στην πύλη εξόδου (α)
uTruck_exit2_b	0,59845	Gamma	Χρόνος μετακίνησης φορτηγού από το χώρο στάθμευσης Β στην πύλη εξόδου (β)

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων συλλέγονται τα παρακάτω στοιχεία εξόδου (outputs) ανά περίοδο:

- Μέσος χρόνος αναμονής στην πύλη
- Μέση τιμή ουράς πύλης
- Μέσος χρόνος αναμονής στο χώρο στάθμευσης
- Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης (in/out)
- Μέση τιμή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης
- Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων
- Ποσοστό χρήσης πύλης



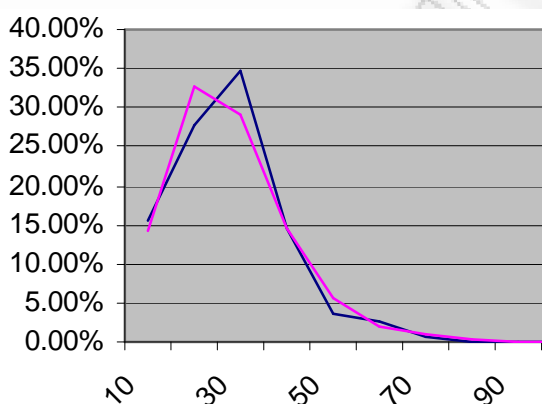
- Ποσοστό χρήσης χώρου στάθμευσης
- Μέσος χρόνος υπερωριών

#### 4.4.1. Ρύθμιση και επικύρωση

Για τη επικύρωση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι πολιτικές και οι παράμετροι που ίσχυαν κατά την περίοδο που συλλέχτηκαν τα στατιστικά στοιχεία. Κατά την περίοδο αυτή, ήταν σε λειτουργία δύο πύλες εισόδου και μια πύλη εξόδου. Επίσης, οι διαχειριστές ανέθεταν δύο διασκελετικούς μεταφορείς σε κάθε θέση στάθμευσης. Οι ώρες λειτουργίας της πύλης ήταν από τις 08:00 μέχρι τις 20:00 και γι' αυτό το λόγο τα φορτηγά γίνονταν δεκτά μέχρι της 19:30.

Μετά από κάποια αρχικά πειράματα και αντίστοιχες παρεμβάσεις στο μοντέλο, συγκρίθηκαν οι χρόνοι εξυπηρέτησης των φορτηγών που προέκυπταν από το μοντέλο, με τα ιστορικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από την πραγματική λειτουργία του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ (εικ. 4.20).

Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το μοντέλο προσομοιάζει, με καλή προσέγγιση, το πραγματικό σύστημα. Παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις που οφείλονται στο ότι το μοντέλο, στην υφιστάμενη μορφή του, δεν λαμβάνει υπόψη φαινόμενα,



ΕΙΚΟΝΑ 4.20.

Οι χρόνοι εξυπηρέτησης των φορτηγών που προέκυπταν από το μοντέλο, συγκριτικά με εκείνους που προέκυψαν από τα ιστορικά στοιχεία πραγματικής λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ.

όπως βλάβες μηχανικών μέσων και χειριστές διασκελετικών μεταφορέων με περιορισμένη εμπειρία. Η συμπεριφορά του μοντέλου αντιστοιχεί σε μια τυπική ημέρα λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα για ανάλυση και σύγκριση της ανταπόκρισης του συστήματος, όταν θα εφαρμοστούν διαφορετικά σενάρια λειτουργίας.

#### 4.5. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ/ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Στο μέρος αυτό της Διδακτορικής Διατριβής, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε, προκειμένου να περιγράψει τη δυναμική της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής και τον τρόπο επίδρασης διαφορετικών παραγόντων στο σύστημα. Τα βασικά ερωτήματα που επιχειρήθηκε να απαντηθούν και τα οποία συμβάλλουν ουσιαστικά στην κατανόηση της δυναμικής της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής είναι τα εξής:

- Ποια επίδραση έχει ο αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων στην απόδοση του συστήματος;
- Ποιοι περιορισμοί υπάρχουν στο σχεδιασμό της περιοχής στάθμευσης;
- Ποιος είναι ο βέλτιστος αριθμός θέσεων στάθμευσης;
- Με ποιο τρόπο συμβάλλει το μέσο ύψος στην απόδοση του συστήματος;
- Καθυστερήσεις στην αναχώρηση του οδηγού από τη θέση στάθμευσης έχουν επίδραση στο χρόνο εξυπηρέτησης;
- Υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις μεταξύ αυτών των παραμέτρων;

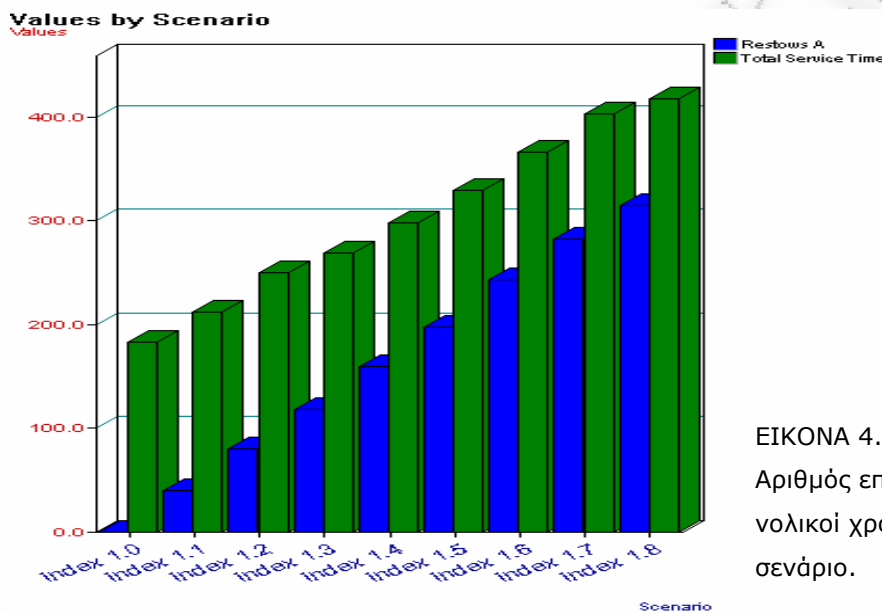
Για το σκοπό αυτό, εξετάστηκε κατ' αρχάς, με τη χρήση υποθετικών σεναρίων, η επίδραση των μεταβολών συγκεκριμένων παραμέτρων εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης στις παραμέτρους εξόδου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ένα πλήρες παραγοντικό πείραμα (full factorial design) δύο επιπέδων, προκειμένου να εντοπιστούν οι αλληλεπιδράσεις των παραμέτρων της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής.

##### 4.5.1. Επίδραση μεταβολών παραμέτρων εισόδου

*A. Επίδραση μέσου ύψους  $X/\Sigma$ .* Στο πρώτο από τα χρησιμοποιηθέντα σενάρια, η μεταβαλλόμενη παράμετρος ήταν το μέσο ύψος του  $X/\Sigma$ , σε ένα εύρος τιμών μεταξύ 1,0 και 1,8, χωρίς να μεταβληθούν άλλες παράμετροι του μοντέλου. Στην εικόνα 4.21, φαίνεται η επίδραση που έχει στις επαναστοιβασίες, η μεταβολή του μέσου ύψους του  $X/\Sigma$  και στην εικόνα 4.22 παρουσιάζεται η επίδραση δύο ακραίων σεναρίων μεταβολής του μέσου ύψους του  $X/\Sigma$  στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την άμεση εξάρτηση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης φορτηγού και του ποσοστού χρήσης του διασκελετικού μεταφορέα από το μέγεθος του δείκτη ύψους του ΣΕΜΠΟ.

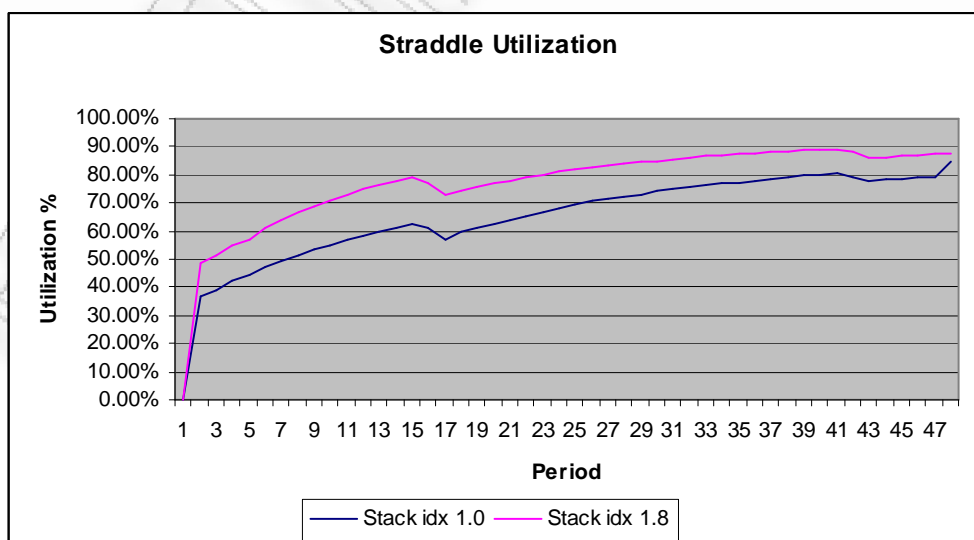
Κατόπιν αυτών, συμπεραίνεται ότι στο στρατηγικό/τακτικό επίπεδο λήψης αποφάσεων είναι αναγκαίο να ορίζονται πολιτικές που μειώνουν το συνολικό αριθμό επαναστοιβασιών, προκειμένου να βελτιωθούν οι επιδόσεις των ΣΕΜΠΟ. Η ανάπτυξη ενός online αλγόριθμου που θα επιλέγει, σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες, την

καλύτερη θέση για επαναστοιβασία θα βελτιώνει την απόδοση του συστήματος. Επίσης, στο λειτουργικό επίπεδο αποφάσεων, τις χρονικές στιγμές που ο ΣΕΜΠΟ είναι σε κατάσταση συμφόρησης, είναι φανερό ότι απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός διασκελετικών μεταφορέων, για να παραμείνει η απόδοσή του στα ίδια επίπεδα λόγω των αυξημένων επαναστοιβασιών που προκύπτουν κάτω από αυτές τις συνθήκες. Το υποσύστημα διαχείρισης του ΣΕΜΠΟ θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το επίπεδο συμφόρησης και να θέτει σε λειτουργία διαφορετικούς κανόνες και πολιτικές, σύμφωνα με το δείκτη ύψους.

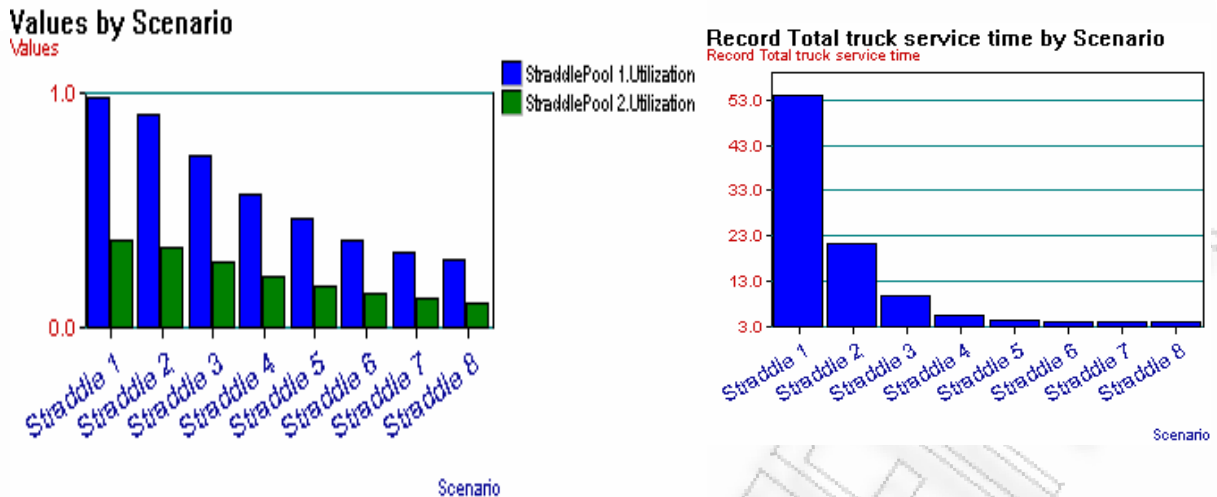


ΕΙΚΟΝΑ 4.21.

Αριθμός επαναστοιβασιών και συνολικοί χρόνοι εξυπηρέτησης ανά σενάριο.



ΕΙΚΟΝΑ 4.22. Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων ανά περίοδο.

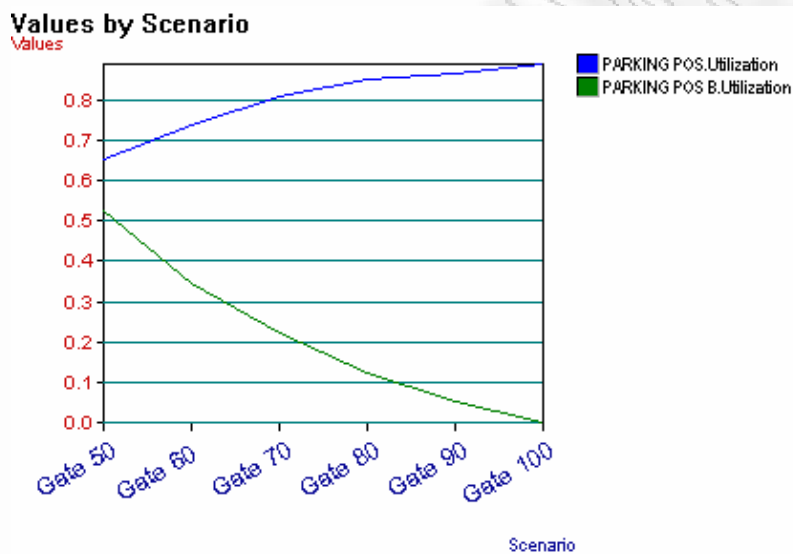
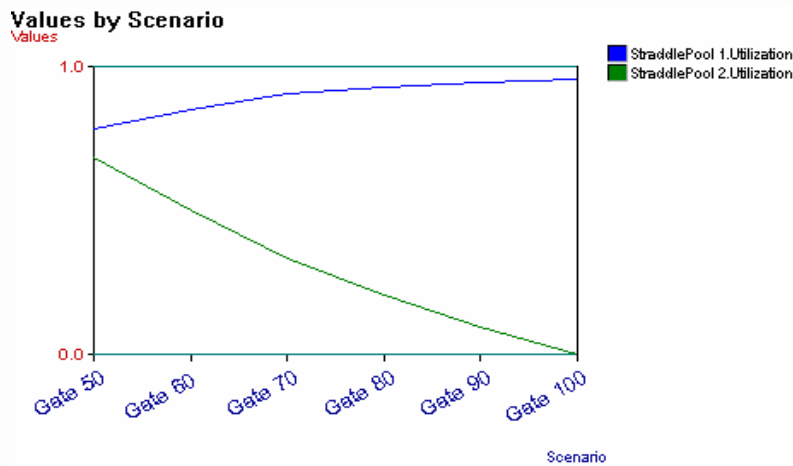


ΕΙΚΟΝΑ 4.23. Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων (αριστερά) και χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών (in/out) (δεξιά) μεταβαλλομένου του αριθμού των διασκελετικών μεταφορέων.

*Β. Επίδραση του αριθμού των διασκελετικών μεταφορέων.* Στο σενάριο 2 μεταβάλλεται (από 1 έως 8) ο αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων που έχει ανατεθεί σε κάθε χώρο στάθμευσης. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στην εικόνα 4.23. Είναι εμφανής η μεγάλη αλληλεξάρτηση του αριθμού των διασκελετικών μεταφορέων από το χρόνο εξυπηρέτησης. Παρατηρείται ότι οι βελτιώσεις στην απόδοση του συστήματος ελαχιστοποιούνται μετά από τη διάθεση 3 διασκελετικών μεταφορέων στο χώρο στάθμευσης Α. Το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων μειώνεται, γεγονός που συνεπάγεται αύξηση του κόστους λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ, χωρίς να υπάρχει αντίστοιχη βελτίωση στους χρόνους εξυπηρέτησης των φορτηγών. Η επιλογή βέλτιστης ανάθεσης διασκελετικών μεταφορέων στους χώρους στάθμευσης θα πρέπει να αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των ανατιθέμενων διασκελετικών μεταφορέων με τον παρακάτω περιορισμό: Χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών  $< t_{\max}$  (διεθνώς αποδεκτά όρια  $t_{\max} \ 20 < t_{\max} < 40$ ).

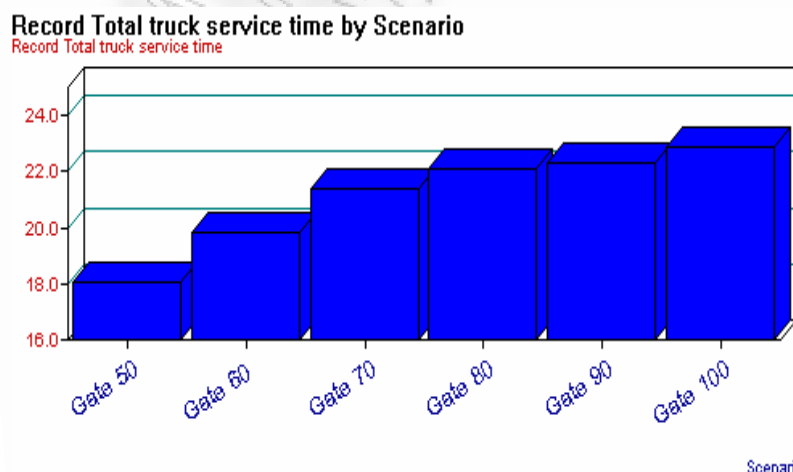
*Γ. Επίδραση του ποσοστού χρήσης των πυλών.* Το σενάριο 3 προβλέπει διαφορετικά ποσοστά χρήσης των δύο πυλών του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ. Όπως προκύπτει, ενώ το ποσοστό χρήσης που αντιστοιχεί στο χώρο στάθμευσης Α είναι αρκετά μεγάλο, η χρήση του χώρου στάθμευσης Β παραμένει χαμηλή (εικ. 4.24). Αυτό οφείλεται στην επιλογή της θέσης αποθήκευσης των Ε/Κ κατά την εκφόρτωση από το πλοίο. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό των κινήσεων παρατηρείται στο χώρο στάθμευσης Α, που συνεπάγεται και μεγαλύτερη πιθανότητα για επαναστοιβασία. Μια πολιτική, στο τακτικό επίπεδο, χωρίς αρχικό κόστος υλοποίησης είναι η διασπορά των Ε/Κ σε διαφορετικές περιοχές έτσι ώστε να ισοσταθμίζεται η ζήτηση Ε/Κ και στους δύο χώρους στάθμευσης. Άρα, κατά τη δημιουργία του πλάνου εκφόρτωσης και την επιλογή των θέσεων, στις οποίες θα

αποθηκευτούν, τα Ε/Κ προς εκφόρτωση πρέπει να διαχωρίζονται σε δύο ή περισσότερους τομείς και όχι σε ένα συνεχόμενο τομέα. Έτσι, ποσοστό των Ε/Κ του συγκεκριμένου ταξιδιού θα εξυπηρετηθούν από το χώρο στάθμευσης Α και το υπόλοιπο από το χώρο στάθμευσης Β.

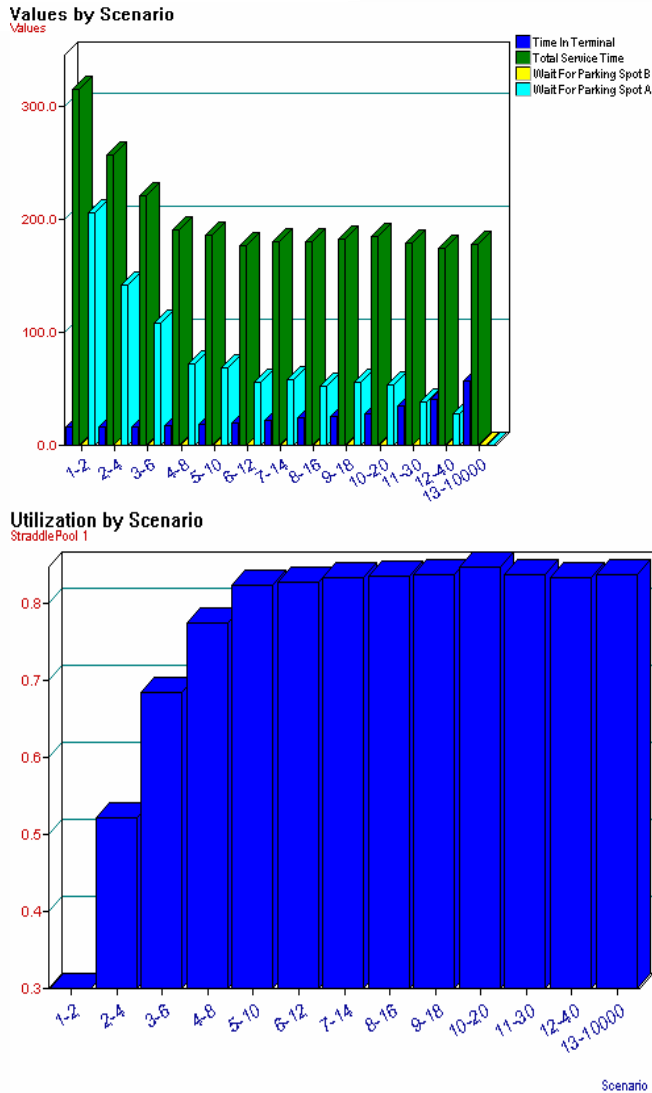


ΕΙΚΟΝΑ 4.24.

Η επίδραση του ποσοστού χρήσης των πυλών στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων (πάνω), στο ποσοστό χρήσης των χώρων στάθμευσης (μέση) και στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών (in/out) (κάτω).



Scenario



ΕΙΚΟΝΑ 4.25.

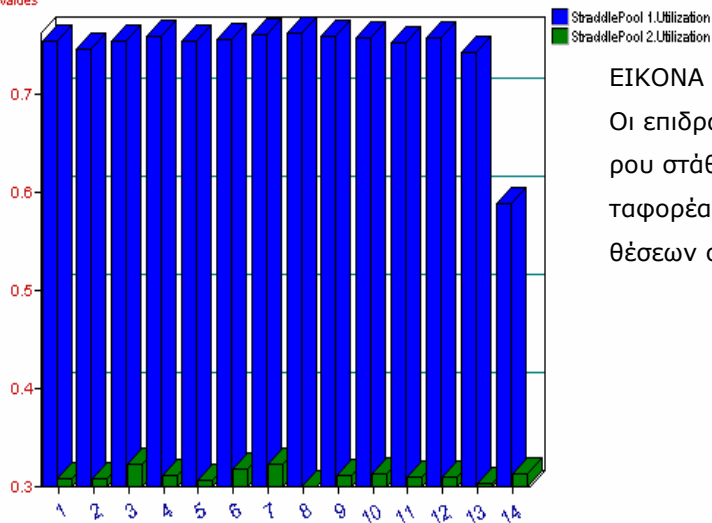
Οι επιδράσεις του αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης Α, πάνω στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών, στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης και στην αναμονή για θέση στους χώρος στάθμευσης Α και Β (πάνω), καθώς και στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων (κάτω).

Δ. *Επίδραση του αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης.* Στο σενάριο 4, ο δείκτης ύψους ορίστηκε στην τιμή 1, για να αποφευχθούν οι στοχαστικές επιδράσεις στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών από τις επαναστοιβασίες. Έτσι, για τις 20 περιπτώσεις με διαφορετικές τιμές αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης Α, προκύπτουν οι επιδράσεις στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών, στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης, στην αναμονή για θέση στους χώρος στάθμευσης Α και Β, καθώς και στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων, που φαίνονται στην εικόνα 4.25. Όπως φαίνεται, στις περιπτώσεις 1-4 που οι θέσεις στο χώρο στάθμευσης είναι ελάχιστες, παρουσιάζεται αρνητική επίδραση στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης. Μετά από το σημείο αυτό, όμως, δεν παρατηρείται καμία σημαντική βελτίωση στους χρόνους εξυπηρέτησης. Το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων μετά την περίπτωση 4 έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα και η καθυστέρηση πλέον οφείλεται στους διασκελετικούς μεταφορείς και όχι στην έλλειψη θέσεων στο χώρο στάθμευσης. Στο στρατηγικό/τακτικό επίπεδο, επομένως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της

καθυστέρησης των οδηγών για την εύρεση βέλτιστης τιμής του αριθμού θέσεων στους χώρους στάθμευσης.

*E. Επίδραση της καθυστέρησης των οδηγών.* Στο σενάριο 4 ο χρόνος καθυστέρησης του οδηγού μεταβάλλεται αυξητικά με τη μέση τιμή καθυστέρησης να παίρνει τιμές 1.14, 100 min. Έτσι, για τις 14 περιπτώσεις με διαφορετικές τιμές αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης A παρατηρούνται οι επιδράσεις στα ποσοστά χρήσης του χώρου στάθμευσης και του διασκελετικού μεταφορέα, που φαίνονται στην εικόνα 4.26. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του σεναρίου συμπεραίνεται ότι η καθυστέρηση των οδηγών στο χώρο στάθμευσης δεν επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του συστήματος, εκτός από την περίπτωση που η καθυστέρηση είναι αρκετά μεγάλη από την εμπειρική τιμή των 10–15 min. Αυτό γίνεται εμφανές από την περίπτωση 14 στο πάνω ιστόγραμμα της εικόνας 4.26, όπου υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση (100 min) όποτε και παρουσιάζεται μεγάλη ελάττωση στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων. Στην περίπτωση που έχει ανατεθεί ικανός αριθμός διασκελετικών μεταφορέων, οι μικρές καθυστερήσεις των οδηγών επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του συστήματος. Έτσι, ο διασκελετικός μεταφορέας αναγκάζεται να παραμένει άεργος (idle), όταν ο

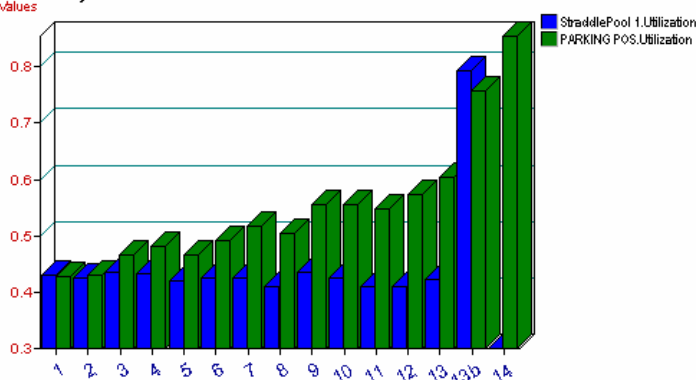
Values by Scenario



ΕΙΚΟΝΑ 4.26.

Οι επιδράσεις στα ποσοστά χρήσης του χώρου στάθμευσης και του διασκελετικού μεταφορέα από διαφορετικές τιμές αριθμού θέσεων στο χώρο στάθμευσης A.

Values by Scenario



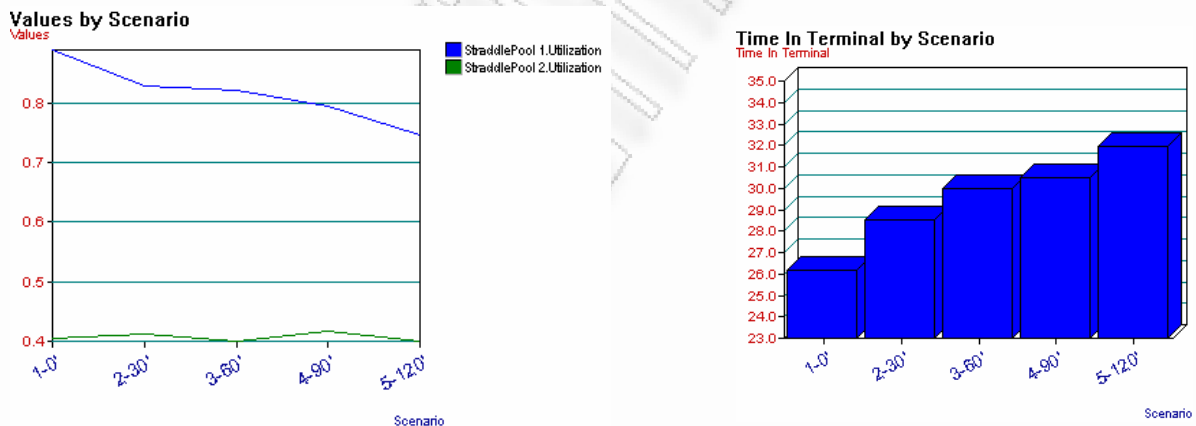
Scenario



οδηγός του φορτηγού καθυστερεί την αναχώρησή του, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση του συστήματος. Το ποσοστό χρήσης του χώρου στάθμευσης μπορεί να μεταβληθεί από τις συνολικές θέσεις στάθμευσης. Εν κατακλείδι, το ποσοστό χρήσης (utilization) του χώρου στάθμευσης πρέπει να βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Η βέλτιστη τιμή θέσεων του χώρου στάθμευσης πρέπει να βασίζεται στη μέση τιμή καθυστέρησης του οδηγού. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση, τόσο περισσότερες θέσεις στάθμευσης πρέπει να υπάρχουν.

*ΣΤ. Επίδραση των ωρών λειτουργίας.* Στο τελευταίο σενάριο, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω 5 διαφορετικά προγράμματα διαθεσιμότητας διασκελετικών μεταφορέων:

- Κανένα διάλειμμα.
- Δύο διαλείμματα των 30 min και εφαρμογή του πρώτου τρεις ώρες και 30 min από την έναρξη των εργασιών και του επόμενου 10 ώρες από την έναρξη των εργασιών.
- Ένα διάλειμμα των 60 min και εφαρμογή του 3 ώρες και 30 min από την έναρξη των εργασιών.
- Τρία διαλείμματα των 30 min και εφαρμογή του πρώτου 3 ώρες και 30 min από την έναρξη των εργασιών, του επόμενου 6 ώρες από την έναρξη των εργασιών και το τελευταίο 10 ώρες από την έναρξη των εργασιών.
- Δύο διαλείμματα των 60 min και εφαρμογή του πρώτου 3 ώρες και 30 min από την έναρξη των εργασιών και του επόμενου 10 ώρες από την έναρξη των εργασιών.



ΕΙΚΟΝΑ 4.27. Η επίδραση των ωρών λειτουργίας στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων (αριστερά) και στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (in/out) (δεξιά).

Από τα αποτελέσματα (εικ. 4.27) συμπεραίνεται ότι τα διαλείμματα κατά τις ώρες λειτουργίας της πύλης έχουν άμεση επίπτωση στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών. Από 26 min στην περίπτωση 1, ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης ανεβαίνει στα 32 min στην περίπτωση 5 (αύξηση 23,08%). Συγχρόνως, παρατηρείται αισθητή μείωση στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων λόγω της ακινητοποίησής τους κατά τη διάρκεια του διαλείμματος.



#### 4.5.2. Παραγοντικό πείραμα

Το παραγοντικό πείραμα (full factorial design) δύο επιπέδων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού πακέτου Minitab 15 (πίν. 4.2). Ένα, δύο επιπέδων, πλήρες παραγοντικό πείραμα  $2^k$  περιλαμβάνει  $k$  παράγοντες που μετέχουν στο πρόβλημα με δύο επίπεδα, το χαμηλό και το υψηλό (πίν. 4.3). Οι μεταβλητές του μοντέλου προσομοίωσης θεωρήθηκαν ως παράγοντες (factors) και τα αποτελέσματα του μοντέλου ήταν οι υπό εκτίμηση τιμές. Οι σχετικές στατιστικές επιδράσεις κάθε παράγοντα προσδιορίστηκαν με σύγκριση των αποτελεσμάτων όλων των πειραμάτων με το χαμηλό επίπεδο ενός παράγοντα, με τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων με το υψηλό επίπεδο. Με τη μεθοδολογία αυτή ελέγχθηκαν ταυτόχρονα και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2. Πειραματικός παραγοντικός πίνακας.

Scenario	STRAD	PSLOT	STIDX	DRDLY
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3. Αντιστοιχία παραμέτρων-παραγόντων.

Παράγοντες	Tag	Χαμηλό επίπεδο	Υψηλό επίπεδο
Αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων σε χρήση	STRAD	1	4
Αριθμός θέσεων στο χώρο στάθμευσης	PSLOT	5	20
Μέσο ύψος Χ/Σ	STIDX	1	2
Καθυστερήση οδηγού	DRDLY	10	20

Από το μοντέλο προσομοίωσης συλλέχτηκαν τα αποτελέσματα για τους παρακάτω δείκτες απόδοσης:

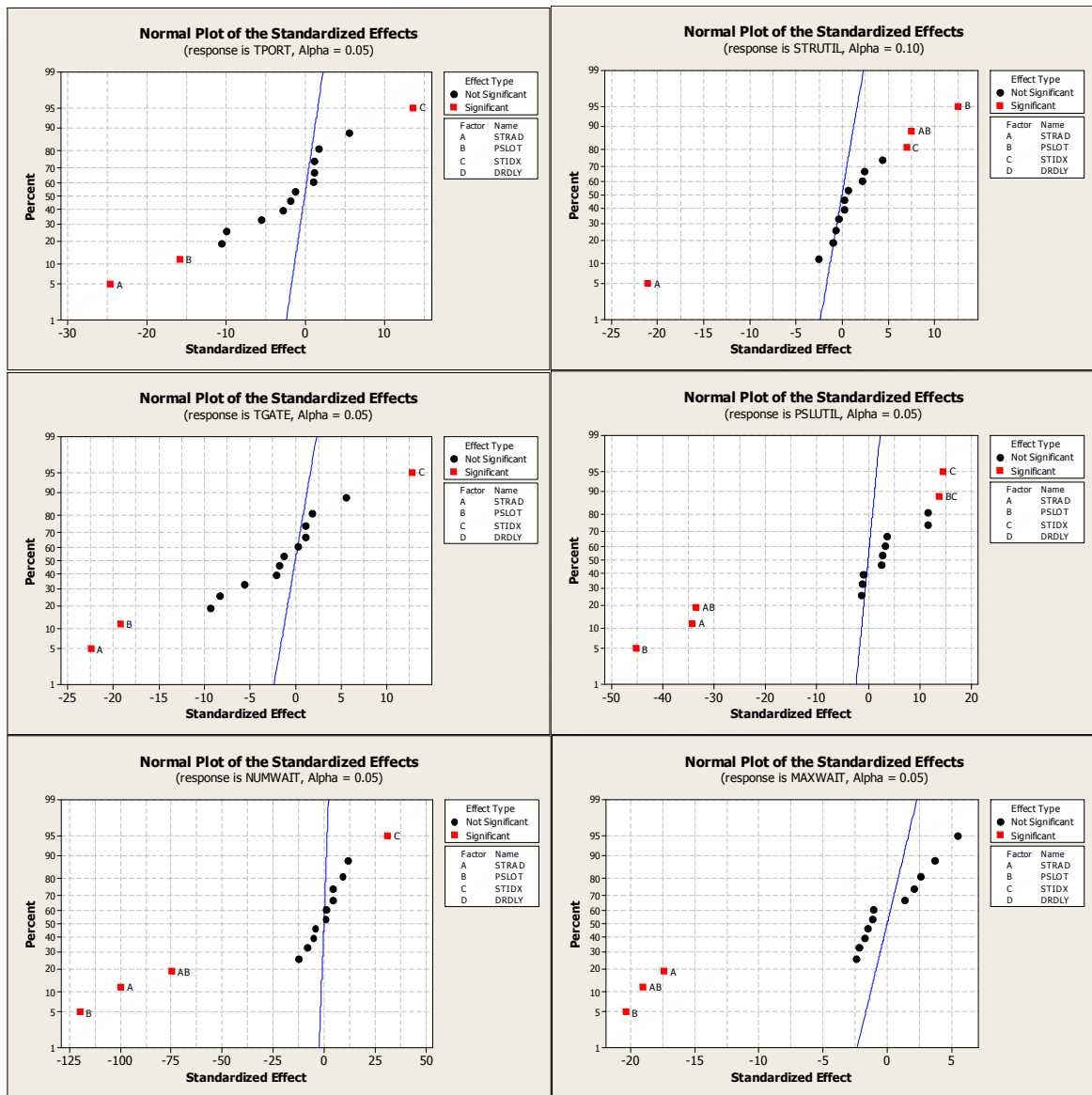
- TPORT: Ο χρόνος παραμονής του φορτηγού από την άφιξή του στο λιμένα μέχρι την έξοδό του από το ΣΕΜΠΟ.

- STRUTIL: Η σταθμισμένη μέση τιμή (weighted mean) του ποσοστού χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος.
- PSLUTIL: Η σταθμισμένη μέση τιμή του ποσοστού χρήσης των θέσεων στάθμευσης σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος.
- TGATE: Η σταθμισμένη μέση τιμή του ποσοστού χρήσης της πύλης σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος.
- NUMWAIT: Η σταθμισμένη μέση τιμή των φορτηγών που βρίσκονται στην ουρά αναμονής της πύλης του ΣΕΜΠΟ σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος.
- MAXWAIT: Η σταθμισμένη μέση τιμή του μέγιστου αριθμού των φορτηγών που βρίσκονται στην ουρά αναμονής της πύλης του ΣΕΜΠΟ σε όλες τις επαναλήψεις του πειράματος.

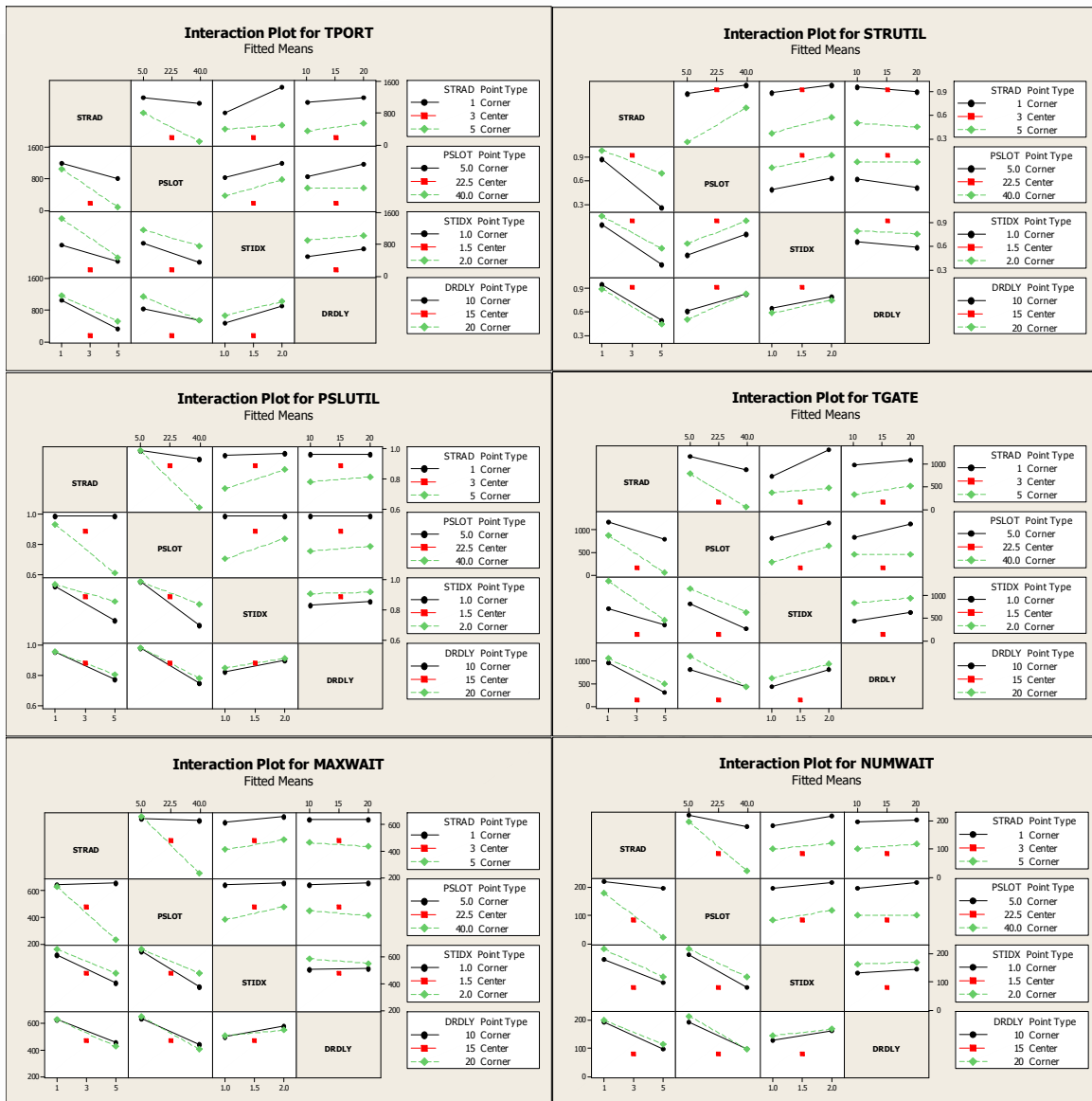
Τα αποτελέσματα του πειράματος συνοψίζονται στον πίνακα 4.4 και στις εικόνες 4.28Α και Β. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι όλοι οι δείκτες επίδοσης, όπως προκύπτουν από το μοντέλο προσομοίωσης, επηρεάζονται σε βαθμό στατιστικά σημαντικό από τους παράγοντες του συστήματος παράδοσης/παραλαβής, που εξετάστηκαν. Προέκυψε, επίσης, ότι τη σημαντικότερη και μάλιστα αρνητική επίδραση σε όλους τους δείκτες απόδοσης έχουν ο αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων σε χρήση και ο αριθμός θέσεων στο χώρο στάθμευσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4. Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του παραγοντικού πειράματος που πραγματοποιήθηκε για την ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος.

	<b>R<sup>2</sup> (adj)</b>	<b>p</b>	<b>Κύριες επιδράσεις</b>
PSLUTIL	99,91	0,001	- PSLLOT - STRAD - STRAD*PSLOT
NUMWAIT	99,50	0,007	- PSLLOT - STRAD - STRAD*PSLOT STIDX
TGATE	98,83	0,012	- STRAD - PSLLOT STIDX
STRUTIL	98,31	0,010	- STRAD PSLOT
TPORT	98,05	0,016	- STRAD - PSLLOT STIDX
MAXWAIT	94,82	0,013	- PSLLOT - STRAD*PSLOT - STRAD



ΕΙΚΟΝΑ 4.28Α. Τα αποτελέσματα του παραγοντικού πειράματος που πραγματοποιήθηκε για την ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 4.28B. Τα παραγοντικά αποτελέσματα. Ανάλυση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων του συστήματος στο πείραμα.

**Συμπερασματικά**, τα αποτελέσματα του παρόντος Κεφαλαίου έδειξαν ότι:

- Με τη χρήση του ιεραρχικού μεθοδολογικού πλαισίου που αναπτύχθηκε, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης που λαμβάνει υπόψη και τα τρία επίπεδα λήψης αποφάσεων (Στρατηγικό, Τακτικό, Επιχειρησιακό) αναγνωρίζοντας την αλληλεξάρτηση μεταξύ των λειτουργιών. Έτσι διαφαίνεται ότι το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει τους περιορισμούς που επιβάλλουν οι χωροταξικοί παράγοντες, δεδομένου ότι υπάρχουν δύο πύλες εισόδου & δύο χώροι στάθμευσης στο συγκεκριμένο τερματικό σταθμό, περιορισμοί που επιβάλλονται από τον υπάρχοντα μη-

χανολογικό εξοπλισμό (διασκελετικοί μεταφορείς), καθώς επίσης, και από τον τρόπο λειτουργίας του συγκεκριμένου ΣΕΜΠΟ (straddle carrier direct system).

- Το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε, προσεγγίζει με ακρίβεια την πραγματική λειτουργία του ΣΕΜΠΟ, βάση των στατιστικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από το Λιμάνι της Θεσσαλονίκης.
- Το μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο λήψης αποφάσεων σε στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο, επιλέγοντας κάθε φορά τις κατάλληλες παραμέτρους και αξιολογώντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα της προσομοίωσης.
- Η εφαρμογή του μοντέλου σε οριακές τιμές, μας οδήγησε στην εύρεση των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τη λειτουργία της παράδοσης/παραλαβής, όπως και των αλληλεξαρτήσεών τους. Για παράδειγμα, ενώ η αύξηση των διατιθέμενων διασκελετικών μεταφορέων βελτιώνει την ποιότητα παροχής των υπηρεσιών, μειώνοντας το χρόνο αναμονής των φορτηγών, οι συνολικές θέσεις στο παρκινγκ οριοθετούν το μέγιστο αριθμό διασκελετικών μεταφορέων μετά τον οποίο δεν παρατηρείται καμία αξιοσημείωτη βελτίωση. Παρόμοιο περιοριστικό ρόλο, εμφανίζει και η καθυστέρηση του οδηγού, που μετά από μία τιμή δρα αρνητικά στις επιδόσεις της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής και απαιτείται η αύξηση των θέσεων παρκινγκ ως αντισταθμιστικός παράγοντας.



## **ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ ΦΟΡΤΗΓΩΝ**

<b>5.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ .....</b>	<b>98</b>
<b>5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΣ ΣΤΟΥΣ ΣΕΜΠΟ .....</b>	<b>100</b>
5.2.1. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ .....	101
5.2.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ .....	103
<b>5.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣ .....</b>	<b>104</b>
5.3.1. ΚΑΝΟΝΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ .....	104
5.3.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	107





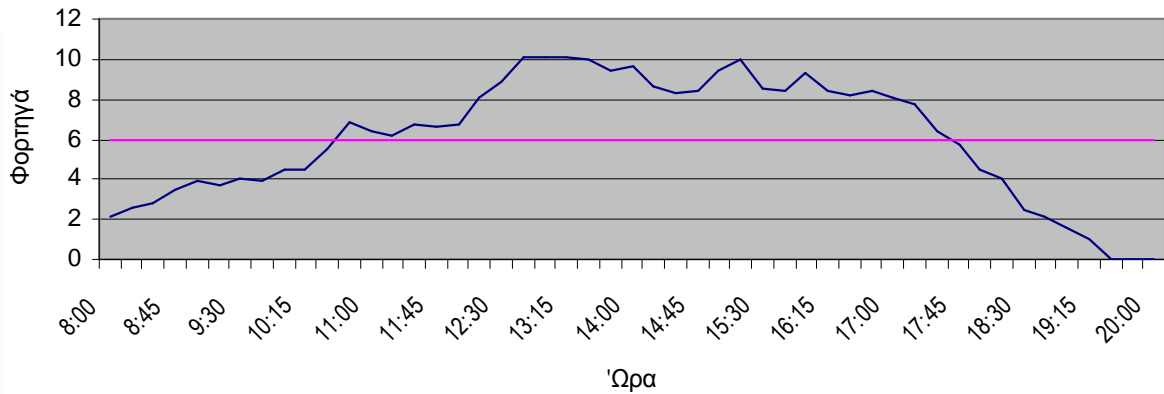
*“Create a definite plan for carrying out your desire  
and begin at once, whether you are ready or not,  
to put this plan into action”*

Napoleon Hill

Η μείωση του χρόνου αναμονής των πλοίων στους ΣΕΜΠΟ κάνει τα λιμάνια πιο ελκυστικά στις ναυτιλιακές εταιρίες. Γι' αυτό, η βελτιστοποίηση των λειτουργιών των λιμανιών, όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα Κεφάλαια, εστιάζεται συνήθως στο χρόνο εξυπηρέτησης των πλοίων. Αντίθετα, λειτουργίες όπως η παράδοση/παραλαβή Ε/Κ με χερσαία μέσα δεν έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα, ώστε να προσδιοριστούν οι καλύτερες πολιτικές και κανόνες βελτιστοποίησής τους. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε και τον κύριο λόγο, για τον οποίο η ερευνητική μας προσπάθεια αναφέρεται κυρίως στη λειτουργία παράδοσης/παραλαβής των ΣΕΜΠΟ.

Όπως δείχθηκε παραπάνω (Κεφ. 4.5), με τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύξαμε, η ημερήσια δυναμικότητα παράδοσης/παραλαβής των ΣΕΜΠΟ είναι συνάρτηση πολλών αλληλεξαρτώμενων μεταβλητών, όπως του διαθέσιμου εξοπλισμού, του τρόπου στοιβασίας, των διαθέσιμων εισόδων και εξόδων, των ωρών λειτουργίας, του ανθρώπινου δυναμικού, της προσέλευσης φορτηγών κ.ά., στις οποίες δυνητικά μπορεί να απευθυνθούν οι προσπάθειες βελτιστοποίησης της συγκεκριμένης λειτουργίας. Η αλλαγή αρκετών από αυτές τις μεταβλητές, στο πλαίσιο μιας προσπάθειας βελτιστοποίησης, προϋποθέτει την εμπλοκή των «πόρων» του συστήματος, διαταράσσοντας σημαντικά τη σχέση κόστους-οφέλους. Αντίθετα, παρεμβάσεις, στρατηγικού κυρίως επιπέδου, που βελτιώνουν στοχαστικές παραμέτρους των μαθηματικών μοντέλων που τις περιγράφουν, είτε μόνες είτε σε συνδυασμό με τις προηγούμενες, είναι δυνατό να επιτύχουν ικανού βαθμού βελτιστοποίηση του συστήματος με πολύ χαμηλό κόστος.

Ο χρονικός προγραμματισμός των αφίξεων φορτηγών αντιπροσωπεύει μια τέτοια στοχαστική παράμετρο, που επηρεάζει σημαντικά την προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής των ΣΕΜΠΟ, επειδή επιτυγχάνει εξομάλυνση της ζήτησης με αποτέλεσμα:



ΕΙΚΟΝΑ 5.1. Αφίξεις φορτηγών κατά την περίοδο μιας τυπικής ημέρας λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ/ΟΛΘ.

- Την ελαχιστοποίηση της αναμονής των φορτηγών και την καλύτερη κατανομή του εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού και, κατά συνέπεια, τη μείωση του κόστους λειτουργίας.
- Την ελαχιστοποίηση των ουρών αναμονής των φορτηγών.
- Τη μείωση των προβλημάτων συμφόρησης στο οδικό δίκτυο πέριξ του λιμένος, τη μείωση των ρύπων και τη βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας.
- Την αύξηση της ημερήσιας παράδοσης/παραλαβής, χωρίς αύξηση των πόρων.
- Τη μείωση του μέσου ύψους στο χώρο στοιβασίας (δείκτης πληρότητας).
- Σταθερό και προβλέψιμο χρόνο παράδοσης των Ε/Κ στους μεταφορείς που οδηγεί σε αύξηση της αξιοπιστίας των ΣΕΜΠΟ.

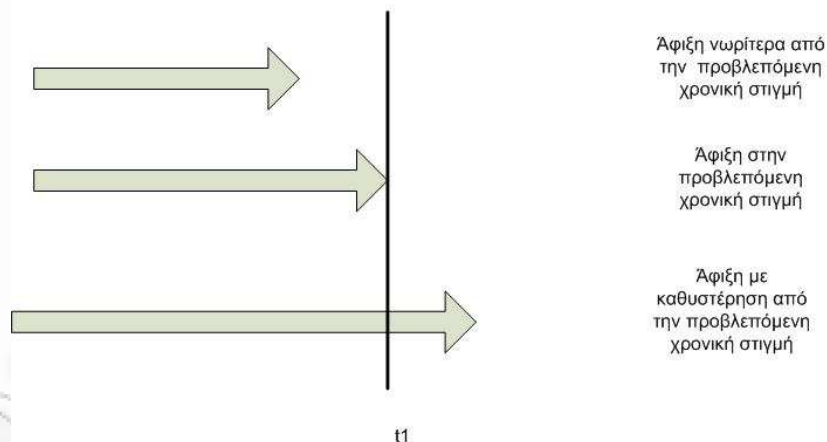
Στην εικ. 5.1 απεικονίζεται μια υποθετική συνάρτηση, όπου ο ρυθμός αφίξεων είναι σταθερός (6 φορτηγά ανά 14 min) που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή του χρονικού προγραμματισμού, σε αντιπαραβολή με τις πραγματικές αφίξεις όπου ο ρυθμός άφιξης τις πρωινές ώρες είναι πολύ μικρότερος, ενώ μετά το μεσημέρι είναι σημαντικά μεγαλύτερος του σταθερού ρυθμού άφιξης. Είναι φανερό ότι οι ανάγκες σε πόρους είναι μικρότερη όταν εφαρμόζεται ο κανόνας του χρονικού προγραμματισμού

Βέβαια, η επιτυχής εφαρμογή του χρονικού προγραμματισμού των αφίξεων φορτηγών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η στατιστική ανάλυση των επιδόσεων του ΣΕΜΠΟ για τον προσδιορισμό της πραγματικής ωριαίας δυναμικότητας, η κατάχρηση του συστήματος (system abuse), ο τρόπος που κλείνονται τα ραντεβού κ.λπ. Για όλους αυτούς τους λόγους, ο χρονικός προγραμματισμός των αφίξεων φορτηγών αντιπροσωπεύει ένα επιμέρους σύστημα που επιδέχεται βελτιστοποίηση.

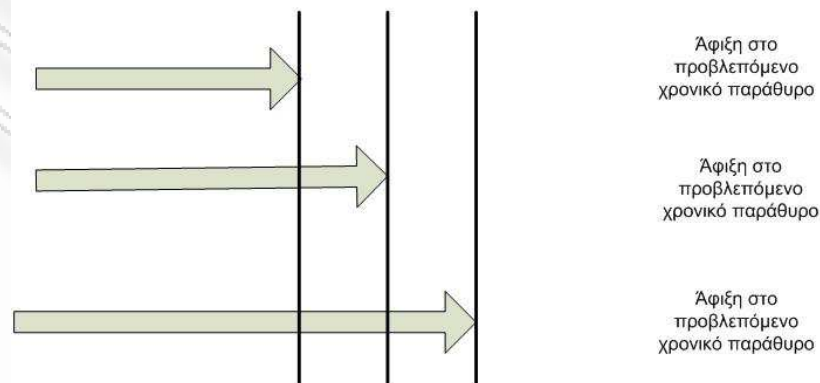
Στο Κεφάλαιο αυτό της Διδακτορικής Διατριβής επιχειρείται η βελτιστοποίηση του συστήματος χρονικού προγραμματισμού με χρονικό παράθυρο (appointment system with time window, ASTW) των αφίξεων φορτηγών, στο πλαίσιο των δυνατοτήτων του προτεινόμενου μοντέλου προσομοίωσης, και εξετάζεται ο βαθμός, κατά τον οποίο αυτή επηρεάζει, με τη σειρά της, την απόδοση της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής Ε/Κ

στους ΣΕΜΠΟ. Η έννοια του *χρονικού παράθυρου* (time window) εισάγεται από την παρούσα Διδακτορική Διατριβή, για πρώτη φορά στην ερευνητική βιβλιογραφία των AS, επειδή τα ραντεβού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, αντί χρονικής στιγμής, προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες χρονικού προγραμματισμού, γενικώς αλλά και ειδικότερα στο πλαίσιο λειτουργίας των ΣΕΜΠΟ. Στο πλαίσιο αυτό, αστάθμητοι παράγοντες επηρεάζουν συχνά τη συνέπεια των πελατών και οδηγούν σε παραβίαση των ραντεβού, ακυρώνοντας έτσι τη δυνατότητα εφαρμογής AS που στηρίζονται στη λογική των ραντεβού συγκεκριμένης χρονικής στιγμής. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2.A σε ένα σύστημα χρονικού προγραμματισμού χωρίς χρονικό παράθυρο, η άφιξη ενός φορτηγού έχει προκαθοριστεί να γίνει την χρονική στιγμή  $t_1$ . Οι περιπτώσεις που υπάρχουν είναι α) το φορτηγό να εμφανιστεί νωρίτερα από την προβλεπόμενη χρονική στιγμή β) να εμφανιστεί στην προκαθορισμένη χρονική στιγμή γ) να εμφανιστεί αργότερα από την προκαθορισμένη χρονική στιγμή. Είναι φανερό ότι και μία ολιγόλεπτη καθυστέρηση αποτελεί παραβίαση του προγράμματος του χρονικού προγραμματισμού άρα το φορτηγό πρέπει να αποκλειστεί της πρόσβασης στο σταθμό. Αντίθετα (εικ. 5.2.A), σε ένα σύστημα χρονικού προγραμματισμού με χρονικό παράθυρο, η άφιξη ενός φορτηγού έχει προκαθοριστεί να γίνει στο χρονικό διάστημα  $t_1 \pm \beta$ .

A. Αφίξεις χωρίς χρονικό παράθυρο



B. Αφίξεις με χρονικό παράθυρο  $t_1 \pm \beta$



ΕΙΚΟΝΑ 5.2. Α. Χρονικός προγραμματισμός χωρίς χρονικό παράθυρο, Β. Χρονικός προγραμματισμός με χρονικό παράθυρο.

Έτσι, οι αφίξεις θεωρούνται εντός χρονικού προγραμματισμού αν η απόκλιση από την προκαθορισμένη χρονική στιγμή δεν ξεπερνά τον συντελεστή β, που καθορίζει το μέγεθος του χρονικού παράθυρου. Η ελαστικοποίηση αυτή του χρόνου άφιξης αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης των φορτηγών στην προκαθορισμένη ώρα καθιστώντας εφικτή την εφαρμογή του συστήματος στους ΣΕΜΠΟ.

Η απουσία ερευνητικών δεδομένων από την εφαρμογή του συστήματος χρονικού προγραμματισμού (appointment system, AS) στους ΣΕΜΠΟ αποτέλεσε το βασικό κίνητρο της συγκεκριμένης προσπάθειας, η οποία στηρίχθηκε στα μοναδικά διαθέσιμα αποτελέσματα από την εφαρμογή AS στον τομέα των υπηρεσιών υγείας. Ωστόσο, οι ουσιαστικές διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των δύο αυτών τομέων εφαρμογή AS (υπηρεσίες υγείας και ΣΕΜΠΟ) δεν επιτρέπουν την απλή μεταφορά γνώσεων και εμπειρίας αλλά, αντίθετα, αποτέλεσαν μια πραγματική ερευνητική πρόκληση. Στους ΣΕΜΠΟ υπάρχει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα εξυπηρετητών, οι μέσοι χρόνοι εξυπηρέτησης είναι σημαντικά μικρότεροι και ο μέσος αριθμός εξυπηρέτησεων στη μονάδα του χρόνου είναι πολύ μεγαλύτερος, απ' ό,τι στον τομέα της υγείας. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των ραντεβού σε ένα ΣΕΜΠΟ είναι ανάλογος του μεγέθους του. Σε μικρούς και μεσαίου μεγέθους ΣΕΜΠΟ ο αριθμός αυτός αποτιμάται σε μερικές εκατοντάδες παραδόσεις/παραλαβές Ε/Κ ημερησίως, ενώ σε μεγάλου μεγέθους ΣΕΜΠΟ είναι της τάξης των μερικών χιλιάδων ημερησίως. Για την εξυπηρέτηση αυτών των φορτηγών χρειάζονται περισσότεροι του ενός εξυπηρετητές. Τα δεδομένα αυτά είναι καταφανώς διαφορετικά από τα αντίστοιχα των κλινικών, που συνήθως αναφέρονται σε έναν εξυπηρετητή με μέγιστο αριθμό ραντεβού της τάξης των μερικών δεκάδων.

### 5.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΦΙΞΕΩΝ

Από τη μελέτη της προσιτής σε μας διεθνούς βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι καμιά σχετική μελέτη δεν έχει δημοσιευθεί αναφορικά με την εφαρμογή του AS στους ΣΕΜΠΟ. Η μέχρι σήμερα έρευνα των AS αναφέρεται, αποκλειστικά και μόνο, στην εφαρμογή τους στο χώρο των υπηρεσιών υγείας. Η αύξηση του χρόνου αναμονής φαίνεται ότι είναι η σημαντικότερη πηγή δυσαρέσκειας των ασθενών που επισκέπτονται τα εξωτερικά ιατρεία [103] και ότι συσχετίζεται θετικά με τον αριθμό των ραντεβού [104]. Έτσι, ο κύριος λόγος εφαρμογής AS στο χώρο της υγείας είναι η βελτίωση της ποιότητας των παρεχομένων υπηρεσιών στα εξωτερικά ιατρεία και η μείωση του λειτουργικού κόστους. Στις περισσότερες δημοσιεύσεις μελετώνται συστήματα ενός επιπέδου, όπου οι ασθενείς δημιουργούν μια ουρά για έναν εξυπηρετητή. Υπάρχουν, βέβαια, και μελέτες προσομοίωσης σε κλινικές που οι ασθενείς μπορεί να περάσουν από πολλά επίπεδα, όπως εισαγωγή, αρχική εξέταση, ακτινολογική εξέταση, επαναληπτική εξέταση, άλλες εργαστηριακές εξετάσεις κ.ο.κ. [105, 106]. Σε τέτοια μοντέλα, οι αντίστοιχες πιθανότη-

τες μετάβασης από το ένα επίπεδο στο άλλο πρέπει να προσδιοριστούν, ώστε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο Markov. Γενικώς, έχουν μελετηθεί οι επιδράσεις διάφορων κανόνων, προκειμένου να αναπτυχθούν διάφορα συστήματα χρονικού προγραμματισμού.

Για τη μελέτη των AS στο χώρο της υγείας χρησιμοποιούνται είτε *αναλυτικές μέθοδοι* είτε *μοντέλα προσομοίωσης*. Οι αναλυτικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τη *θεωρία των ουρών* (queuing theory) και *μεθόδους μαθηματικού προγραμματισμού* (linear programming). Τα αρχικά μοντέλα στηρίζονταν στην παραδοχή της ύπαρξης σταθερής κατάστασης (steady state) στο σύστημα, η οποία όμως δεν ίσχυε ποτέ σε κλινικές με μικρό και πεπερασμένο αριθμό ασθενών. Ο Lindley [107], χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο τύπου G/G/1 με έναν εξυπηρετητή και με τις ενδοαφίξεις των ασθενών που δίδονταν από κάποιες αυθαίρετες κατανομές, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ένα σύστημα αφίξεων που προγραμματίζονται σε τακτά διαστήματα, έχει καλύτερη απόδοση από ένα σύστημα με τυχαίες αφίξεις. Οι Brahimι και Worthington [108] ανέπτυξαν μοντέλα ουρών αναμονής πολλαπλών εξυπηρετητών, πεπερασμένης δυναμικότητας, με ανομοιογενείς αφίξεις (εξαρτώμενες από το χρόνο) με κατανομή διακριτού χρόνου στους χρόνους εξυπηρέτησης. Ο αλγόριθμός τους βασισμένος σε αλυσίδες Markov υπολογίζει τις χρονικά εξαρτημένες κατανομές του αριθμού πελατών στο σύστημα, από το οποίο προκύπτουν διάφοροι βασικοί δείκτες απόδοσης. Ο Wang [109, 110] εξετάζει τόσο τη στατική, όσο και τη δυναμική περίπτωση για ένα σύστημα με έναν εξυπηρετητή και με εκθετικούς χρόνους εξυπηρέτησης, όπου ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αναμονής του πελάτη και ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα βέλτιστα διαστήματα των αφίξεων δεν είναι τα σταθερά. Αντίθετα, τα διαστήματα των αφίξεων παρουσιάζουν μια θολωτή κατανομή. Προκειμένου να καθορίσουν τα βέλτιστα διαστήματα άφιξης, οι Denton και Gupta [111] ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού δύο σταδίων.

Το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων προσομοίωσης, συγκριτικά με τις αναλυτικές προσεγγίσεις, είναι η δυνατότητα μοντελοποίησης περίπλοκων συστημάτων ουρών αναμονής, με παραμέτρους που ορίζουν ιδιότητες των πελατών και του εξυπηρετητή. Οι μελέτες με τέτοια μοντέλα πραγματοποιούν πειράματα αξιολόγησης εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας AS ή διερεύνησης της αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων και δεικτών απόδοσης του συστήματος. Ο πρωτοπόρος αυτών των αναλύσεων ήταν ο Bailey [112] που αξιολόγησε το ξεχωριστού block<sup>†</sup> σύστημα, τη στιγμή που όλοι οι άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούσαν το σύστημα του ενός block. Πιο συγκεκριμένα, ενώ ο κανόνας του ενός block όριζε μόνο την ημέρα του ραντεβού, ο Bailey πρότεινε τον διαχωρισμό των ραντεβού σε πολλαπλές ομάδες και κάθε ομάδα είχε συγκεκριμένη ημέρα και ώρα άφιξης. Έτσι, για την αναζήτησή του καλύτερου αρχικού block ( $n_1$ ) και για κλινικές με ποικίλο αριθμό συνολικών ραντεβού ( $N$ ), χρησιμοποίησε μια

<sup>†</sup> Αριθμός αφίξεων ασθενών σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή

χειρωνακτική τεχνική προσομοίωσης Monte-Carlo, από την οποία προέκυψε ότι ο βασικός κανόνας του χρονικού προγραμματισμού στο σύστημα ξεχωριστού block ορίζεται από τη σχέση:

$$\text{αν } i=1, \text{ τότε } A_1 = 0$$

$$\text{αν } i=2-N, \text{ τότε } A_i=A_{i-1}+\mu$$

όπου  $A_i$  είναι ο προκαθορισμένος χρόνος του ραντεβού των πελατών  $i=1\dots N$ , και όπου  $\mu$  ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης του συστήματος. Έτσι, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ένας κανόνας ξεχωριστού block/καθορισμένου διαστήματος με αρχικό block δύο ασθενών οδηγεί σε μια λογική ισορροπία μεταξύ του χρόνου αναμονής ασθενών και του χρόνου αδράνειας των γιατρών («κανόνας του Bailey»).

Οι Ho και Lau [113] αξιολόγησαν 50 κανόνες χρονικού προγραμματισμού αφίξεων κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος. Μελέτησαν τον κανόνα ξεχωριστών block/μεταβλητού διαστήματος και τον συνέκριναν με τους άλλους παραδοσιακούς κανόνες. Ο καλύτερος κανόνας μεταβλητού διαστήματος επιτρέπει στους ασθενείς να φθάσουν σε πιο μικρά διαστήματα στην αρχή και σε μεγαλύτερα διαστήματα κατά το τέλος της λειτουργίας του συστήματος. Έτσι, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει κανένας κανόνας που να λειτουργεί ικανοποιητικά, κάτω από όλες τις περιστάσεις, και προτείνει έναν απλό ευρετικό αλγόριθμο για την επιλογή του κανόνα προσδιορισμού των ραντεβού σε κάθε δεδομένη κλινική.

Γενικώς, οι περισσότερες μελέτες του χώρου της υγείας αναφέρονται σε μοντέλα ενός εξυπηρετητή, με βασικό στόχο να βελτιστοποιήσουν το σύστημα ελαχιστοποιώντας το συνολικό κόστος των πελατών που περιμένουν στην ουρά αναμονής και του χρόνου αδράνειας του γιατρού. Μέχρι σήμερα δεν έχει επιτευχθεί η μοντελοποίηση του γενικού προβλήματος βελτιστοποίησης ουράς με καθορισμένες αφίξεις.

## 5.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ AS ΣΤΟΥΣ ΣΕΜΠΟ

Σκοπός της εφαρμογής AS στους ΣΕΜΠΟ είναι ο καθορισμός και η υλοποίηση του καταλληλότερου κάθε φορά συστήματος που βελτιστοποιεί συγκεκριμένους δείκτες παραγωγικότητας/αποδοτικότητας. Το σύστημα αυτό περιγράφεται ως εφαρμογή χρονικού προγραμματισμού πόρων υπό αβεβαιότητα (resource scheduling under uncertainty). Η δημιουργία ενός τέτοιου AS πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους ζήτησης και εξυπηρέτησης στο ΣΕΜΠΟ, ώστε να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αναμονής των φορτηγών και να μεγιστοποιείται το ποσοστό χρήσης των διαθέσιμων πόρων (π.χ. διασκελετικών μεταφορέων). Βιβλιογραφικά, τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις στατικές και τις δυναμικές. Στην πρώτη περίπτωση, όλες οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται πριν από την έναρξη της προγραμματιζόμενης χρονικής περιόδου. Στην περίπτωση δυναμικού προγραμματισμού, το πρόγραμμα των μελλοντι-

κών αφίξεων ανανεώνεται καθόλη τη διάρκεια της ημέρας, βασιζόμενο στην εκάστοτε κατάσταση λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ.

Οι ΣΕΜΠΟ μπορεί να θεωρηθούν ως συστήματα ουρών που περιγράφονται από συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του AS. Στην απλούστερη μορφή AS, όλα τα φορτηγά αφικνούνται στο ΣΕΜΠΟ συγκεκριμένη ώρα (και μέρα) που έχει προσδιορισθεί από πριν και εξυπηρετούνται από ένα διασκελετικό μεταφορέα με στοχαστικό χρόνο εξυπηρέτησης. Η διατύπωση του προβλήματος γίνεται πιο σύνθετη, όταν υπάρχουν περισσότεροι του ενός εξυπηρετητές, βλάβες στα μηχανήματα, μη εμφάνιση των φορτηγών στην προκαθορισμένη ώρα κ.ο.κ.

### 5.2.1. Διατύπωση του προβλήματος

Για την περιγραφή του προβλήματος, ορίζεται ως  $\alpha$  το κόστος αναμονής ενός φορτηγού και  $\beta$  το κόστος αναμονής των διασκελετικών μεταφορέων. Θεωρείται ότι όλα τα φορτηγά εμφανίζονται ακριβώς στη χρονική στιγμή  $A_i$  που προκαθορίστηκε. Επίσης, ορίζονται οι παράμετροι:  $T_i$  ως ο χρόνος εξυπηρέτησης,  $\varepsilon_i$  ως ο χρόνος έναρξης της εξυπηρέτησης, και  $\lambda_i$  ως ο χρόνος λήξης της εξυπηρέτησης του φορτηγού  $i$ . Επειδή ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι στοχαστικός, στοχαστικοί είναι και οι χρόνοι έναρξης και λήξης της εξυπηρέτησης. Αν θεωρηθεί ότι  $A_1 = \varepsilon_1 = 0$ , για  $i > 1$

$$e_i = \max(A_i, e_{i-1})$$

Ο χρόνος αναμονής του φορτηγού  $i$  δίνεται από τη σχέση:

$$\Phi_i = \max(0, \varepsilon_i - A_i)$$

Ο χρόνος αναμονής (αδράνειας) του εξυπηρετητή εμφανίζεται μεταξύ του χρόνου λήξης της εξυπηρέτησης του προηγούμενου φορτηγού και της χρονικής στιγμής έλευσης του φορτηγού  $i$ :

$$E_i = \max(0, A_i - \varepsilon_{i-1})$$

Κατά τη διάρκεια της ημέρας με  $N$  αφίξεις φορτηγών, ο συνολικός χρόνος αναμονής των φορτηγών και του εξυπηρετητή είναι:

$$\Phi = \sum \Phi_i \text{ και } E = \sum E_i, \text{ αντίστοιχα}$$

Το γενικό πρόβλημα είναι να υπολογιστούν οι τιμές των  $A_i$ , ώστε να ελαχιστοποιηθεί μια συνάρτηση  $f(\Phi_i, E_i)$ , όπου  $i=1-N$ ). Με άλλα λόγια, να ελαχιστοποιηθεί συνολικός χρόνος αναμονής των φορτηγών και να μεγιστοποιηθεί το ποσοστό χρήσης του εξυπηρετητή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το AS όταν σχεδιάζεται στατικά όταν δηλαδή, τα ραντεβού δημιουργούνται εκ των προτέρων, είναι:

- Αριθμός υπηρεσιών σε κάθε άφιξη
- Αριθμός εξυπηρετητών

- Συνολικός αριθμός αφίξεων
- Διαδικασία αφίξεων (στοχαστικές ή ντετερμινιστικές)
  - Ακρίβεια στην ώρα άφιξης
  - Μη εμφάνιση
- Χρόνοι εξυπηρέτησης (στατιστικά στοιχεία ή θεωρητικές κατανομές)
- Καθυστερήσεις στην έναρξη των εργασιών, διαλείμματα, αστοχίες.

*A. Αριθμός υπηρεσιών.* Σε ένα τυπικό ΣΕΜΠΟ υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα εξυπηρέτησης κατά τη λειτουργία παράδοσης/παραλαβής. Ένα φορτηγό περνά από την πύλη του ΣΕΜΠΟ, όπου γίνεται έλεγχος των δικαιολογητικών και ο φυσικός έλεγχος του Ε/Κ, που συνδυάζεται με την εξυπηρέτηση στο χώρο στοιβάσις από ένα διασκελετικό μεταφορέα και, στη συνέχεια, δέχεται έναν ακόμα έλεγχο κατά την έξοδό του (τρία επίπεδα εξυπηρέτησης). Υπάρχει, επίσης, η περίπτωση, κατά την οποία τα φορτηγά εισέρχονται στον ΣΕΜΠΟ για να παραδώσουν Ε/Κ εξαγωγής και στη συνέχεια να παραλάβουν Ε/Κ εισαγωγής (δύο λειτουργίες και πολλαπλά επίπεδα εξυπηρέτησης). Έτσι, ένα ραντεβού του φορτηγού μπορεί να αφορά πολλές λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ και πολλαπλά σημεία εξυπηρέτησης. Σε τέτοια συστήματα πολλαπλών επιπέδων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πιθανότητες όλων των υπηρεσιών για τη δημιουργία ενός μαρκοβιανού ή προσομοιωτικού μοντέλου.

*B. Αριθμός εξυπηρετητών.* Στους ΣΕΜΠΟ υπάρχουν συνήθως περισσότεροι του ενός εξυπηρετητές για τη λειτουργία παράδοσης/παραλαβής. Ο αριθμός των εξυπηρετητών, στην περίπτωση αυτή οι διασκελετικοί μεταφορείς, επηρεάζουν άμεσα το χρόνο εξυπηρέτησης.

*Γ. Αριθμός καθορισμένων αφίξεων (ραντεβού).* Έχει βρεθεί ότι υπάρχει θετική συσχέτιση του χρόνου αναμονής με το συνολικό αριθμό των ραντεβού [104, 114]. Επίσης, οι Welch και Bailey [115] και οι Ho και Lau [113] επισημαίνουν τη σημαντικότητα αυτού του παράγοντα στη σύγκριση απόδοσης διαφορετικών κανόνων χρονικού προγραμματισμού. Οι τελευταίοι συγγραφείς αναφέρουν, επιπροσθέτως, ότι η επίδραση του αριθμού των ραντεβού μετριάζεται από τον παράγοντα *μη εμφάνισης (no show)* και τη στοχαστικότητα του χρόνου εξυπηρέτησης, οπότε ο παραπάνω κανόνας δεν μπορεί να γενικευτεί.

*Δ. Αφίξεις φορτηγών - Κανόνες ρύθμισης.* Το AS επηρεάζεται από τον τρόπο των αφίξεων των φορτηγών στο χρονικό παράθυρο<sup>‡</sup> που έχει ανατεθεί και, ειδικότερα, από την

---

<sup>‡</sup> Ως *ασυνέπεια* ορίζεται η (θετική ή αρνητική) διαφορά μεταξύ της προγραμματισμένης και της πραγματικής ώρας άφιξης ενός φορτηγού και είναι αποτέλεσμα διάφορων παραγόντων. Υπάρχουν περιπτώσεις που τα φορτηγά προσέρχονται ακόμη και πριν από τον καθορισμένο χρόνο άφιξης, με αποτέλεσμα να προκαλούν συμφόρηση στους χώρους αναμονής. Εξωγενείς παράμετροι, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η καθυ-



ακρίβεια στην ώρα άφιξης και τη μη εμφάνιση (μη προσέλευση στο ραντεβού), που συμβάλλει στη μείωση του ποσοστού χρήσης των διαθέσιμων πόρων.

*E. Χρόνοι εξυπηρέτησης.* Η υψηλή μεταβλητότητα των χρόνων εξυπηρέτησης επιδεινώνει τους δείκτες αναμονής ή τους χρόνους χρήσης των πόρων. Γενικώς, οι μικρότερης διάρκειας εξυπηρετήσεις μειώνουν τους χρόνους αναμονής.

*ΣΤ. Διαλείμματα - Αστοχίες μηχανημάτων.* Τα διαλείμματα και οι αστοχίες των μηχανημάτων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το χρόνο εξυπηρέτησης και μειώνουν την απόδοση του συστήματος.

*Z. Άλλες παράμετροι.* Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, οι οδηγοί προτιμούν να εμφανίζονται στους ΣΕΜΠΟ συγκεκριμένες ώρες τις ημέρας. Οι εταιρίες μεταφορών τις πρωινές ώρες εξυπηρετούν παραδόσεις Ε/Κ σε μακρινούς πελάτες, που έχουν συγκεκριμένες ώρες παραλαβής εμπορευμάτων. Άρα μετά το μεσημέρι, έχουν διαθέσιμους πόρους για την παραλαβή Ε/Κ από τους ΣΕΜΠΟ. Πρακτικά, κανένα ΑS δεν μπορεί να είναι επιτυχημένο, αν δεν δημιουργηθούν οι συνθήκες που καθιστούν ελκυστική την παραλαβή φορτίων εκτός των ωρών αιχμής.

### 5.2.2. Δείκτες επίδοσης

Παρακάτω αναφέρονται δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της εφαρμογής ΑS στους ΣΕΜΠΟ.

#### *A. Δείκτες με βάση το κόστος*

- Χρόνος αναμονής των φορτηγών
- Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης
- Ποσοστό χρήσης πόρων
- Χρόνος υπερωριών ανθρώπινου δυναμικού

#### *B. Δείκτες με βάση τον χρόνο*

- Μέσος χρόνος αναμονής των φορτηγών, μέγιστος και κατανομή συχνότητας
- Μέσο ποσοστό χρήσης των πόρων, μεταβλητότητα και κατανομή συχνότητας
- Μέση τιμή υπερωριών ανθρώπινου δυναμικού, μέγιστη και τυπική απόκλιση
- Μέσος συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης και κατανομή συχνότητας
- Ποσοστό εξυπηρετηθέντων με μέγιστη απόκλιση από τον προγραμματισμένο χρόνο εξυπηρέτησης

#### *Γ. Δείκτες με βάση την συμφόρηση*

---

στέρηση στην αναχώρηση του φορτηγού προς το ΣΕΜΠΟ, απρόσμενες βλάβες στα φορτηγά κ.ά., δημιουργούν προϋποθέσεις που συμβάλλουν στην ασυνέπεια.

- Μέσος αριθμός φορτηγών στην ουρά και κατανομή συχνότητας
- Μέσος αριθμός φορτηγών στο σύστημα και κατανομή συχνότητας

#### Δ. Δείκτες με βάση την αμεροληψία

- Διακύμανση του χρόνου αναμονής
- Διακύμανση του αριθμού φορτηγών στην ουρά

### 5.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ AS

Ο σχεδιασμός ενός AS περιλαμβάνει τη δημιουργία κανόνων σύμφωνα με τους οποίους θα λαμβάνουν χώρα οι αφίξεις των φορτηγών προς εξυπηρέτηση, καθώς και το σχεδιασμό ρυθμίσεων για τη μείωση των αρνητικών επιδράσεων διαφόρων παραγόντων (μη εμφάνιση, αστοχίες μηχανημάτων κ.ο.κ.) στην απόδοση του συστήματος. Κατά την εφαρμογή ενός AS, τα φορτηγά μπορούν να εμφανιστούν εντός, μετά τη λήξη ή πριν από την έναρξη του χρονικού παραθύρου ή να μην εμφανιστούν καθόλου. Οι πιθανότητες εμφάνισης των παραπάνω ενδεχομένων επηρεάζονται άμεσα από την επιλογή του μεγέθους του χρονικού παραθύρου, κατά το οποίο οι αφίξεις των φορτηγών θεωρούνται εντός χρονικού προγραμματισμού. Έτσι, αν επιλεγεί μεγάλο χρονικό παράθυρο, περισσότερα φορτηγά θα βρίσκονται εντός του προγραμματισμένου χρόνου άφιξης, ενώ, όσο μικραίνει το χρονικό παράθυρο, θα αυξάνει το ποσοστό των φορτηγών που δεν εμφανίζονται στην ώρα που τους ανατέθηκε και θα πρέπει να αποκλειστούν από το σύστημα. Για τις αφίξεις, λοιπόν, που βρίσκονται εκτός χρονικού προγραμματισμού πρέπει να υπάρξει νέα ώρα άφιξης.

#### 5.3.1. Κανόνες δημιουργίας

Οι παρακάτω μεταβλητές χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των κανόνων δημιουργίας των AS.

**Μέγεθος block** (block-size,  $n_i$ ) που είναι ο αριθμός των αφίξεων που προγραμματίζονται κατά το block  $i$ . Σε κάθε block μπορεί να υπάρχει μια άφιξη ή μια ομάδα αφίξεων, σταθερού ή μεταβλητού αριθμού.

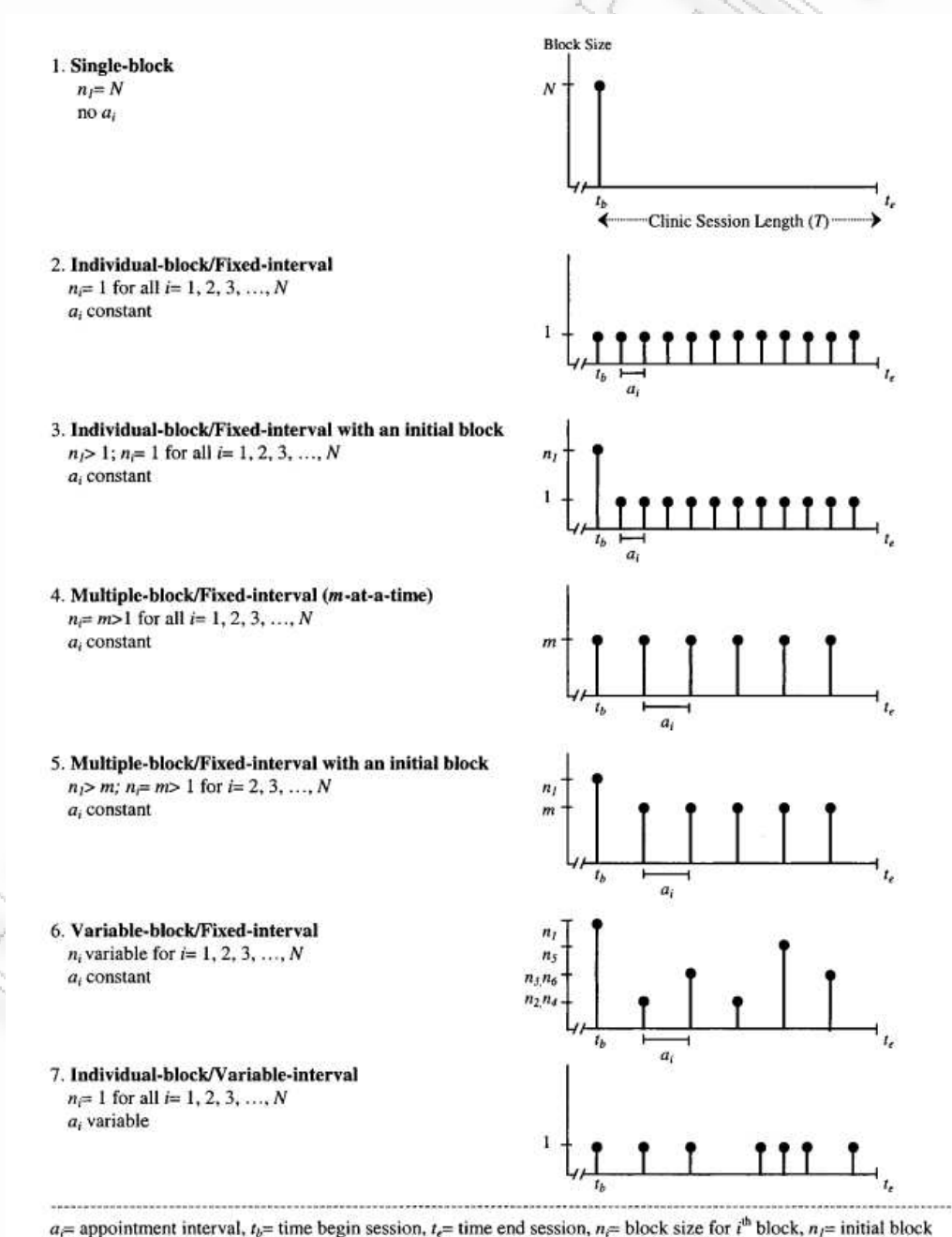
**Αρχικό block** (initial block,  $n_1$ ) που προσδιορίζει τον αριθμό των αφίξεων. Κατά την έναρξη των εργασιών δίνεται ο ίδιος χρόνος προσέλευσης σε  $n_1$  φορτηγά.

**Διάστημα χρονικού προγραμματισμού** (appointment interval,  $a_i$ ) που είναι το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών ραντεβού. Το διάστημα εξυπηρέτησης μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβλητό. Μια συνήθης πρακτική είναι να ορίζεται ως συνάρτηση του μέσου χρόνου εξυπηρέτησης. Θεωρείται ότι οι αφίξεις των φορτηγών γίνονται σύμφωνα με τον προγραμματισμό και δεν υπάρχουν αποκλίσεις.

Οποιοσδήποτε συνδυασμός των τριών αυτών παραμέτρων περιγράφει έναν κανόνα δημιουργίας AS. Οι κανόνες που έχουν μελετηθεί περισσότερο στο χώρο των υπηρεσιών

υγείας, περιγράφονται στη συνέχεια (εικ. 5.3) προσαρμοσμένοι στις ανάγκες εφαρμογής τους στην περίπτωση των ΣΕΜΠΟ.

Σύμφωνα με τον **κανόνα ενός block (κανόνας 1)**, όλα τα φορτηγά αφικνούνται ως ένα block κατά την έναρξη της λειτουργίας. Δηλαδή, για όλα τα φορτηγά της ημέρας, η ώρα του ραντεβού είναι η 8:00 που συμπίπτει με το άνοιγμα της πύλης του ΣΕΜΠΟ και εξυπηρετούνται κατά προτεραιότητα προσέλευσης (first-come-first-served, FCFS). Ο κανόνας αυτός είναι ο ελάχιστος που μπορεί να υπάρχει σε ένα AS και κατά βάση καθορίζει την ημέρα άφιξης. Έχει μελετηθεί από τους Babes και Sarma [116] και



ΕΙΚΟΝΑ 5.3. Γραφική παράσταση των περισσότερο μελετημένων κανόνων δημιουργίας AS [123].

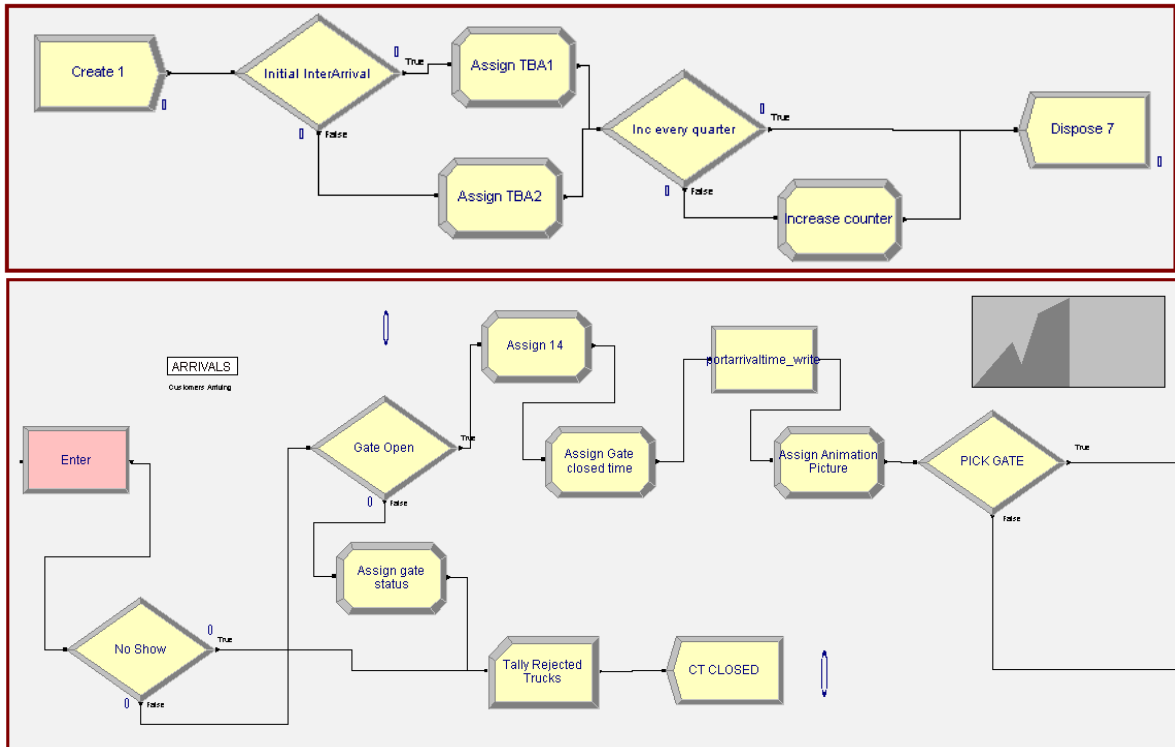
είναι ο πιο εύκολος στην υλοποίησή του.

Ο κανόνας ενός **ξεχωριστού block / καθορισμένου διαστήματος (κανόνας 2)** αναθέτει ξεχωριστό χρόνο άφιξης σε κάθε φορτηγό. Οι χρόνοι αυτοί κατανέμονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η προσέγγιση αυτή έχει μελετηθεί από διάφορους συγγραφείς [107, 112, 117, 118] που έδειξαν ότι έχει καλύτερη απόδοση από τον κανόνα 1.

Ο κανόνας **ενός ξεχωριστού block / καθορισμένου διαστήματος με αρχικό block (κανόνας 3)** αποτελεί συνδυασμό του κανόνα 1 με ένα αρχικό block  $n_i$  φορτηγών ορισμένο για άφιξη κατά την έναρξη της λειτουργίας. Στόχος του είναι να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αδράνειας του εξυπηρετητή, έχοντας πάντα απόθεμα φορτηγών στην ουρά. Έτσι, στην περίπτωση μη εμφάνισης ή καθυστέρησης κάποιου φορτηγού κατά την έναρξη της λειτουργίας, το επόμενο φορτηγό προωθείται για εξυπηρέτηση.

Στον κανόνα **πολλαπλών block / καθορισμένου διαστήματος (κανόνας 4)**, ένα block  $m$  φορτηγών ανατίθενται σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και τα διαστήματα των ραντεβού παραμένουν σταθερά. Ο Soriano [119] μελέτησε την εφαρμογή αυτού του κανόνα σε ένα AS, στο οποίο οι ασθενείς καλούνταν δύο τη φορά σε διαστήματα που ήταν διπλάσια του μέσου όρου της συνεδρίας ( $n_i = 2a = 2\mu$ ). Οι Blanco και Pike [120] και οι Cox et al [106] βρήκαν ότι ο κανόνας 4 έχει συνήθως καλύτερη απόδοση από τον κανόνα του ξεχωριστού block. Ο Nuffield [121] επισημαίνει ότι ο κανόνας αυτός έχει καλύτερη απόδοση όταν η συνεδρία έχει μικρή διάρκεια, με αποτέλεσμα, όταν οι ασθενείς καλούνται στο ίδιο block να μην έχουν μεγάλο χρόνο αναμονής.

Οι Cox et al [106] εφάρμοσαν τον κανόνα **πολλαπλών block / καθορισμένου διαστήματα με αρχικό block (κανόνας 5)** που αποτελεί συνδυασμό του κανόνα 4 με ένα αρχικό block  $n_i$  φορτηγών ( $n_i > m$ ). Ο κανόνας **μεταβλητών block / καθορισμένου διαστήματος (κανόνας 6)** επιτρέπει την ύπαρξη διαφορετικού μεγέθους block κρατώντας τα διαστήματα σταθερά και έχει μελετηθεί από διάφορους συγγραφείς [105, 122, 123, 124]. Στον κανόνα **ξεχωριστών block / μεταβλητού διαστήματος (κανόνας 7)** κάθε φορτηγό προγραμματίζεται ξεχωριστά σε μεταβλητά χρονικά διαστήματα. Έχει διαπιστωθεί [113] ότι αυξάνοντας τα χρονικά παράθυρα κατά το τέλος της λειτουργίας, βελτιώνεται η απόδοση του συστήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4. Μέθοδος ορισμού της τιμής ενδοαφίξεων (πάνω) και αφίξεις φορτηγών με παράμετρο “μη εμφάνισης” (κάτω).

### 5.3.2. Αξιολόγηση κανόνων AS με τη χρήση μοντέλου προσομοίωσης

Στο Κεφ. 3 βρέθηκε ότι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση ενός ΣΕΜΠΟ, είναι ο αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων που ανατίθενται σε κάθε περιοχή στάθμευσης. Στο σημείο αυτό, με τη βοήθεια του μοντέλου προσομοίωσης, αξιολογούνται οι παραπάνω κανόνες δημιουργίας AS και διερευνώνται οι επιδράσεις διαφόρων παραγόντων που καθορίζουν την απόδοσή του, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό των διασκελετικών μεταφορέων. Προσδιορίζονται, δηλαδή, οι μεταβλητές που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο όσον αφορά στο σύστημα των ραντεβού στους ΣΕΜΠΟ. Κατ’ αρχήν, θα αξιολογηθούν οι βασικοί κανόνες που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές στρατηγικές, θεωρώντας ότι οι αφίξεις των φορτηγών γίνονται σύμφωνα με τον προγραμματισμό, χωρίς να υπάρχουν αποκλίσεις. Στη συνέχεια, αίρεται αυτή η παραδοχή και εισάγεται η έννοια του χρονικού παραθύρου.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής, που αναπτύξαμε, με τις ακόλουθες μεταβολές. Συγκεκριμένα, για την ενσωμάτωση στο μοντέλο προσομοίωσης των κανόνων δημιουργίας AS μεταβλήθηκε ο τρόπος δημιουργίας των οντοτήτων (entities) που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι αφίξεις των φορτηγών. Έτσι, το create module παράγει οντότητες κάθε λεπτό κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ. Στις 12 ώρες λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ, δηλαδή, υπάρχουν 720 περίοδοι. Ένα decision module κάνει έλεγχο της περιόδου,

στην οποία βρίσκεται κάθε στιγμή η προσομοίωση. Όταν η περίοδος είναι μεγαλύτερη από την παράμετρο που ορίζει την αρχική τιμή των ενδοαφίξεων (TBA1), το assign module TBA1 ορίζει την τιμή των ενδοαφίξεων ίση με την παράμετρο TBA1. Σε αντίθετη περίπτωση, το assign module TBA2 ορίζει την τιμή των ενδοαφίξεων ίση με την παράμετρο TBA2. Στο υποσύστημα των αφίξεων προστέθηκε ένα decision module που καθορίζει, μέσω μιας μεταβλητής poshow, το ποσοστό των φορτηγών που δεν εμφανίστηκαν κατά την περίοδο της προσομοίωσης (εικ. 5.4).

#### A. Έλεγχος επίδρασης χρόνου ενδοαφίξεων

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε σενάριο σταθερού ρυθμού ενδοαφίξεων σε όλες τις χρονικές περιόδους, όπου τα φορτηγά καταφθάνουν στην αρχή κάθε περιόδου (σενάριο 1) (πίν. 5.1). Δεν υπάρχει αρχικό block και το μέγεθος του block ισούται με ένα. Οι παράμετροι εισόδου/εξόδου του μοντέλου προσομοίωσης, στην περίπτωση αυτή είναι οι παρακάτω:

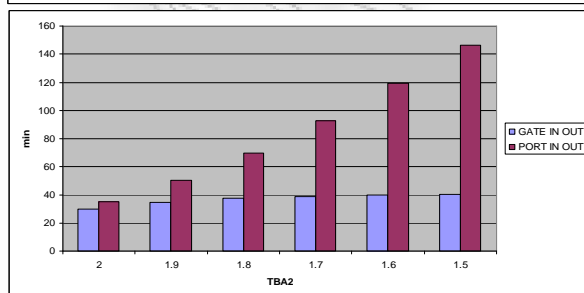
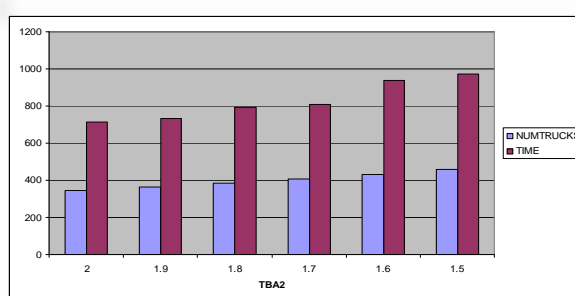
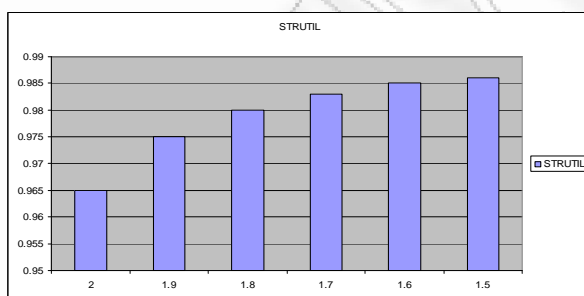
NUMSTR	Αριθμός διασκελετικών μεταφορέων
REPS	Αριθμός επαναλήψεων
P	Αριθμός περιόδων, μετά από τις οποίες η τιμή ενδοαφίξεων μεταβάλλεται από TB1 σε TB2
TBA1	Αρχική τιμή ενδοαφίξεων για P min
TBA2	Τιμή ενδοαφίξεων μετά από τον αρχικό αριθμό περιόδων P
NUMPARK	Αριθμός θέσεων στο χώρο στάθμευσης
STRUTIL	Ποσοστό χρήσης διασκελετικού μεταφορέα
GATE IN OUT	Χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγού
PORT IN OUT	Συνολικός χρόνος παραμονής φορτηγού
NUMTRUCKS	Συνολικός αριθμός φορτηγών που εξυπηρετήθηκαν
TIME	Χρόνος λειτουργίας ΣΕΜΠΟ

Κατά την προσομοίωση ελέγχθηκαν έξι διαφορετικοί χρόνοι ενδοαφίξεων. Ο μικρότερος χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγών παρουσιάστηκε στο σενάριο με το μεγαλύτερο χρόνο ενδοαφίξεων και με μέσο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων 96,5% (σενάριο 1A). Στο σενάριο αυτό εξυπηρετήθηκαν τα λιγότερα φορτηγά (345). Ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ δεν είχε μεγάλη απόκλιση από την ώρα λήξης των αφίξεων (υπερωρίες). Καθώς μειώνεται ο χρόνος ενδοαφίξεων, το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων αυξάνεται με μέγιστη τιμή 98,6% (σενάριο 1ΣΤ). Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος εξυπηρέτησης των φορτηγών φτάνει στα 146 min, αρκετά μεγαλύτερος από το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης στους ΣΕΜΠΟ. Επιπροσθέ-

τω, στο σενάριο 1ΣΤ υπήρξε θετική επίδραση στο συνολικό αριθμό των φορτηγών που εξυπηρετήθηκαν από το σενάριο 1Α, αλλά λόγω του μεγάλου χρόνου αναμονής δημιουργήθηκε η ανάγκη παράτασης του ωραρίου λειτουργίας, για να εξυπηρετηθούν όλα τα φορτηγά που προγραμματίστηκαν. Έτσι, το κόστος λειτουργίας στο σενάριο 1ΣΤ είναι μεγαλύτερο λόγω υπερωριών. Συμπερασματικά, επαληθεύεται η υπόθεση ότι ο βέλτιστος χρόνος ενδοαφίξεων κινείται κοντά στο μέσο χρόνο εξυπηρέτησης του συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν μέσο χρόνο εξυπηρέτησης του διασκελετικού μεταφορέα 3,94 min και αθροιστικό χρόνο εξυπηρέτησης στις πύλες 1,4 min. Οι επιδράσεις του χρόνου ενδοαφίξεων στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων, στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών, στον αριθμό φορτηγών και στο χρόνο λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ φαίνονται στην εικόνα 5.5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά σενάριο ελέγχου επίδρασης χρόνου ενδοαφίξεων.

Παράμετροι							Αποτελέσματα					
Σενάριο	NUMSTR	REPS	TBA1	TBA2	NUMTBA1	NUMPARK	P	STRUTIL	GATE IN OUT	PORT IN OUT	NUM- TRUCKS	TIME
1Α	2	100	1,5	2	0	20	0	0,965	29,762	35,183	345	711,843
1Β	2	100	1,5	1,9	0	20	0	0,975	34,588	49,938	364	732,69
1Γ	2	100	1,5	1,8	0	20	0	0,98	37,411	69,348	384	790,982
1Δ	2	100	1,5	1,7	0	20	0	0,983	38,866	92,701	406	807,579
1Ε	2	100	1,5	1,6	0	20	0	0,985	39,693	119,265	431	937,742
1ΣΤ	2	100	1,5	1,5	0	20	0	0,986	40,044	146,52	460	971,145



ΕΙΚΟΝΑ 5.5. Οι επιδράσεις του χρόνου ενδοαφίξεων στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων (πάνω), στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (μέση), στον αριθμό φορτηγών και στο χρόνο λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ (κάτω).

*B. Επιδράσεις μη εμφάνισης των φορτηγών*

Χρησιμοποιήθηκε σενάριο περιπτώσεων με διαφορετικά ποσοστά μη εμφάνισης φορτηγών στα ραντεβού τους και εφαρμόστηκε ο κανόνας 3 με διαφορετικές τιμές αρχικού block. Δείχτηκε ότι η αύξηση του ποσοστού μη εμφάνισης μειώνει αναλογικά και το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων. Για παράδειγμα, το ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων από 96,3% στην περίπτωση που όλα τα φορτηγά εμφανίστηκαν στον προκαθορισμένο χρόνο του ραντεβού (no show 0%), γίνεται 79,8%, όταν το ποσοστό μη εμφάνισης είναι 20% (διαφορά 17,13%). Με άλλα λόγια, το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων μεταβάλλεται γραμμικά και σύμφωνα με τη μεταβολή του ποσοστού μη εμφάνισης (πίν. 5.2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ανά σενάριο ελέγχου επίδρασης χρόνου ενδοαφίξεων.

Παράμετροι					Αποτελέσματα	
NUMSTR	REPS	TBA	BATCH	No Show	STRUTIL	PORT IN OUT
2	100	2	1	0	0,963	34,12
2	100	2	5	0	0,975	40,32
2	100	2	10	0	0,980	46,96
2	100	2	15	0	0,983	55,431
2	100	2	1	10	0,893	19,787
2	100	2	5	10	0,912	22,309
2	100	2	10	10	0,923	24,048
2	100	2	15	10	0,941	29,311
2	100	2	1	20	0,798	16,098
2	100	2	5	20	0,805	16,269
2	100	2	10	20	0,821	17,017
2	100	2	15	20	0,838	19,764

Για τη ρύθμιση της μεταβλητής «μη εμφάνιση» είναι δυνατή η εφαρμογή των παρακάτω κανόνων:

- Καμία ρύθμιση
- Επιβολή προστίμων / Αποκλεισμός
- Υπερκράτηση (overbooking) / Αντίστοιχη μείωση των χρονικών παραθύρων
- Συνδυασμοί των παραπάνω

Μηχανισμοί επιβολής προστίμων στις περιπτώσεις μη εμφάνισης και η αποβολή του πελάτη από το ΣΕΜΠΟ για κάποια χρονική περίοδο προτείνονται για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος, μειώνοντας τις πιθανότητες μη εμφάνισης.



Γ. Επίδραση του ενός ξεχωριστού *block* / καθορισμένου διαστήματος (με μεταβολή στο αρχικό *block*, κανόνες 2 και 3)

Στο πείραμα αυτό, κατά την έναρξη των εργασιών, σε κάθε σενάριο, η παράμετρος *batch* αλλάζει τιμή, για να διερευνηθεί η επίδρασή της στην απόδοση του συστήματος (πίν. 5.3, εικ. 5.6). Ο χρόνος ενδοαφίξεων TBA μεταβάλλεται σύμφωνα με την τιμή του αρχικού *block*, ώστε να είναι σταθερές οι συνολικές αφίξεις. Δηλαδή, για κάθε σενάριο, η TBA ορίζεται από τη συνάρτηση:

$$TBA' = \text{min λειτουργίας του ΣΕΜΠΟ} /$$

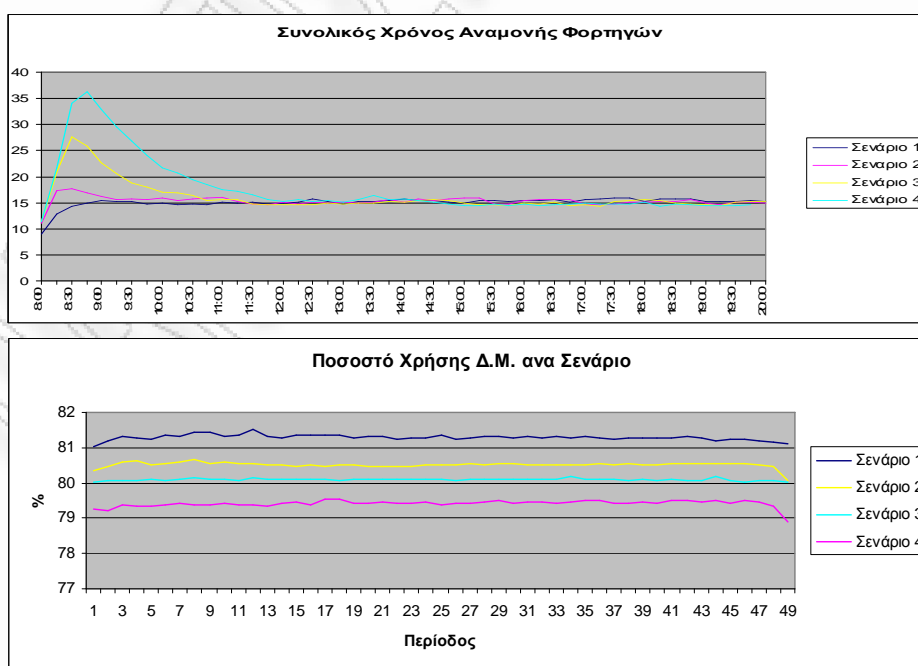
$$(\text{συνολικές αφίξεις} - \text{αριθμός αρχικών αφίξεων})$$

$$\text{άρα } TBA' = 720 / (288 - \text{batch})$$

Οι παράμετροι και τα αποτελέσματα του σεναρίου φαίνονται στον πίνακα 4.3:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "ξεχωριστού *block* / καθορισμένου διαστήματος".

Παράμετροι					Αποτελέσματα			
NUMSTR	REPS	TBA	BATCH	NUMPARK	STRUTIL	GATE IN OUT	PORT IN OUT	TIME
2	100	2,5	1	20	0,795	14,805	15,25	703,848
2	100	2,544	5	20	0,804	15,017	15,479	708,862
2	100	2,589	10	20	0,801	15,805	16,327	699,513
2	100	2,637	15	20	0,806	17,473	18,123	700,845

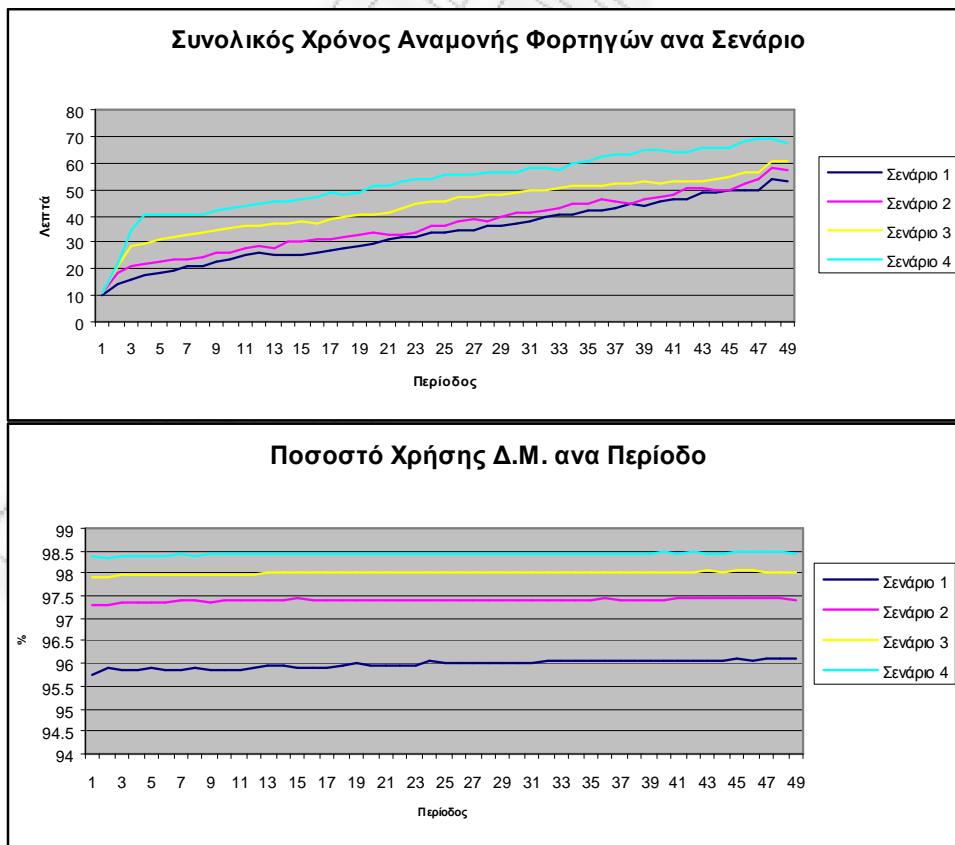


ΕΙΚΟΝΑ 5.6. Οι επιδράσεις του αρχικού *block* στο χρόνο αναμονής των φορτηγών (πάνω) και στο ποσοστό χρήσης διασκέλετικών μεταφορών (κάτω).

Στον κανόνα 3 υπάρχουν περισσότερες αφίξεις φορτηγών κατά την έναρξη των εργασιών, γεγονός που ενδεχομένως βελτιώνει την απόδοση του συστήματος. Αυτό πιθανόν γίνεται, επειδή επηρεάζει τις αρχικές αφίξεις και το σύστημα περιέρχεται γρηγορότερα σε σταθερή κατάσταση (steady state), οπότε μειώνεται ο χρόνος αδράνειας του εξυπηρετητή κατά τη μεταβατική φάση (transient state). Στο πείραμα αυτό ο χρόνος ενδοαφίξεων TBA2 είναι σταθερός και ισούται με 2,5 min.

Κατά την έναρξη των εργασιών ο χρόνος ενδοαφίξεων TBA1 μεταβάλλεται από 2 έως 1,8, για να διερευνηθεί η επίδραση της παραμέτρου στην απόδοση του συστήματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, δεν παρατηρείται στατιστικώς αξιοσημείωτη μεταβολή στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων (1,3%), ενώ ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης των φορτηγών αυξάνεται από 14,80 min σε 17,47 min (18,04%).

Ο συνολικός χρόνος αναμονής των φορτηγών παρουσιάζει σταθερή αυξητική τάση κατά τη διάρκεια της ημέρας (εικ. 5.7). Έτσι, παρατηρείται το φαινόμενο της υποβάθμισης της απόδοσης του συστήματος στα φορτηγά που τους έχουν ανατεθεί ραντεβού στο τέλος της ημέρας. Επίσης, η βελτίωση που παρατηρείται στο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων από την εφαρμογή του κανόνα 1 δεν είναι αποτέλεσμα του υπό εξέταση κανόνα αλλά της αύξησης των συνολικών αφίξεων στον καθορισμένο



ΕΙΚΟΝΑ 5.7. Οι επιδράσεις του κανόνα 3 στο χρόνο αναμονής φορτηγών (πάνω) και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορών.

χρόνο λειτουργίας του συστήματος. Συμπερασματικά, ο κανόνας αυτός δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα σε συστήματα, όπου ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι αρκετά μικρός.

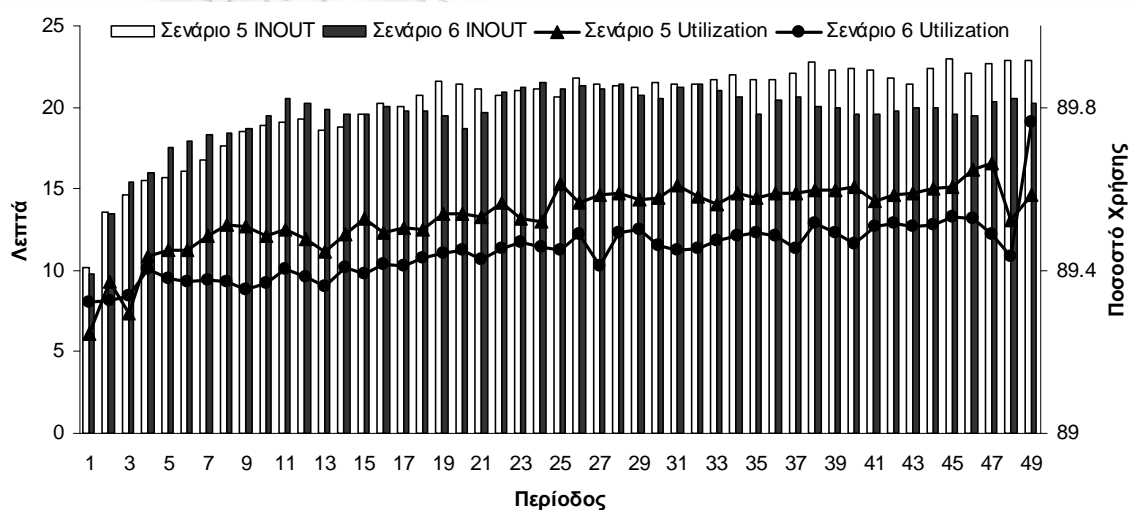
Δ. Κανόνας πολλαπλών block / καθορισμένου διαστήματος (με μεταβολή στο αρχικό block κανόνες 4 και 5)

Σε αυτό το πείραμα, ο χρόνος ενδοαφίξεων είναι διπλάσιος από το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης ( $\mu$ ) και σε κάθε block υπάρχουν δύο αφίξεις ( $n_i=2$ ,  $a_i=2\mu$ ). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 5.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "πολλαπλών block / καθορισμένου διαστήματος".

Παράμετροι						Αποτελέσματα		
Περιπτώσεις σεναρίου	NUMSTR	TBA	BATCH1	BATCH2	No Show	STRUTIL	PORT IN OUT	TIME
1	2	4	1	2	0	0,965	37,263	766,525
2	2	4	5	2	0	0,971	36,522	755,096
3	2	4	10	2	0	0,98	44,692	717,774
4	2	4	15	2	0	0,983	52,987	743,55
5	2	2	1	1	10	0,893	19,787	700,082
6	2	4	1	2	10	0,893	20,472	707,439
7	2	4	5	2	10	0,908	21,973	721,503
8	2	4	10	2	10	0,925	23,459	704,935
9	2	4	15	2	10	0,925	26,366	704,863
10	2	4	1	2	20	0,806	16,764	713,745
11	2	4	5	2	20	0,809	16,588	706,058
12	2	4	10	2	20	0,828	17,536	706,025
13	2	2	15	1	20	0,838	19,764	702,694
14	2	4	15	2	20	0,839	19,272	703,488

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο κανόνας 4 δεν βελτιώνει ικανοποιητικά την απόδοση του συστήματος σε καμία από τις περιπτώσεις που ελέγχθηκαν με το μοντέλο



ΕΙΚΟΝΑ 5.8. Οι περιπτώσεις 5 και 6 του σεναρίου που δείχνουν την επίδραση των κανόνων 4 και 5 στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορών.

προσομοίωσης. Οι δύο πρόσθετες αφίξεις στο αρχικό block (σενάριο 2) βελτιώνουν το σύστημα, μειώνοντας οριακά το μέσο όρο εξυπηρέτησης των φορτηγών. Έγινε έλεγχος και στα στατιστικά στοιχεία (εικ. 5.8), όπου αποτυπώνονται το ποσοστό χρήσης και ο χρόνος εξυπηρέτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η διακύμανση του χρόνου αναμονής συγκρίνοντας το σενάριο 5 με το σενάριο 6 δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή.

*E. Κανόνας 6 μεταβλητών block / καθορισμένου διαστήματος*

Μια εκδοχή αυτού του κανόνα μπορεί να υλοποιηθεί στη βάση του «κανόνα του Bailey», μεταβάλλοντας το μέγεθος των block ανάλογα με το χρόνο. Έτσι, στην αρχή του συστήματος ο ρυθμός ενδοαφίξεων, που ελέγχεται στην περίπτωση αυτή από το μέγεθος του block, είναι κοντά στο μέσο όρο εξυπηρέτησης του συστήματος και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η δημιουργία αυτού του κανόνα βασίστηκε στην παρατήρηση ότι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι χρόνοι εξυπηρέτησης των φορτηγών έχουν αυξητική τάση. Για το λόγο αυτό, τα ραντεβού που είναι προγραμματισμένα κατά το τέλος της ημέρας έχουν τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις. Για μείωση της διακύμανσης του χρόνου αναμονής, το μέγεθος των block  $m$  ανά περίοδο μεταβάλλεται από ένα (low) έως και δύο (high) κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το μέγεθος των block δεν υπερβαίνει το δύο, γιατί η αύξηση στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών θα είναι μεγάλη.

Πιο αναλυτικά, για ένα σύστημα με μέσο χρόνο εξυπηρέτησης  $\mu$ , και μέγεθος των block  $m$ , για κάθε χρονική περίοδο  $i$ , ο χρόνος ενδοαφίξεων είναι σταθερός και ίσος με  $\mu/m$  ( $m=2$ ). Ανά  $k$  διαστήματα μεταβάλλεται για μια χρονική περίοδο το μέγεθος του block ( $m$ ) στη χαμηλή τιμή ( $m=1$ ) (πίν. 5.5).

Ο κανόνας 6, όπως παραμετροποιήθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης, περιγράφεται από τη σχέση:

$$A_i = (i-1)\mu_t - k\sigma_t \quad (k= 0,1)$$

για κάθε  $i$  ( $i \bmod k=0$ ) τότε η τιμή του  $m_i=1$

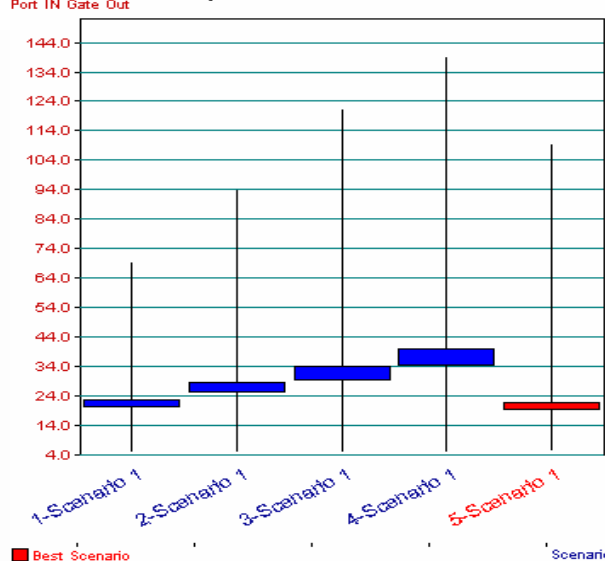
για κάθε  $i$  ( $i \bmod k \neq 0$ ) τότε η τιμή του  $m_i=2$

$$i=1, A_1=0, i=2-N, A_i=A_{i-1}+\mu_i/m$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5. Παράμετροι και αποτελέσματα κανόνα "μεταβλητών block / καθορισμένου διαστήματος".

Σενάριο	k	TBA	UTIL	TTIME	TOTAL
1	5	4	0,908	21,643	311,74
2	10	4	0,943	26,865	329,78
3	20	4	0,955	31,752	337,74
4	720	4	0,965	37,263	345
5	720	4,4	0,9	20,694	313

Port IN Gate Out by Scenario



	k	Min	Max	Low	Hi	95% CI
1	5	5,015	69,05	20,57	22,72	1,075
2	10	4,818	93,5	25,24	28,49	1,628
3	20	4,808	120,9	29,39	34,12	2,366
4	720	5,03	139	34,55	39,98	2,717
5	720	5,239	109,4	19,48	21,91	1,215

ΕΙΚΟΝΑ 5.9. Η επίδραση του κανόνα  $k$  στο χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (πάνω: δεδομένα σεναρίου, αριστερά: διάγραμμα Box and Whiskers).

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η επίδραση της μεταβολής του αριθμού block των αφίξεων έχει θετική επίδραση στο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών (εικ. 5.9). Εκτός από τη μείωση στη μέση τιμή του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης, παρατηρείται και μείωση στις πιθανές μέγιστες τιμές, καθώς και μείωση της διακύμανσης του χρόνου αναμονής στη συνολική διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης.

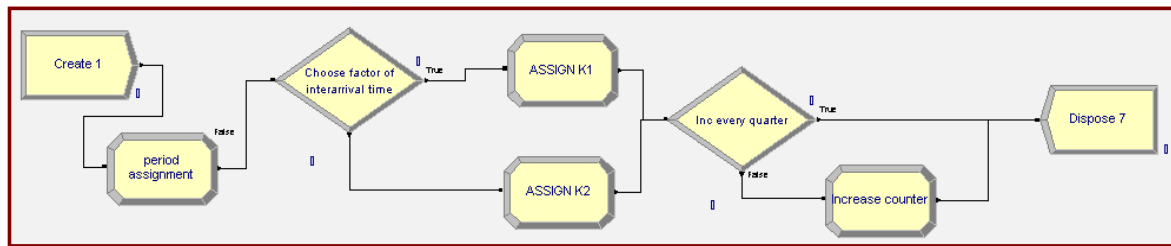
Σενάριο	k	Min	Max	Low	Hi	95% CI
1	5	0	1	0,9002	0,9149	0,00732
2	10	0	1	0,9381	0,9479	0,00491
3	20	0	1	0,9505	0,9597	0,00462
4	720	0	1	0,9617	0,968	0,00318
5	720	0	1	0,8919	0,9074	0,00774

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6. Η επίδραση του κανόνα  $k$  στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων.

Η περίπτωση 5 του σεναρίου αποδεικνύει ότι ο κανόνας του μεταβλητού block δεν είναι στατιστικά καλύτερος από την περίπτωση όπου χρόνος ενδοαφίξεων είναι σταθερός ( $k=720$ ) (πίν. 5.6). Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί η ίδια ή και καλύτερη απόδοση στο σύστημα, όταν επιλεγεί ο χρόνος ενδοαφίξεων κατά τρόπο, ώστε να εξυπηρετηθεί ο ίδιος συνολικός αριθμός φορτηγών την ημέρα.

#### ΣΤ. Επίδραση του μεταβλητού διαστήματος χρονικού προγραμματισμού (κανόνας 7)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο συνολικός χρόνος αναμονής των φορτηγών παρουσιάζει σταθερή αυξητική τάση κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα να παρατηρείται υποβάθμιση της απόδοσης του συστήματος αναφορικά με τα φορτηγά που έχουν ραντεβού στο τέλος της ημέρας. Η αντιμετώπιση του προβλήματος, δηλαδή η σταθερή χαμηλή μεταβλητότητα των χρόνων εξυπηρέτησης, επιχειρείται, στο σημείο αυτό, με την ενσωμάτωση του κανόνα 7 στο μοντέλο προσομοίωσης, η οποία υλοποιεί, στα αντίστοιχα βήματα, τα εξής:



ΕΙΚΟΝΑ 5.10. Μέθοδος ορισμού της τιμής ενδοαφίξεων.

Βήμα 1: ορίζεται  $A_i = (i-1)\mu_t$

Βήμα 2: για κάθε  $i < K$ ,  $A_i = A_i - k_1(K-i)\sigma$

Βήμα 3: για κάθε  $i > K$ ,  $A_i = A_i - k_2(K-i)\sigma$

Στο βήμα 1, τα ραντεβού δημιουργούνται σύμφωνα με το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης του συστήματος ( $\mu_t$ ). Μετά, η μεταβολή στο διάστημα  $A_i$  ορίζει τα μεν ραντεβού #2 έως #(K-1) νωρίτερα κατά  $k_1(K-i)\sigma$  μονάδες από ό,τι ορίζει το βήμα 1, τα δε υπόλοιπα ραντεβού [#(K+1) έως #N] αργότερα κατά  $k_2(K-i)\sigma$  μονάδες όπου  $\sigma$  ένας συντελεστής που συνήθως εκφράζει την τυπική απόκλιση του μέσου χρόνου εξυπηρέτησης. Επίσης, η ένταση της μεταβολής είναι μικρότερη για τα ραντεβού που ορίζονται στο μέσο της ημέρας

Για την ενσωμάτωση του κανόνα 7 στο μοντέλο προσομοίωσης (εικ. 5.10), προστέθηκε στο μοντέλο ένα σύστημα ελέγχου παραμέτρων. Η παράμετρος  $K$  ορίζει την περίοδο  $i$  στην οποία θα μεταβληθεί ο συντελεστής που επηρεάζει το χρονικό διάστημα μεταξύ των ραντεβού. Έτσι, κάθε χρονική περίοδο (διάρκειας 15 λεπτών)  $i$ , ελέγχεται η παράμετρος  $K$ . Εφόσον  $i < K$ , στο χρόνο ενδοαφίξεων προστίθεται ένας συντελεστής  $k_1'$ , ενώ όταν  $i > K$ , στο χρόνο ενδοαφίξεων προστίθεται ένας συντελεστής  $k_2'$ . Με τον τρόπο αυτό το μοντέλο προσομοίωσης επιτυγχάνει να δημιουργεί μεταβαλλόμενο διάστημα στις αφίξεις των φορτηγών. Επίσης, για την τιμή των συντελεστών  $k_1', k_2'$  ισχύει  $k_1' < k_2'$ , με αποτέλεσμα για τις πρώτες  $K$  περιόδους ο ρυθμός αύξησης του χρόνου των ενδοαφίξεων να είναι μεγαλύτερος. Άρα, στις πρώτες περιόδους της προσομοίωσης τα ραντεβού είναι πιο πυκνά και κατά την διάρκεια της «ημέρας» γίνονται πιο αραιά. Με το μοντέλο αυτό μπορεί να ελεγχθεί η επίδραση του «μεταβλητού διαστήματος» στο υπό μελέτη σύστημα. Επίσης, ορίστηκε μια μεταβλητή quarter, στην οποία αποθηκεύεται κάθε φορά το 15λεπτο στο οποίο βρίσκεται η προσομοίωση.

Με την εφαρμογή του προσαρμοσμένου στον κανόνα 7 μοντέλου προσομοίωσης, δείχθηκε ότι ο κανόνας αυτός βελτιώνει την απόδοση του συστήματος, ιδιαίτερα αναφορικά με τα ραντεβού που ορίζονται προς το τέλος της ημέρας, όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη καθυστέρηση. Στην περίπτωση 6 του σεναρίου (πίν. 5.7), οι παράμετροι επιλέχθηκαν έτσι ώστε να προσδιορίζουν ένα σύστημα σταθερού διαστήματος με χρόνο ενδοαφίξεων ( $t$ ) ίσο με 1,9 φορτηγά/min. Έτσι, προέκυψε ένα υψηλό ποσοστό χρήσης

των διασκελετικών μεταφορέων και μεγάλη μεταβλητότητα στους χρόνους εξυπηρέτησης με όριο τα 140 min. Εφαρμόζοντας τον κανόνα 7 στην περίπτωση 8 του σεναρίου το όριο μειώθηκε σε 100,1 min και παρατηρήθηκε βελτίωση 22% στο μέσο χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών (πίν. 5.8). Η μείωση του ποσοστού χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων ήταν 8,7%. Και σε αυτή την περίπτωση, αν είναι δυνατή η ακριβής πρόβλεψη του μέσου χρόνου εξυπηρέτησης του συστήματος, το σενάριο 7 αποτυπώνει την καλύτερη λύση για τον ορισμό των ραντεβού. Οι επιδράσεις των μη εμφανίσεων μελετήθηκαν στις περιπτώσεις 1-4 του σεναρίου, που συμπίπτουν με τα αποτελέσματα της παραπάνω παραγράφου Β. «Επιδράσεις μη εμφάνισης των φορτηγών».

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7. Παράμετροι και αποτελέσματα του κανόνα 7.

Περιπτώσεις σεναρίου	t	k1'	k2'	K	ρ	TTIME	STRUTIL	TOTAL
1	1,9	0,01	0,02	10	20	15,101	0,71	244,33
2	1,9	0,01	0,02	10	10	16,75	0,799	275,63
3	1,9	0,01	0,02	10	5	19,312	0,845	291,31
4	1,9	0,01	0,02	10	2	20,516	0,865	299,86
5	2,2	0	0	10	0	20,812	0,908	314
6	1,9	0	0	10	0	44,73	0,972	354
7	2	0	0	10	0	34,12	0,963	345
8	1,9	0,01	0,02	10	0	24,334	0,887	306

Σενάριο	Min	Max	Low	Hi	95% CI
1	4,405	54,79	14,81	15,4	0,2941
2	4,387	52,47	16,26	17,25	0,4951
3	4,527	69,12	18,38	20,25	0,9359
4	4,856	79,84	19,29	21,74	1,225
5	4,897	73,06	19,69	21,94	1,124
6	5,069	140,4	41,63	47,83	3,102
7	5,562	121,8	31,83	36,41	2,289
8	4,856	100,1	22,56	26,11	1,776
Σενάριο	Min	Max	Low	Hi	95% CI
1	0	1	0,7019	0,7175	0,007788
2	0	1	0,7922	0,8064	0,007082
3	0	1	0,8381	0,8525	0,007206
4	0	1	0,8566	0,8733	0,008344
5	0	1	0,8998	0,916	0,008108
6	0	1	0,9691	0,9748	0,00283
7	0	1	0,9587	0,9667	0,004004
8	0	1	0,8793	0,8945	0,007579

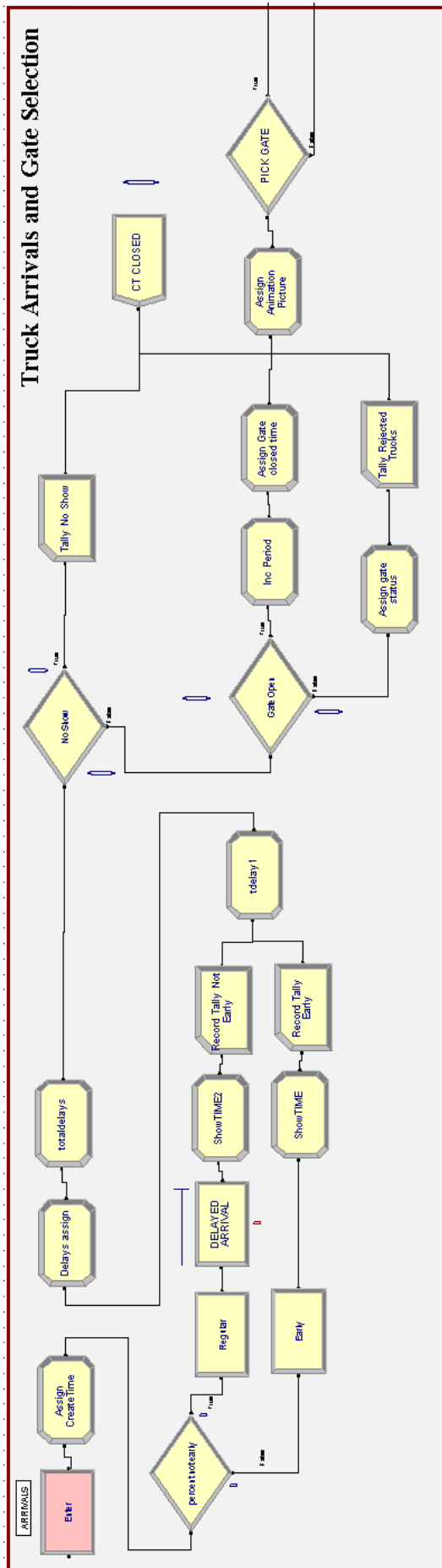
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8.

Η επίδραση του κανόνα 7 στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης φορτηγών (πάνω) και στο ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων (κάτω).

#### Z. Εκτός χρονικού προγραμματισμού

Στο σενάριο αυτού του πειράματος, οι αφίξεις των φορτηγών θεωρήθηκε ότι ήταν εντός προγραμματισμού (και κατά συνέπεια θα εξυπηρετηθούν), όταν τα φορτηγά εμφανίζονταν κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια χρονικού παραθύρου  $t_w$ . Το μοντέλο προσομοίωσης τροποποιήθηκε με την προσθήκη λογικής ελέγχου που περιλάμβανε αφίξεις που αποκλίνουν από την προκαθορισμένη ώρα άφιξης κατά  $\pm t_w/2$ .





ΕΙΚΟΝΑ 5.1.1. Λογική ελέγχου (control logic) αφίξεων που αποκλίνουν από την προκαθορισμένη ώρα άφιξης.

Για την υλοποίηση των παραπάνω το μοντέλο προσομοίωσης τροποποιήθηκε ως εξής: Προστέθηκε το assign module “percentearly” που καταγράφει την ώρα άφιξης του φορτηγού και, στη συνέχεια, ένα decision module που αποφασίζει πιθανοτικά το ποσοστό των οντοτήτων που αφικνούνται την προκαθορισμένη ώρα και εκείνων που αφικνούνται νωρίτερα από την προγραμματισμένη ώρα. Για να επιτευχθεί η προσομοίωση των φορτηγών που καταφθάνουν νωρίτερα, θεωρείται ότι η προκαθορισμένη ώρα του ραντεβού είναι γ min αργότερα από τη δημιουργία των οντοτήτων. Άρα, τα φορτηγά που καταφθάνουν νωρίτερα κατευθύνονται σε ένα delay module που καθυστερεί την οντότητα με τριγωνική κατανομή (Triangular distribution). Η καθυστέρηση αυτή είναι μικρότερη από γ. Οι υπόλοιπες οντότητες καθυστερούν ακριβώς κατά γ min και στη συνέχεια ένα άλλο delay module καθυστερεί την οντότητα με τριγωνική κατανομή. Κατά τη διάρκεια της καθυστέρησης γίνεται χρήση του πόρου pre gate parking. Έπειτα, υπολογίζεται ο χρόνος καθυστέρησης κάθε οντότητας και το decision module “NO SHOW” ελέγχει αν η καθυστέρηση αυτή είναι εκτός του χρονικού ορίου που τείθεται παράμετρικά. Σε περίπτωση που η καθυστέρηση ξεπεράσει την τιμή αυτή, το φορτηγό θεωρείται εκτός χρονικού προγραμματισμού, δεν γίνεται να εξυπηρετηθεί από το σύστημα και η οντότητα καταστρέφεται.

Με το τροποποιημένο μοντέλο προσομοίωσης μελετήθηκαν 28 σενάρια. Θεωρείται ότι οι αφίξεις των φορτηγών, με



την εφαρμογή AS, θα έχουν τριγωνική κατανομή με μέγιστη τιμή  $t_w/2$  και ελάχιστη ίση με μηδέν (δηλαδή, καμιά καθυστέρηση). Το χρονικό παράθυρο μεταβλήθηκε από  $\pm 5$  έως  $\pm 45$  min με χρόνο ενδοαφίξεων 1,8 και 2 φορτηγά ανά min. Επίσης, μελετήθηκαν οι περιπτώσεις όπου το ποσοστό των φορτηγών που είχαν άφιξη νωρίτερα από το χρόνο άφιξης ήταν 0% και 30%.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9. Παράμετροι και αποτελέσματα σεναρίων για την αξιολόγηση της επίδρασης χρονικού παραθύρου.

A/A	unoshow threshold ( $t_w$ )	Interarrival Time	% Early	Straddle Utilization	TTIME	Total Trucks	Rejected Trucks	Total Trucks No Show	Early Arrivals	Late Arrivals	%no show	Total Trucks
1	45	1,8	0	0,866	65,917	339,74	61	0	0	401	<b>0,00%</b>	401
2	35	1,8	0	0,813	43,032	315,59	56	29	0	401	7,24%	401
3	30	1,8	0	0,728	23,974	284,02	50	67	0	401	16,71%	401
4	20	1,8	0	0,476	14,605	183,81	30	187	0	401	46,66%	401
5	15	1,8	0	0,291	13,48	113,82	19	268	0	401	66,86%	401
6	10	1,8	0	0,129	13,149	50,25	8	342	0	401	85,45%	400
7	5	1,8	0	0,033	12,989	12,95	2	386	0	401	96,27%	401
8	45	2	0	0,784	35,073	305,54	55	0	0	361	<b>0,00%</b>	361
9	35	2	0	0,733	24,586	283,47	51	26	0	361	7,21%	360
10	30	2	0	0,661	18,261	255,44	46	60	0	361	16,60%	361
11	20	2	0	0,425	14,156	164,15	28	169	0	361	46,79%	361
12	15	2	0	0,271	13,519	103,97	17	240	0	361	66,49%	361
13	10	2	0	0,118	13,134	45,78	7	308	0	361	85,37%	361
14	5	2	0	<b>0,029</b>	<b>12,937</b>	11,5	1	348	0	361	<b>96,53%</b>	361
15	45	1,8	30	<b>0,872</b>	<b>59,239</b>	339,25	55	7	119	282	1,74%	401
16	35	1,8	30	0,803	37,063	310,02	50	41	120	281	10,22%	401
17	30	1,8	30	0,723	22,528	279,08	45	77	121	280	19,20%	401
18	20	1,8	30	0,493	14,85	189,6	29	182	121	280	45,43%	401
19	15	1,8	30	0,334	13,776	128,76	20	253	121	280	62,97%	402
20	10	1,8	30	0,174	13,17	68,4	10	323	121	280	80,47%	401
21	5	1,8	30	0,069	13,012	26,88	4	370	121	280	92,30%	401
22	45	2	30	0,793	33,66	305,94	49	6	108	253	1,66%	361
23	35	2	30	0,721	21,997	279,2	45	37	108	253	10,24%	361
24	30	2	30	0,649	17,98	250,73	40	70	107	254	19,41%	361
25	20	2	30	0,438	14,28	168,8	27	165	109	252	45,73%	361
26	15	2	30	0,294	13,54	115,02	17	229	109	252	63,43%	361
27	10	2	30	0,156	13,163	61,1	9	291	108	253	80,59%	361
28	5	2	30	0,063	13,183	24,05	4	333	108	253	92,23%	361

Οι μεταβλητές του μοντέλου και τα αποτελέσματα ορίζονται ως ακολούθως:

- **unoshow** threshold -  $t_w$  (Διάστημα χρονικού παραθύρου σε λεπτά). Ορίζει τη διάρκεια του χρονικού παραθύρου. Η μέγιστη απόκλιση της ώρας άφιξης του φορτηγού είναι  $t_w/2$ . Στην περίπτωση που η απόκλιση της ώρας άφιξης είναι μεγαλύτερη τότε το φορτηγό θεωρείται εκτός χρονικού προγραμματισμού.

- **Interarrival Time** (Χρόνος ενδοαφίξεων φορτηγών). Ορίζει το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων φορτηγών σε λεπτά.
- **% Early**. Ορίζει το ποσοστό των φορτηγών που αφικνούνται νωρίτερα από τη θεωρητική χρονική στιγμή που έχει προγραμματιστεί η άφιξη.
- **Straddle Utilization**. Ποσοστό χρήσης διασκελετικών μεταφορέων.
- **TTIME**. Συνολικός χρόνος αναμονής φορτηγών.
- **Total Trucks**. Συνολικός αριθμός φορτηγών που εξυπηρετήθηκαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- **Rejected Trucks**. Συνολικός αριθμός φορτηγών που θεωρήθηκαν εκτός χρονικού προγραμματισμού και δεν εξυπηρετήθηκαν.
- **Total Trucks No Show**. Συνολικός αριθμός φορτηγών που δεν εμφανίστηκαν.
- **Early Arrivals**. Συνολικός αριθμός φορτηγών που εμφανίστηκαν νωρίτερα από την προγραμματισμένη άφιξη.
- **Late Arrivals**. Συνολικός αριθμός φορτηγών που εμφανίστηκαν αργότερα από την προγραμματισμένη άφιξη.
- **% No Show**. Ποσοστό των φορτηγών που δεν εμφανίστηκαν.
- **Total Trucks**. Γενικό σύνολο των φορτηγών.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα του πειράματος (πίν. 5.9) συμπεραίνεται ότι καθώς μειώνεται το χρονικό παράθυρο, αυξάνεται αναλογικά και το ποσοστό των φορτηγών που δεν γίνονται δεκτά από το σύστημα. Έτσι, ο πραγματικός αριθμός αφίξεων στο σύστημα μειώνεται, λόγω καθυστερήσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση του ποσοστού χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων. Ο χαμηλότερος χρόνος εξυπηρέτησης (12,9 min) των φορτηγών παρατηρείται στην περίπτωση 14 του σεναρίου, όπου η μη εμφάνιση λαμβάνει την ακραία τιμή 96,53% και το ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων είναι 0,029%. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων (87,2%) παρατηρείται στην περίπτωση 15 του σεναρίου, όπου η μη εμφάνιση λαμβάνει την επίσης ακραία τιμή 1,74% και ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι 59,23 min. Συγκρίνοντας τις περιπτώσεις 1 και 13 του σεναρίου διαπιστώνεται βελτίωση του ποσοστού χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων, όταν υπάρχουν φορτηγά που προσέρχονται νωρίτερα από το χρόνο του ραντεβού.

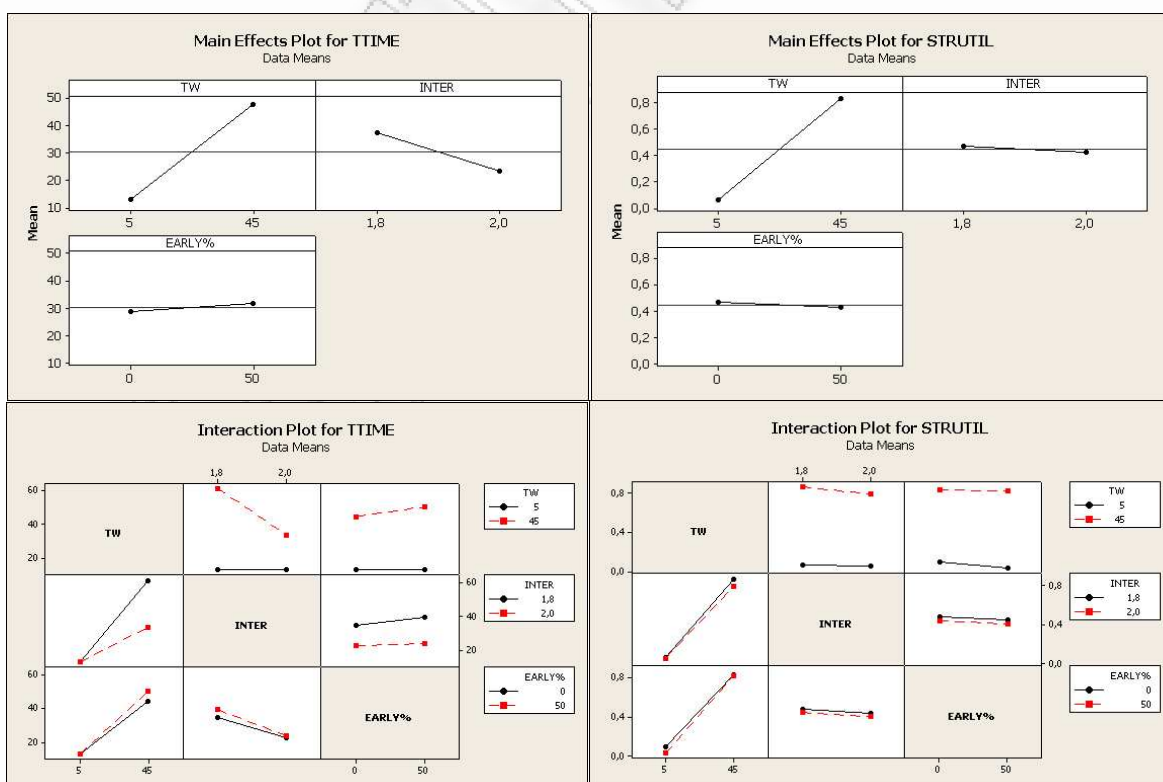
Η τελευταία παρατήρηση υπέδειξε τη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων  $T_w$  (χρονικό παράθυρο),  $Early\%$  (ποσοστό φορτηγών που εμφανίστηκαν νωρίτερα από τον προκαθορισμένο χρόνο) και  $Inter$  (χρόνος ενδοαφίξεων) του συστήματος, η οποία επιτεύχθηκε με τη διενέργεια ενός πλήρους παραγοντικού πειράματος δύο επιπέδων, χρησιμοποιώντας στο πλαίσιο του ίδιου σεναρίου το τροποποιημέ-

νο για τη συγκεκριμένη περίπτωση μοντέλο προσομοίωσης. Τα ζεύγη των υψηλών και χαμηλών (high-low) τιμών που δόθηκαν, γι' αυτό το σκοπό, στις παραμέτρους  $T_w$ , Early% και Inter, είναι (45, 5), (50, 0) και (2, 1,8), αντίστοιχα (πιν. 5.10).

$T_w$	INTER-ARRIVAL TIME	% EARLY	Straddle Utilization	TTIME
5	1,8	0	0,097	13,114
45	1,8	0	0,876	56,942
5	2,0	0	0,086	13,135
45	2,0	0	0,799	32,267
5	1,8	50	0,033	12,989
45	1,8	50	0,866	65,917
5	2,0	50	0,029	12,937
45	2,0	50	0,784	35,073

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10. Παράμετροι και αποτελέσματα παραγοντικού πειράματος.

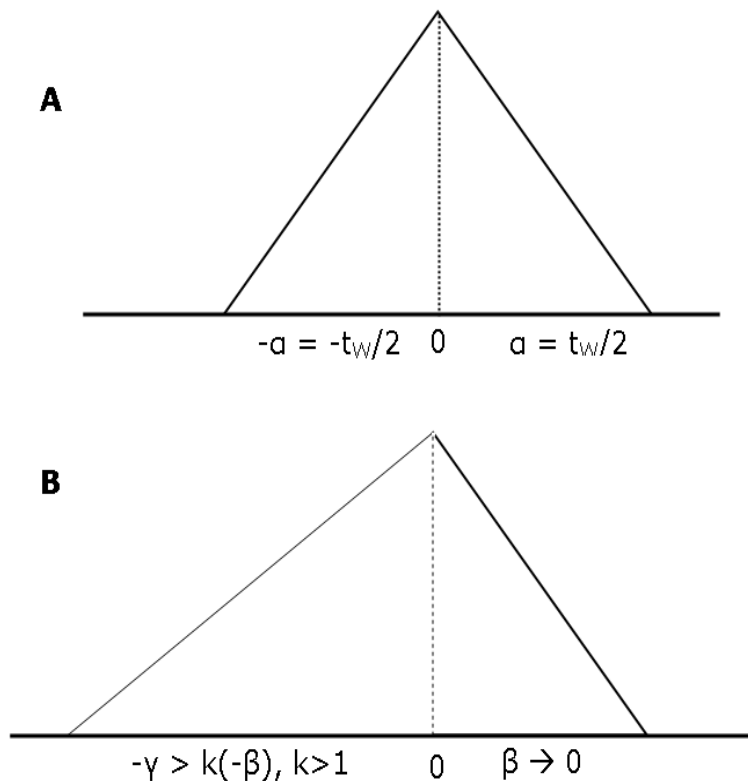
Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.12, μεταξύ των συγκεκριμένων παραγόντων του συστήματος υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση. Ειδικότερα, παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της διάρκειας του χρονικού παραθύρου, αφενός, και του ποσοστού χρήσης των διασκελετικών μεταφορέων (θετική) και του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης των φορτηγών (αρνητική), αφετέρου. Φαίνεται, επίσης, ότι η επίδραση του χρονικού παραθύρου στο συνολικό χρόνο εξυπηρέτησης των φορτηγών εξαρτάται από το ποσοστό



ΕΙΚΟΝΑ 5.12. Οι κύριες επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων του συστήματος που προέκυψαν από το παραγοντικό πείραμα.

των φορτηγών που εμφανίζονται νωρίτερα και από το χρόνο ενδοαφίξεων.

Έτσι, στο μοντέλο προσομοίωσης επιλέχθηκε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (χρονικό παράθυρο), που δίνονται στα φορτηγά ραντεβού, όπου οι χρόνοι άφιξης των φορτηγών κυμαίνονται πιθανολογικά ισομερώς πριν και μετά από το σημείο 0, που αντιπροσωπεύει ραντεβού συγκεκριμένης χρονικής στιγμής και δεν επιδέχεται αποκλίσεις (εικόνα 5.13.A). Από τα πειράματα που έγιναν προκύπτει ότι οι λειτουργίες του ΣΕΜΠΟ βελτιστοποιούνται, όσο η τιμή του υποδιαστήματος  $\beta$  (καθυστέρηση άφιξης) τείνει προς το 0. Βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται, επίσης, όταν το υποδιάστημα  $\gamma$  (νωρίτερη άφιξη) παίρνει τιμές μεγαλύτερες του  $\beta$  (εικόνα 5.13.B). Στο σημείο αυτό πρέπει να επισυμανθεί ότι η διαθεσιμότητα και η χωρητικότητα του εξωτερικού χώρου στάθμευσης περιορίζει την τιμή του συντελεστή  $k$ . Συμπερασματικά, από το πείραμα αυτό διαφαίνεται ότι πολιτικές που αποτρέπουν την καθυστέρηση των φορτηγών αλλά και η χαλάρωση των κανόνων συμμόρφωσης για φορτηγά που προσέρχονται νωρίτερα, μπορούν να βελτιώσουν συνολικά την απόδοση του AS.



ΕΙΚΟΝΑ 5.13. Σχηματική απεικόνιση της πυκνότητας πιθανότητας (probability density function, PDF) του χρονικού παράθυρου. A: Η πιθανοτική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης για την αξιολόγηση του ASTW που προτείνεται. B: Η πιθανοτική συνάρτηση που προκύπτει από την προσπάθεια βελτιστοποίησης του ASTW, με τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης.

**Συμπερασματικά**, τα αποτελέσματα του παρόντος Κεφαλαίου έδειξαν ότι:

- α. Η χρήση AS στους ΣΕΜΠΟ βελτιώνει την αποδοτικότητά τους, ακόμη και αν δεν έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση του AS.
- β. Για τη δημιουργία AS για ΣΕΜΠΟ μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κανόνες που έχουν περιγραφεί στο χώρο των υπηρεσιών υγείας, αφού ληφθούν όμως υπόψη οι σημαντικές ιδιαιτερότητες και διαφορές του συγκεκριμένου χώρου.
- γ. Ο καλύτερος κανόνας δημιουργίας AS για ΣΕΜΠΟ είναι εκείνος που προβλέπει ραντεβού των φορτηγών σε ξεχωριστά block, του ενός φορτηγού, σε μεταβλητά διαστήματα.
- δ. Λαμβανομένων υπόψη των εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν τη συμμόρφωση των φορτηγών, η χρήση και η κατάλληλη επιλογή χρονικού παράθυρου (εικ. 5.12) κατά τη δημιουργία AS για ΣΕΜΠΟ, προσφέρουν σημαντικό πλεονέκτημα στην αποδοτικότητα του ΣΕΜΠΟ, ιδιαίτερα στο βαθμό που αυτή εξαρτάται από την ικανοποίηση των πελατών του.



**ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΚΑΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ**

<b>6.1. ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>128</b>
<b>6.2. ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>129</b>
<b>6.3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>130</b>
<b>6.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>134</b>





*“Computer Science is no more about computers than astronomy is about telescopes”*

E.W. Dijkstra

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο κεφ. 3, ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία παράδοσης παραλαβής είναι ο αριθμός των διασκελετικών μεταφορέων που διατίθενται για την εξυπηρέτηση των φορτηγών, όταν ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης (service time) παραμένει σταθερός. Άρα αν μειωθεί ο χρόνος αυτός υπάρχει πιθανότητα να επιτευχτεί η ίδια απόδοση με τη διάθεση λιγότερων διασκελετικών μεταφορέων. Στο κεφάλαιο αυτό, εξετάζονται μεθοδολογίες που δυνητικά, μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των ΣΕΜΠΟ, υιοθετώντας πρακτικές που βελτιστοποιούν την λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων. Για την υλοποίηση αυτών των πρακτικών είναι αναγκαία η ενσωμάτωσή τους σε υπάρχοντα ή νέα συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ. Είναι φανερό ότι, οι τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στο χώρο των μεταφορών και βρίσκουν πλήθος εφαρμογών στα σύγχρονα λιμάνια. Για το λόγο αυτό, στην συνέχεια παρουσιάζ-



ΕΙΚΟΝΑ 6.1. Κύρια υποσυστήματα τυπικού συστήματος διαχείρισης ΣΕΜΠΟ.

ζεται ένα τυπικό σύστημα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ που καλύπτει τις περισσότερες λειτουργικές και διοικητικές ανάγκες του, τα κύρια υποσυστήματα ενός τέτοιου συστήματος συστήματος, καθώς και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια έχοντας, κατανοήσει την λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης των τερματικών σταθμών, και εντοπίσει τις παραλήψεις αυτών, δίνεται έμφαση στις επεκτάσεις που είναι δυνατόν να γίνουν σε τέτοια συστήματα. Η ενσωμάτωση των συγκεκριμένων αλγορίθμων που προτείνονται και επιδρούν στο επιχειρησιακό επίπεδο λήψης αποφάσεων, θεωρείται ότι μπορεί να βελτιστοποιήσουν τη λειτουργία των ΣΕΜΠΟ.

### **6.1. ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Στην εικόνα 6.1. παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ και τα κύρια υποσυστήματά του.

- Το *υποσύστημα ελέγχου πύλης εισόδου* είναι υπεύθυνο για την καταγραφή στο σύστημα των εισερχομένων και εξερχομένων Ε/Κ. Εκτελεί ελέγχους σύμφωνα με κανόνες λειτουργίας που έχουν προκαθοριστεί από το διαχειριστή του ΣΕΜΠΟ. Κύριος στόχος του υποσυστήματος είναι ο γρήγορος έλεγχος των Ε/Κ, ώστε να επιτυγχάνεται μείωση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης των φορτηγών. Ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτών εξαρτάται από τις ανάγκες του κάθε ΣΕΜΠΟ. Σε μερικές εγκαταστάσεις ο έλεγχος γίνεται σε δύο επίπεδα. Ο βασικός έλεγχος γίνεται με τη διαδικασία του προελέγχου, κατά τον οποίο εκδίδεται μια άδεια εισόδου/εξόδου πριν από την πραγματική είσοδο/έξοδο του Ε/Κ. Αυτό το επιπρόσθετο επίπεδο ελέγχου αυξάνει το συνολικό χρόνο των διοικητικών εργασιών, αλλά συγχρόνως μειώνει τις πιθανές καθυστερήσεις των φορτηγών που εισέρχονται από την πύλη και, τελικά, συνεισφέρει στη μείωση του συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης των φορτηγών.
- Τα *υποσυστήματα φόρτωσης/εκφόρτωσης* είναι υπεύθυνα για την παρακολούθηση των Ε/Κ που φορτώνονται/εκφορτώνονται από τα πλοία και εκτελούν ελέγχους, σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες λειτουργίας.
- Το *υποσύστημα διαχείρισης Χ/Σ* παρέχει τα εργαλεία για τη διαχείριση του Χ/Σ, που αντιπροσωπεύει έναν από τους πολυτιμότερους πόρους ενός ΣΕΜΠΟ. Το υποσύστημα αυτό διαχειρίζεται την τοποθέτηση των Ε/Κ στις κατάλληλες θέσεις, ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι επαναστοιβασίες. Οι αποφάσεις αυτές βασίζονται είτε σε προκαθορισμένους κανόνες ή είτε στην εμπειρία του διαχειριστή.
- Το *υποσύστημα δημιουργίας πλάνου φόρτωσης* είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία λίστας φόρτωσης και εκφόρτωσης για κάθε πλοίο, για τη δημιουργία της οποίας απαιτείται μεγάλος αριθμός υπολογισμών, ώστε να διασφαλισθεί η σταθερότητα του πλοίου κατά τη φόρτωση/εκφόρτωση και την πλεύση του.

- Το *υποσύστημα διαχείρισης των μηχανικών μέσων* αποστέλλει εντολές μεταφοράς και στοιβασίας σε συγκεκριμένα στα μηχανικά μέσα. Οι εντολές αυτές αποστέλλονται συνήθως μέσω ασύρματου δικτύου και εμφανίζονται στην οθόνη του μηχανήματος. Μετά την εκτέλεση της εντολής, ο χειριστής του μηχανήματος επιβεβαιώνει την ενέργειά του.
- Προηγμένα *υποσυστήματα ελέγχου ρομποτικών φορηγών (automated guided vehicles, AGV)* χρησιμοποιούνται σε μερικές εγκαταστάσεις και οδηγούν στην ελαχιστοποίηση των λειτουργικών δαπανών και σε αύξηση της αποδοτικότητας.
- Το *υποσύστημα διοικητικών εργασιών* αποσκοπεί στην ηλεκτρονική παρακολούθηση των επισήμων εγγράφων, όπως εκείνων του τελωνίου, των υπηρεσιών υγείας και των παρεχομένων υπηρεσιών.
- Το *υποσύστημα τιμολόγησης* τροφοδοτείται από την παραπάνω καταγραφή των εργασιών και, μ' αυτό τον τρόπο, έχει τη δυνατότητα να εκδίδει τιμολόγια χωρίς να απαιτείται η καταχώρηση δεδομένων από το χειριστή.

## 6.2. ΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί τάση αύξησης της εφαρμογής μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας στους ΣΕΜΠΟ λόγω της αντίστοιχης αύξησης της διαθεσιμότητας των νέων τεχνολογιών επικοινωνίας και πληροφορικής που αποτελούν το μοναδικό μέσο για την υλοποίησή τους. Το υψηλό κόστος κτήσης λειτουργίας των πλοίων και των ΣΕΜΠΟ απαιτούν την μείωση των μη παραγωγικών χρόνων στα λιμάνια. Νέες μέθοδοι και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης είναι αναγκαίοι για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας των λιμένων. Μέχρι στιγμής δεν έχουν ερευνηθεί όλες οι πηγές βελτιστοποίησης άλλα οι υψηλής παραγωγικότητας λειτουργίες το απαιτούν. Για παράδειγμα, μια πηγή βελτιστοποίησης είναι ο προγραμματισμός της δυναμικότητας των ΣΕΜΠΟ σε τακτικό επίπεδο. Ιδανικά, η δυναμικότητα των ΣΕΜΠΟ πρέπει να παρακολουθεί τη ζήτηση που μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα, ανάλογα με το ρυθμό άφιξης των Ε/Κ εισαγωγής (αφίξεις πλοίων). Η πιθανότητα παραλαβής ενός Ε/Κ είναι συνάρτηση του χρόνου παραμονής του στο ΣΕΜΠΟ. Ο μέσος χρόνος παραμονής των Ε/Κ στο ΣΕΜΠΟ (dwell time) παρέχει μια αρχική πρόβλεψη της ζήτησης σε τακτικό επίπεδο. Πιο ακριβής πρόβλεψη μπορεί να επιτευχθεί από τον αριθμό των Ε/Κ που έχουν ολοκληρώσει τις διοικητικές τους εργασίες (εκτελωνισμός, τιμολόγηση κ.ο.κ.) και είναι έτοιμα προς παράδοση (free-out). Ένα πληροφοριακό υποσύστημα προγραμματισμού δυναμικότητας, που θα χρησιμοποιεί τη γνώση των πιθανών παραλαβών, είναι ικανό να προκαθορίζει τις ανάγκες σε πόρους (capacity planning) και να μειώνει τη σπατάλη τους. Εξ ορισμού, βέβαια, η απόδοση ενός τέτοιου στοχαστικού συστήματος είναι πεπερασμένη. Το σημείο αυτό αντιπροσωπεύει μια ακόμη περίπτωση, όπου η συμβολή της χρήσης ΑΣ μπορεί να

αποδειχθεί πολύτιμη, λόγω της ακρίβειας που παρέχει η ντετερμινιστική φύση του. Επίσης, τα υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ, είναι περίπλοκα στην χρήση τους, εφαρμόζουν κάποιες μεθόδους βελτιστοποίησης, που αφορούν συγκεκριμένο μηχανολογικό εξοπλισμό, και υπάρχει δυσκολία στην παραμετροποίησή τους. Έτσι, μικρής δυναμικότητας τερματικοί σταθμοί, είναι αναγκασμένοι να χρησιμοποιούν χειρογραφικό σύστημα ή να προσφεύγουν σε πληροφοριακά συστήματα που δεν προσφέρουν τα εργαλεία εκείνα που θα βελτιστοποιούσαν τις λειτουργίες τους. Η ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων με ενσωμάτωση μεθόδων βελτιστοποίησης θα είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη των «μικρών» ΣΕΜΠΟ.

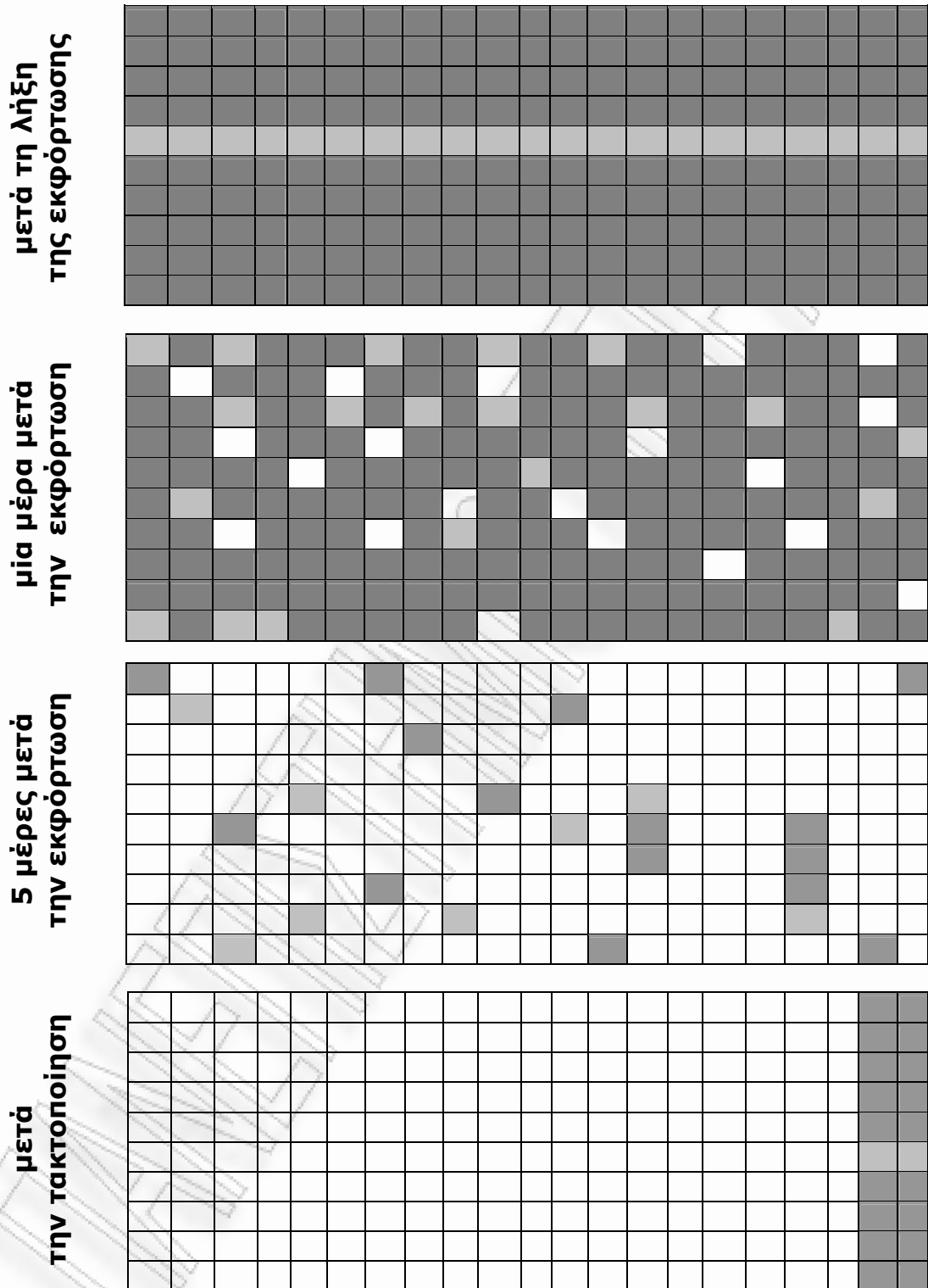
### **6.3. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ**

Στους ΣΕΜΠΟ που χρησιμοποιούν άμεσο σύστημα με διασκελετικούς μεταφορείς (straddle carrier direct system), προκαθορίζονται, στο τακτικό επίπεδο λήψης αποφάσεων, θέσεις εδάφους στο χώρο στοιβασίας, προκειμένου να υποδεχθούν τα Ε/Κ εισαγωγής που θα εκφορτωθούν από τα αναμενόμενα πλοία. Οι θέσεις αυτές πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις, ώστε οι διασκελετικοί μεταφορείς να στοιβάζουν τα Ε/Κ με ασφάλεια και ταχύτητα: Να είναι κοντά στη θέση πλευρίσης του πλοίου, να είναι ελεύθερες, συνεχόμενες και να ορίζουν γραμμές. Ο λόγος είναι ότι, για να γίνει απόθεση, σε μια θέση ενός σχεδόν γεμάτου τομέα, ο χειριστής πρέπει να προσέχει για να μη συγκρουστεί με τα υπάρχοντα Ε/Κ καθώς περνά από επάνω τους (εικ.2.4Γ), άρα να μειώσει την ταχύτητά του. Επίσης, πρέπει να ανυψώσει το Ε/Κ σε τέτοιο επίπεδο, ώστε να είναι ψηλότερα από τα υπάρχοντα Ε/Κ, άρα να καθυστερήσει λόγω ανύψωσης του Ε/Κ. Για να καθοριστούν οι θέσεις, οι γραμμές και οι τομείς υποδοχής των Ε/Κ ακολουθείται μια διαδικασία τακτοποίησης (pre-marshaling) του Χ/Σ. Κατά τη διαδικασία αυτή, επιλέγεται ένας σχετικά άδειος τομέας, κοντά στη θέση πλευρίσης του πλοίου. Τα Ε/Κ που έχουν παραμείνει στο Χ/Σ από προηγούμενο πλοίο, μετακινούνται στις ακραίες γραμμές του τομέα που επιλέχθηκε. Οι συνολικές μετακινήσεις που θα γίνουν ισούνται με το συνολικό αριθμό των Ε/Κ που βρίσκονται στον τομέα μείον τυχόν Ε/Κ που βρίσκονται στις ακραίες γραμμές.

Στο παράδειγμα της εικόνας 6.2, αν υποθεθεί ότι στον τομέα πρέπει να αποθηκευθούν 135 Ε/Κ εισαγωγής, πρέπει να αδειάσουν οποιεσδήποτε 14 στήλες (135 Ε/Κ: 10 γραμμές ανά στήλη). Γι' αυτό θα μετακινηθούν με 30 Ε/Κ με συντελεστή απόστασης\* 381.

---

\* Ως *συντελεστής απόστασης* ορίζεται το γινόμενο του αριθμού των Ε/Κ που μετακινούνται επί την απόσταση που διανύεται μετρούμενη σε αριθμό στηλών.



ΕΙΚΟΝΑ 6.2. Πληρότητα και διευθέτηση τομέα του Χ/Σ, με 21 στήλες και 10 γραμμές, σε διαφορετικούς χρόνους.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας ευρετικός αλγόριθμος της παραπάνω διαδικασίας, με στόχο την ελαχιστοποίηση των Ε/Κ που μετακινούνται και συγχρόνως την ελαχιστοποίηση της απόστασης που πρέπει να διανυθεί από τους διασκελετικούς μεταφορείς.

Το φυσικό αποτέλεσμα της εφαρμογής αυτού του αλγορίθμου είναι προφανές ότι δεν καταλήγει σε τακτοποίηση των Ε/Κ στις ακραίες στήλες του τομέα, όπως γίνεται παραπάνω.

Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Πρόσθεση Ε/Κ ανά στήλη (εικ. 6.3).
2. Υπολογίζεται ο αριθμός των στηλών, που πρέπει προετοιμαστεί για να υποδεχθεί τα Ε/Κ (στήλες προέλευσης) ως εξής:

```

ColsEmpty := ImportContainers div (MaxContainersPerCol);
    if (sum mod (MaxContainersPerCol) <> 0) then
        ColsEmpty := ColsEmpty + 1;
    
```

3. Αύξουσα ταξινόμηση των αθροισμάτων (εικ. 6.4). Οι στήλες που έχουν τα λιγότερα Ε/Κ χαρακτηρίζονται ως στήλες προέλευσης, και προορίζονται να αδειάσουν. Για παράδειγμα, αν τα Ε/Κ εισαγωγής που πρέπει να τοποθετηθούν στον τομέα, είναι 135, πρέπει να αδειάσουν οι πρώτες 14 στήλες, δηλαδή οι στήλες 4, 6, 11, 15, 16, 17, 19, 2, 9, 5, 10, 13, 20 και 21.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4	1	3	0	2	0	4	3	1	2	0	3	2	5	0	0	0	7	0	2	2

ΕΙΚΟΝΑ 6.3. Άθροισμα υπολειπόμενων Ε/Κ σε καθεμιά από τις 21 στήλες του τομέα Χ/Σ της εικόνας 6.2.

4	6	11	15	16	17	19	2	9	5	10	13	20	21	3	8	12	1	7	14	18
0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	7

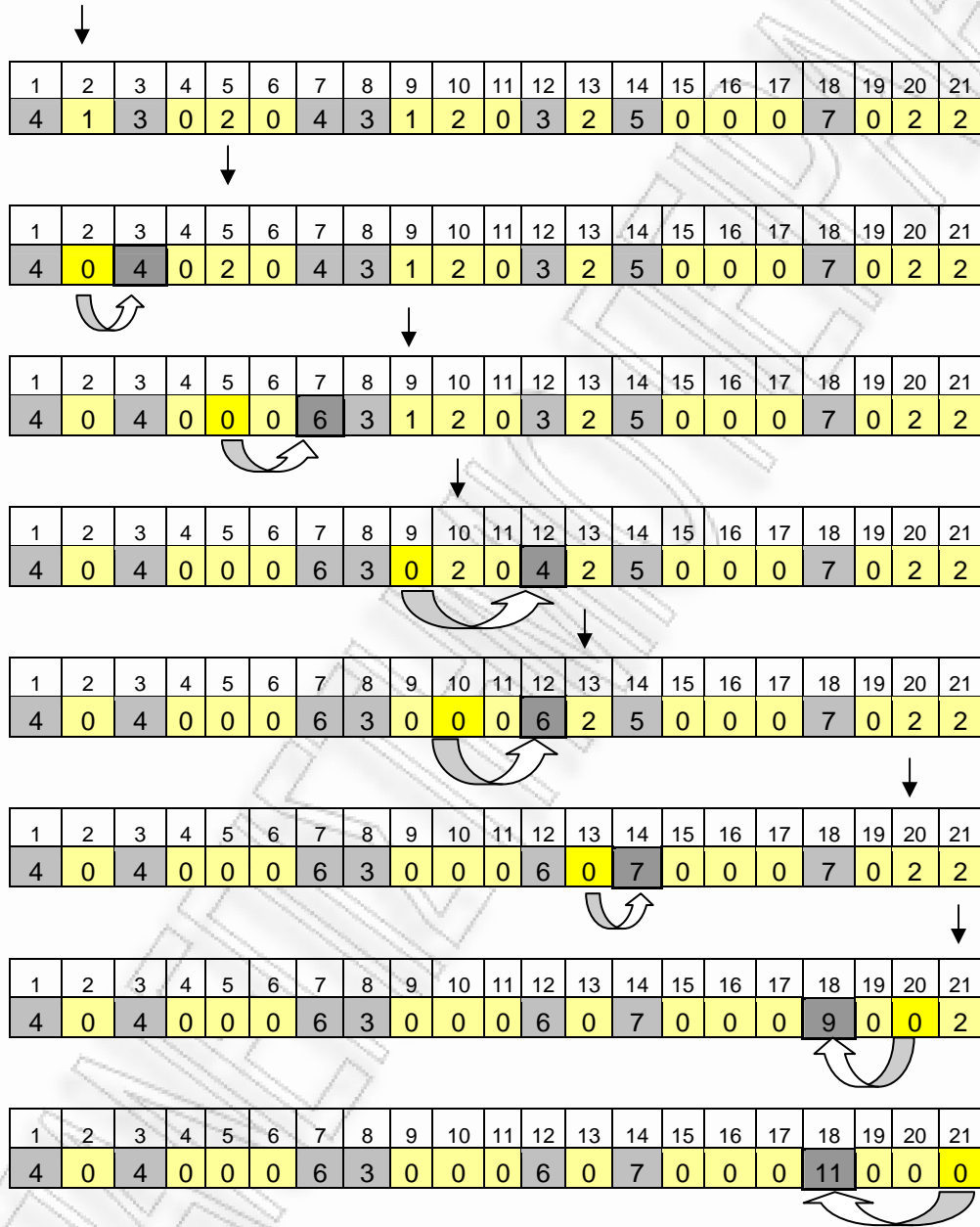
ΕΙΚΟΝΑ 6.4. Αύξουσα ταξινόμηση των συνόλων Ε/Κ ανά στήλη.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4	1	3	0	2	0	4	3	1	2	0	3	2	5	0	0	0	7	0	2	2

ΕΙΚΟΝΑ 6.5. Χαρακτηρισμός στηλών προέλευσης.

4. Υπολογίζονται τα ζεύγη στηλών (προέλευσης, προορισμού) που είναι τέτοια, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόσταση που θα διανυθεί από το διασκελετικό μεταφορέα. Ξεκινώντας από τη στήλη με τα λιγότερα Ε/Κ, ελέγχεται η δυνατότητα μετακίνησής τους στην αμέσως επόμενη στήλη. Η στήλη αυτή μπορεί να υποδεχτεί Ε/Κ, εφόσον το σύνολο των Ε/Κ της είναι μικρότερο από το μέγιστο αριθμό Ε/Κ που μπορούν να αποθηκευτούν σε μια στήλη και εφόσον δεν έχει χαρακτηριστεί ως στήλη προέλευσης. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να εξαντληθούν τα Ε/Κ από τη στήλη προέλευσης. Στη συνέχεια επιλέγεται νέα στήλη προέλευσης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να μετακινηθούν όλα τα Ε/Κ από τις στήλες προέλευσης.

Στην εικόνα 6.6 φαίνονται όλες οι μετακινήσεις που θα γίνουν στο παράδειγμα, σύμφωνα με τον αλγόριθμο. Συνολικά, θα μετακινηθούν 12 Ε/Κ, με συντελεστή απόστασης 24. Συγκρίνοντας με την απλή τακτοποίηση, παρατηρείται μείωση των μετακινήσεων των Ε/Κ >50% και του συντελεστή απόστασης κατά 93,7%.



ΕΙΚΟΝΑ 6.6. Όλες οι μετακινήσεις που θα γίνουν σύμφωνα με τον αλγόριθμο.

#### 6.4. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ

Ο κάθε ΣΕΜΠΟ αποτελεί ένα βασικό κόμβο στην εφοδιαστική αλυσίδα των συνδυασμένων μεταφορών και για αυτό είναι αναγκαία η βελτιστοποίηση της ροής των Ε/Κ που περνά από αυτόν, και όλων των διαδικασιών προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα. Εξετάζοντας τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα ΣΕΜΠΟ, ακολουθώντας το ιεραρχικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι λειτουργίες που σχετίζονται με το Χ/Σ αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα της απόδοσής του. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη εύρεσης κανόνων σε τακτικό ή επιχειρησιακό επίπεδο, που θα βελτιώσουν τη λειτουργία αυτή. Όπως έχει αναφερθεί, οι σκάντζες είναι μη παραγωγικές κινήσεις από το Χ/Σ προς το Χ/Σ, οι οποίες δημιουργούνται κατά τη διάρκεια παράδοσης συγκεκριμένου Ε/Κ που βρίσκεται κάτω από ένα άλλο. Με την εφαρμογή ενός AS ο διαχειριστής του ΣΕΜΠΟ γνωρίζει, εξ ορισμού, την ώρα παραλαβής των Ε/Κ εκ των προτέρων. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί ώστε να δημιουργηθούν κατάλληλοι κανόνες στοιβασίας ή διαδικασίες που έχουν ως στόχο τη μείωση των μη παραγωγικών κινήσεων. Μια αρχική σκέψη θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της προ-στοιβασίας που εφαρμόζεται στα Ε/Κ εξαγωγής. Μια τέτοια μέθοδος θα είχε ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση ή και την εξάλειψη των μη παραγωγικών κινήσεων κατά τη διάρκεια της παραλαβής, αλλά θα μετέθετε το πρόβλημα στη διαδικασία της τακτοποίησης του Χ/Σ. Στη συνέχεια θα αναπτυχθεί ένας νέος τρόπος στοιβασίας που βασίζεται σε κανόνες που επιλέγουν τη βέλτιστη θέση κατά την επαναστοιβασία ενός Ε/Κ. Η προτεινόμενη μέθοδος δυναμικής στρατηγικής έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση των επαναστοιβασιών εφαρμόζοντας τον παρακάτω κανόνα.

*«Στην περίπτωση που δημιουργηθεί η ανάγκη για σκάντζα ενός Ε/Κ [A] τότε ο προορισμός του [A] θα είναι η πλησιέστερη θέση είτε εδάφους, είτε δεύτερου επιπέδου. Στην περίπτωση που η πλησιέστερη θέση προορισμού του [A] είναι σε δεύτερο επίπεδο, το Ε/Κ του πρώτου επιπέδου της θέσης αυτής, θα πρέπει να είναι προγραμματισμένο για παράδοση αργότερα από το [A].»*

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή μπορεί να αποδειχθεί ότι οι μη παραγωγικές κινήσεις θα είναι λιγότερες από τις κινήσεις που θα προέκυπταν χωρίς τη χρήση του κανόνα. Επίσης, μετά από μερικές αρχικές παραδόσεις Ε/Κ, κατά την πρώτη μέρα, οι σκάντζες θα μειώνονται σταδιακά και όταν θα παραδοθούν τα μισά Ε/Κ του τομέα τότε όλες οι κινήσεις στον τομέα αυτό θα είναι παραγωγικές (όλα τα εναπομείναντα Ε/Κ θα καταλαμβάνουν θέση εδάφους).

Για την υλοποίηση αυτού του αλγόριθμου ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι:



- i : γραμμή i στο χώρο στοίβασης.  
 j : στήλη j στο χώρο στοίβασης.  
 k : ύψος κ στο χώρο στοίβασης.  
 C<sub>ijk</sub> : το E/K που βρίσκεται στη θέση ijk.  
 T<sub>ijk</sub> : χρόνος παραλαβής του E/K που βρίσκεται στη θέση ijk.

Επίσης, θεωρείται ότι η εντολή για μετακίνηση ενός E/K, που παρεμποδίζει την παράδοση ενός άλλου E/K, δημιουργείται κατά την άφιξη του φορτηγού που θα το παραλάβει και είναι παράμετρος εισόδου του αλγόριθμου. Έτσι, κατά τη δημιουργία εντολής μετακίνησης εκτελείται ο παρακάτω αλγόριθμος:

```

*****
// Checks if a container from S can be stowed to D
// The decision is based on the NEW RULES
*****

10  function TForm1.CanStow(S: TAddress;
20  var Slot: TAddress): integer; //(0 no , 1 first level 2, second level)
30  var
40    res : integer;
30
40  begin
50    if blockA[Slot.row, Slot.col, 1].Empty then           // Stow in a ground slot
60      res := 1
70    else
80      if (blockA[Slot.row, Slot.col, 2].Empty = true ) then // Stow on the second
90                                                              // level if the time
                                                                // constrain is met

100   begin
110     if ( blockA[Slot.row, Slot.col, 1].PickUpTime < blockA[S.row, S.col,
120                                                         S.level].PickUpTime ) then
130       res := 2
140     else
150       res := 0;
160     end
170   else
180     res := 0;
190     CanStow := res;
200     Slot.level := res;
210   end;

```

Στη γραμμή 50 του κώδικα, το E/K μπορεί να μετακινηθεί από τη θέση προέλευσης S στη θέση προορισμού D, εφόσον η θέση D πρώτου επιπέδου δεν είναι κατειλημμένη. Σε αντίθετη περίπτωση, το E/K μετακινείται στη θέση D δευτέρου επιπέδου όταν αυτή δεν είναι κατειλημμένη και ο χρόνος παραλαβής του είναι μικρότερος από το χρόνο παραλαβής του E/K στη θέση D που βρίσκεται στο πρώτο επίπεδο.

Η παραπάνω ρουτίνα εκτελείται κάθε φορά που γίνεται έλεγχος για την εύρεση της πλησιέστερης και καταλληλότερης θέσης στο X/Σ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. Αποτελέσματα του αλγόριθμου ελαχιστοποίησης μη παραγωγικών κινήσεων στο Χ/Σ.

Επανάληψη	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Επανάληψη	Σενάριο 1	Σενάριο 2
1	244	306	51	257	333
2	238	322	52	221	317
3	258	325	53	243	325
4	227	323	54	242	316
5	246	316	55	226	321
6	237	303	56	236	312
7	248	319	57	261	337
8	246	335	58	238	313
9	246	314	59	233	323
10	248	326	60	234	305
11	238	345	61	254	329
12	266	323	62	248	328
13	248	317	63	240	329
14	259	324	64	234	346
15	244	310	65	224	324
16	255	296	66	247	310
17	236	314	67	230	319
18	254	320	68	228	301
19	250	321	69	232	313
20	226	321	70	244	314
21	243	327	71	230	322
22	216	325	72	234	323
23	256	328	73	237	325
24	244	316	74	234	327
25	241	311	75	242	320
26	232	314	76	251	321
27	234	321	77	233	315
28	249	336	78	245	330
29	258	307	79	237	313
30	236	325	80	234	322
31	233	299	81	249	310
32	256	318	82	242	305
33	240	326	83	239	314
34	234	311	84	254	328
35	246	322	85	250	306
36	243	331	86	255	324
37	243	334	87	237	326
38	255	316	88	254	327
39	246	305	89	258	332
40	252	333	90	247	320
41	250	299	91	248	310
42	239	306	92	245	328
43	238	320	93	251	336
44	241	333	94	222	316
45	247	334	95	229	341
46	242	311	96	253	331
47	254	317	97	263	328
48	229	324	98	256	324
49	232	317	99	244	307
50	242	330	100	240	318

Για την αξιολόγηση του αλγόριθμου αυτού δημιουργήθηκε λογισμικό (βλ. Παράρτημα IV) που προσομοιώνει τη διαδικασία παράδοσης σε επίπεδο Ε/Κ και συγκρίνει δύο κανόνες λειτουργίας. Το λογισμικό προσομοιώνει έναν τομέα του Χ/Σ που είναι αρχικά γεμάτος με Ε/Κ και δημιουργείται λίστα με τους χρόνους παράδοσης των Ε/Κ (ραντεβού) που επιλέγονται με τυχαίο τρόπο. Στη συνέχεια παραλαμβάνονται τα Ε/Κ σύμφωνα με τα ραντεβού. Κατά τη διάρκεια παραλαβής μπορεί να δημιουργηθούν εντολές μετακίνησης από το Χ/Σ στο Χ/Σ (σκάντζες). Στο πρώτο σενάριο οι εντολές μετακίνησης (σκάντζες) εξυπηρετούνται σύμφωνα με τον παραπάνω κανόνα, ενώ στο δεύτερο σενάριο ακολουθείται η συνήθης πρακτική δηλαδή, η μετακίνηση γίνεται στην πιο κοντινή ελεύθερη θέση.

Έτσι, με τη χρήση αυτού του κανόνα και κατά την παράδοση 800 Ε/Κ δημιουργούνται κατά μέσο όρο 242,7 μη παραγωγικές κινήσεις με τυπική απόκλιση 10,13 ενώ χωρίς τον κανόνα αυτό δημιουργούνται κατά μέσο όρο 320,4 με τυπική απόκλιση 10,11.

Τα αποτελέσματα από την προσομοίωση της παράδοσης Ε/Κ δείχνουν ότι με την εφαρμογή αυτού του κανόνα υπάρχει μείωση στο συνολικό αριθμό των μη παραγωγικών κινήσεων της τάξης του 29,93%.

**Συμπερασματικά**, αποδεικνύεται η αναγκαιότητα ανάπτυξης και ενσωμάτωσης νέων αλγορίθμων στα συστήματα διαχείρισης ΣΕΜΠΟ. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι που προτάθηκαν επιβεβαιώνεται ότι βελτιώνουν την επίδοση της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής σε επιχειρησιακό επίπεδο, ολοκληρώνοντας την προσπάθεια αυτής της βελτιστοποίησης αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα σε όλα τα επίπεδα λήψης αποφάσεων. Με τη χρήση των εργαλείων που αναπτύχθηκαν και εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία είναι δυνατή η επίλυση των περισσότερων προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές των σταθμών εμπορευματοκιβωτίων.



## **Κεφάλαιο 7**

### **ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

<b>7.1. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>141</b>
<b>7.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....</b>	<b>143</b>



*“It is possible to fail in many ways...  
while to succeed is possible  
only in one way”.*

Aristotle

### **7.1. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα Ε/Κ εμφανίστηκαν ως μέσο συσκευασίας και μεταφοράς προϊόντων, στις θαλάσσιες μεταφορές, τη δεκαετία του 1960. Τα πλεονεκτήματά τους οδήγησαν στη ραγδαία εξάπλωση της χρήσης τους που, σε ορισμένα ανεπτυγμένα κράτη, πλησιάζει το 100% της θαλάσσιας μεταφοράς εμπορευμάτων. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα το μετασχηματισμό των εμπορικών λιμανιών σε ΣΕΜΠΟ, με συνέπεια μια σειρά επιχειρησιακών και επιχειρηματικών προκλήσεων, οι οποίες δεν αναμένεται να πάψουν να προβάλλουν επιτακτικές, όσο τα σχετικά μεγέθη συνεχίζουν την ανοδική τους πορεία.

Από την περιγραφή των διαδικασιών των ΣΕΜΠΟ, διαφαίνεται ότι, τόσο η λειτουργία τους, όσο και η προσπάθεια βελτιστοποίησής τους, χαρακτηρίζονται από εξαιρετική πολυπλοκότητα, η οποία περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, δεδομένου του τεράστιου όγκου των υπό διαχείριση πληροφοριών. Με στόχο τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και την αύξηση της αποδοτικότητάς τους, έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης διαφόρων μεθόδων λήψης αποφάσεων.

Σημαντικό μειονέκτημα των μέχρι σήμερα προσπαθειών είναι ότι αναφέρονται σε μεμονωμένες λειτουργίες, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Ελάχιστες από αυτές συμπεριλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις, οι οποίες αναφέρονται είτε στο στρατηγικό (strategic), είτε στο τακτικό (tactical), είτε στο επιχειρησιακό (operational) επίπεδο, αδιαφορώντας ότι ο χαρακτήρας πολλών λειτουργιών μπορεί να είναι ταυτόχρονα, τόσο στρατηγικός, όσο και τακτικός ή και επιχειρησιακός.

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιχειρήθηκε να αντιμετωπιστεί αυτό ακριβώς το πρόβλημα, θεωρώντας ότι η επεξεργασία αποσπασματικών προσεγγίσεων ελά-

χιστα έχει πια να προσφέρει στην απαιτούμενη παραπέρα βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ και την αύξηση της αποδοτικότητάς τους. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα μεθοδολογικό ιεραρχικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων στους ΣΕΜΠΟ, που ακολουθεί τη φυσική ροή της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε συνάρτηση με τις αντίστοιχες επιμέρους λειτουργίες/δράσεις, όπως αυτές χαρακτηρίζονται, ταξινομούνται και αλληλεπιδρούν σε στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο.

Έτσι, και προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο η προτεινόμενη χρήση ενός μεθοδολογικού ιεραρχικού πλαισίου αποφάσεων μπορεί πράγματι να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερη βελτιστοποίηση των λειτουργιών των ΣΕΜΠΟ, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή μελετήθηκε, μέσα σ' αυτό το πλαίσιο, η λειτουργία παράδοσης/παραλαβής σε ΣΕΜΠΟ λιμανιών που χρησιμοποιούν άμεσο σύστημα μεταφοράς και στοιβασίας Ε/Κ (straddle carrier direct system).

Με τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης που αναπτύξαμε, δείχθηκε ότι η ημερήσια δυναμικότητα παράδοσης/παραλαβής των ΣΕΜΠΟ είναι συνάρτηση πολλών αλληλεξαρτώμενων μεταβλητών, όπως του διαθέσιμου εξοπλισμού, του τρόπου στοιβασίας, των διαθέσιμων εισόδων και εξόδων, των ωρών λειτουργίας, του ανθρώπινου δυναμικού, της προσέλευσης φορτηγών κ.ά., στις οποίες δυνητικά μπορεί να απευθυνθούν οι προσπάθειες βελτιστοποίησης της συγκεκριμένης λειτουργίας. Η αλλαγή αρκετών από αυτές τις μεταβλητές, στο πλαίσιο μιας προσπάθειας βελτιστοποίησης, προϋποθέτει την εμπλοκή των «πόρων» του συστήματος, διαταράσσοντας σημαντικά τη σχέση κόστους-οφέλους. Αντίθετα, παρεμβάσεις, στρατηγικού κυρίως επιπέδου, που βελτιώνουν στοχαστικές παραμέτρους των μαθηματικών μοντέλων που τις περιγράφουν, είτε μόνες, είτε σε συνδυασμό με τις προηγούμενες, είναι δυνατό να επιτύχουν ικανού βαθμού βελτιστοποίηση του συστήματος με πολύ χαμηλό κόστος.

Ο χρονικός προγραμματισμός των αφίξεων των φορτηγών αντιπροσωπεύει μια τέτοια στοχαστική παράμετρο που επηρεάζει σημαντικά την προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας παράδοσης/παραλαβής των ΣΕΜΠΟ, επειδή επιτυγχάνει εξομάλυνση της ζήτησης με αποτέλεσμα:

- Την ελαχιστοποίηση της αναμονής των φορτηγών και την καλύτερη κατανομή του εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού και, κατά συνέπεια, τη μείωση του κόστους λειτουργίας.
- Την ελαχιστοποίηση των ουρών αναμονής των φορτηγών.
- Τη μείωση των προβλημάτων συμφόρησης στο οδικό δίκτυο πέριξ του λιμένος, τη μείωση των ρύπων και τη βελτίωση των συνθηκών κυκλοφορίας.
- Την αύξηση της ημερήσιας παράδοσης/παραλαβής, χωρίς αύξηση των πόρων.



- Τη μείωση του μέσου ύψους στο χώρο στοιβασίας (δείκτης πληρότητας).
- Σταθερό και προβλέψιμο χρόνο παράδοσης των Ε/Κ στους μεταφορείς που οδηγεί σε αύξηση της αξιοπιστίας των ΣΕΜΠΟ.

Συμπερασματικά ο χρονικός προγραμματισμός των αφίξεων φορτηγών έδειξε ότι: Η χρήση AS στους ΣΕΜΠΟ βελτιώνει την αποδοτικότητά τους ακόμη και αν δεν έχει προηγηθεί βελτιστοποίηση του AS. Για τη δημιουργία AS για ΣΕΜΠΟ μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κανόνες που έχουν περιγραφεί στο χώρο των υπηρεσιών υγείας, αφού ληφθούν όμως υπόψη οι σημαντικές ιδιαιτερότητες και διαφορές του συγκεκριμένου χώρου. Ο καλύτερος κανόνας δημιουργίας AS για ΣΕΜΠΟ είναι εκείνος που προβλέπει ραντεβού των φορτηγών σε ξεχωριστά block του ενός φορτηγού σε μεταβλητά διαστήματα. Λαμβανομένων υπόψη των εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν τη συμμόρφωση των φορτηγών, η χρήση και η κατάλληλη επιλογή χρονικού παράθυρου, κατά τη δημιουργία AS για ΣΕΜΠΟ, προσφέρει σημαντικό πλεονέκτημα στην αποδοτικότητα του ΣΕΜΠΟ, ιδιαίτερα στο βαθμό που αυτή εξαρτάται από την ικανοποίηση των πελατών του.

Τέλος, αναπτύχθηκαν ευρετικοί αλγόριθμοι που βελτιώνουν σε τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο συγκεκριμένες λειτουργίες που δεν έχουν αναφερθεί στην προσιτή σε μας βιβλιογραφία, και που εύκολα μπορούν να ενταχθούν σε κάποιο από τα υπάρχοντα υποσυστήματα ενός πληροφοριακού συστήματος διαχείρισης ΣΕΜΠΟ.

## 7.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Εκτός από την ανάγκη για έρευνα σε συστήματα «πραγματικού χρόνου» και ολοκληρωμένων βέλτιστων μεθόδων που ακολουθούν τη φυσική ιεραρχία λήψης των αποφάσεων (στρατηγικό, τακτικό και επιχειρησιακό επίπεδο) πρόσθετα αντικείμενα μπορεί να θεωρηθούν σημαντικά. Η εφαρμογή του πλαισίου λήψης αποφάσεων που παρουσιάστηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της δυναμικότητας Τερματικών Σταθμών Εμπορευματοκιβωτίων λιμένων στο σύγχρονο περιβάλλον ρίσκου και αβεβαιότητας, όπου η επιθυμητή απόδοση θα πρέπει να συνδυασθεί με την υιοθέτηση πολιτικών ελέγχων ασφαλείας, που προβλέπονται από τις διεθνείς συμφωνίες και πρακτικές. Η επέκταση υφιστάμενων μοντέλων προσομοίωσης και η επίλυση του μοντέλου προσομοίωσης που θα προκύψει, χρησιμοποιώντας τα πραγματικά δεδομένα ενός ελληνικού λιμένα, θα οδηγήσει σε συγκεκριμένα συμπεράσματα που μπορούν να αξιοποιηθούν από τις Διοικήσεις των λιμένων στη χάραξη της μελλοντικής στρατηγικής τους.



## ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### Model R/D Performance Optimization

**Analyst:** Dimitrios Tsitsamis  
**Filename:** C:\DATA\GAtemodel appointment system No show\_ADO\_rule 6 change every 15c with replication control RULE 7 with notes.doe  
**Report Date:** 1/7/2009 3:01:41 PM  
**Replications:** 100  
**Start Date/Time:** 8/2/2001 1:24:32 PM  
**Warm Up Period:** 0.0  
**Replication Length:** infinite  
**Base Time Units:** Minutes  
**Init Stats Between Replications:** True  
**Init Sytem Between Replications:** True  
**Model Description:** None

---

**Module** ID: "Arrivals 2"  
**Type:** Arrivals  
**From template:** Elements  
**Module Description:** Generates the truck arrivals based on the variable TimeBetweenArrivals  
**Operands:**

---

**Module** "Assign Entry Time A" ID: "Assign 22"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assign Entry Time A  
Assigns the time that the truck occupied the lot  
**Operands:** Name:

---

**Module** "Assign Animation Picture 3" ID: "Assign 9"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assign the time that the truck is ready to leave the parking  
**Operands:** Name:

---

**Module** "Assign Animation Picture2" ID: "Assign 8"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assign the time that the straddle starts to service the truck  
**Operands:**

Name:	Assign Animation Picture2
-------	---------------------------

**Module** "Change Batch" ID: "Decide 14"  
**Type:** Decide  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Decides if the current period is a period in which the high or low value of batch will be used  
**Operands:**

Column:	1
If:	Expression
Is:	>=
Name:	Change Batch
Named:	Attribute 1
Named:	Entity 1
Named:	PERIOD
Percent True	50
Row:	1
Type:	If
Value:	AMOD (PERIOD ,relax) == 0

**Module** "Create 1" ID: "Create 1"  
**Type:** Create  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Creates entites that control the block size of each appointment

**Operands:**

Entities per Arrival:	1
Entity Type:	Entity 1
Expression:	1
First Creation:	0.0
Max Arrivals:	49
Name:	Create 1
Schedule Name:	Schedule 1
Type:	Constant
Units:	Minutes
Value:	15

**Module** "DEPARTURE" ID: "Dispose 6"

**Type:** Dispose

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** DEPARTURE

**Operands:**

Name:	DEPARTURE
Record Entity Statistics	Yes

**Module** "Decide 5" ID: "Decide 5"

**Type:** Decide

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Decide based on the attribute PARKING NO from which parking lot (A or B) to release the resource that was seized during the arrival of the truck

**Operands:**

Column:	1
If:	Attribute
Is:	==
Name:	Decide 5
Named:	ParkingNO
Named:	Entity 1
Named:	Variable 1
Percent True	50
Row:	1
Type:	If
Value:	1

**Module** "Decide Restow A" ID: "Decide 8"

**Type:** Decide

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Decide based on an expression when to generate a restow

**Operands:**

Column:	1
If:	Entity Type
Is:	>=
Name:	Decide Restow A
Named:	Attribute 1
Named:	Entity 1
Named:	Variable 1
Percent True	$100 - ((UStacking\_Index - 1) * 100)$
Row:	1
Type:	With
Value:	1

**Module** "Exit Gate Processing" ID: "Process 10"  
**Type:** Process  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Exit Gate Processing  
 uses the exit gate resource

**Operands:**

Action:	SDR
Allocation:	Wait
Delay Type:	Expression
Expression:	GAMM( uGateOutDelay_b,UGateOutDelay_a )
Maximum:	1.5
Minimum:	.5
Name:	Exit Gate Processing
Priority:	2
Report Statistics	Yes
Std Dev:	.2
Type:	Standard
Units:	Seconds
Value	UGateOutDelay_a

**Module** "GATE IN A" ID: "Process 2"  
**Type:** Process  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Process GATE IN A  
 This process uses the gate A resource

**Operands:**

Action:	SDR
Allocation:	Wait
Delay Type:	Expression
Expression:	GAMM( uGateInDelay_b,uGateInDelay_a)
Maximum:	60
Minimum:	25
Name:	GATE IN A
Priority:	2
Report Statistics	Yes
Std Dev:	uGateInStdDev
Type:	Standard
Units:	Seconds
Value	uGateInDelay

**Module** "GATE IN B" ID: "Process 13"  
**Type:** Process  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Process GATE IN A  
 This process uses the gate b resource

**Operands:**

Action:	SDR
Allocation:	Wait
Delay Type:	Expression
Expression:	GAMM( uGateInDelay_b,uGateInDelay_a)
Maximum:	60
Minimum:	25
Name:	GATE IN B
Priority:	2
Report Statistics	Yes
Std Dev:	uGateInStdDev
Type:	Standard
Units:	Seconds
Value	uGateInDelay

**Module** "Gate 1" ID: "Assign 4"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assigment of the attribute parking No  
**Operands:**

Name:	Gate 1
-------	--------

**Module** "Gate Open" ID: "Decide 2"  
**Type:** Decide  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Decides if the truck will be serviced  
 The desision is based on the Gate Open variable  
 which is the time ( in minutes) that the gate is open

**Operands:**

Column:	1
If:	Attribute
Is:	<
Name:	Gate Open
Named:	Entity.CreateTime
Named:	Entity 1
Named:	Variable 1
Percent True	50
Row:	1
Type:	If
Value:	uGate Closing Time

**Module** "No Show" ID: "Decide 13"  
**Type:** Decide  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Decides by chance if a No Show will be generated

**Operands:**

Column:	1
If:	Entity Type
Is:	>=
Name:	No Show
Named:	Attribute 1
Named:	Entity 1
Named:	Variable 1
Percent True	uNOSHOW
Row:	1
Type:	With
Value:	1

**Module** "PICK GATE" ID: "Decide 1"  
**Type:** Decide  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Decides to which gate the truck must be routed. The decision is based by chance on the value of the variable PICK GATE

**Operands:**

Column:	1
If:	Entity Type
Is:	>=
Name:	PICK GATE
Named:	Attribute 1
Named:	Entity 1
Named:	Variable 1
Percent True	uGate_percent
Row:	1
Type:	With
Value:	1

**Module** "ReadWrite 4" ID: "ReadWrite 4"  
**Type:** ReadWrite  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** stats : Write to external file

**Operands:**

Arena File Name:	TruckServicetime
Name:	ReadWrite 4
Overriding File Format:	
Recordset ID:	Recordset 1
Type:	WriteFile



---

**Module** "Record Restows A" ID: "Record 14"

**Type:** Record

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Record Restows A

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Counter Name:	Restows A
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Record Restows A
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Record Restows A
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Count
Value:	1

---

**Module** "Record IN OUT Time" ID: "Record 10"

**Type:** Record

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Record IN OUT Time

**Operands:**

Attribute Name:	GateEntryTime
Counter Name:	Record IN OUT Time
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Record IN OUT Time
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	GateIN GateOut Time
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Interval
Value:	1

---

**Module** "Record Straddle service" ID: "Record 2"

**Type:** Record

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Recored the Straddle service time

**Operands:**

Attribute Name:	straddle time
Counter Name:	Record Straddle service
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Record Straddle service
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Straddle Service time
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Interval

**Module** "Record Total truck service time" ID: "Record 11"  
**Type:** Record  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Record Total truck service time

**Operands:**

Attribute Name:	TimeAtParking
Counter Name:	Record Total truck service time
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Record Total truck service time
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Record Total truck service time
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Interval
Value:	1

**Module** "Release Straddle" ID: "Release 1"  
**Type:** Release  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Release Straddle  
**Operands:**

Name:	Release Straddle
-------	------------------

**Module** "Route Pick Container" ID: "Route 10"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Transfer time of straddle from current position to yard position  
 Distribution :GAMM( uStraddle\_yard\_b ,uStraddle\_yard\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Pick Container
Route Time:	0.5 + GAMM(uStraddle_Parking_b ,uStraddle_Parking_a )
Station Name:	Station4
Units:	Minutes

**Module** "Route Pick Container B" ID: "Route 7"

**Type:** Route

**From template:** AdvancedTransfer

**Module Description:** Straddle Route to parking

Distribution:

GAMM(uStraddle\_Parking\_b ,uStraddle\_Parking\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Pick Container B
Route Time:	GAMM(uStraddle_Parking_b ,uStraddle_Parking_a )
Station Name:	Station B4
Units:	Minutes

**Module** "Route Picks Container" ID: "Route 2"

**Type:** Route

**From template:** AdvancedTransfer

**Module Description:** route to parking

Distribution: GAMM(uStraddle\_Parking\_b ,uStraddle\_Parking\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Picks Container
Route Time:	0.5+ GAMM(uStraddle_Parking_b ,uStraddle_Parking_a )
Station Name:	Station4
Units:	Minutes

**Module** "Route Picks Container B" ID: "Route 12"

**Type:** Route

**From template:** AdvancedTransfer

**Module Description:** Straddle Route to parking

Distribution:

GAMM(uStraddle\_Parking\_b ,uStraddle\_Parking\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Picks Container B
Route Time:	GAMM(uStraddle_Parking_b ,uStraddle_Parking_a )
Station Name:	Station B4
Units:	Minutes

**Module** "Route Restow Container" ID: "Route 1"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Transfer time of straddle from current position to yard position  
 Distribution :GAMM( uStraddle\_yard\_b ,uStraddle\_yard\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Restow Container
Route Time:	GAMM( uStraddle_yard_b , uStraddle_yard_a)
Station Name:	Station3
Units:	Minutes

**Module** "Route Restow Container B" ID: "Route 6"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Transfer time of straddle from current position to yard position  
 Distribution :GAMM(uStraddle\_Parking\_b ,uStraddle\_Parking\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route Restow Container B
Route Time:	GAMM( uStraddle_yard_b , uStraddle_yard_a)
Station Name:	Station B3
Units:	Minutes

**Module** "Route To Gate Area" ID: "Route 4"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Route To EXIT Gate  
 Distribution: GAMM( uTruck\_exit\_b ,uTruck\_exit\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route To Gate Area
Route Time:	GAMM( uTruck_exit_b ,uTruck_exit_a )
Station Name:	Exit_Gate_Station
Units:	Minutes

**Module** "Route To Gate Area B" ID: "Route 9"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Truck Route too EXIT Gate  
 Distr: GAMM( uTruck\_exit\_b ,uTruck\_exit\_a )

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route To Gate Area B
Route Time:	GAMM( uTruck_exit_b ,uTruck_exit_a )
Station Name:	Exit_Gate_Station
Units:	Minutes

**Module** "Route To Parking Area" ID: "Route 3"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Truck Route to Parking Area  
 GAMM(uTruck\_yard\_b,uTruck\_yard\_a)

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route To Parking Area
Route Time:	GAMM(uTruck_yard_b,uTruck_yard_a)
Station Name:	Station1
Units:	Minutes

**Module** "Route To Parking Area B" ID: "Route 8"  
**Type:** Route  
**From template:** AdvancedTransfer  
**Module Description:** Truck Route to parking B  
 Distribution: GAMM(uTruck\_yard2\_b,uTruck\_yard2\_a)

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Destination Type:	Station
Expression:	
Name:	Route To Parking Area B
Route Time:	GAMM(uTruck_yard2_b,uTruck_yard2_a)
Station Name:	Station B1
Units:	Minutes

**Module** "Seize Straddle" ID: "Seize 1"  
**Type:** Seize  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Seize Straddle  
 Wait for Available Straddle

**Operands:**

Allocation:	VA
Attribute:	Attribute 1
Expression:	
Name:	Seize Straddle
Priority:	2
Queue Name:	Seize Straddle.Queue
Queue Type:	Queue
Set Index:	1
Set Name:	Seize Straddle Set.Queue

**Module** "Seize Straddle B" ID: "Seize 2"  
**Type:** Seize  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Wait for Available Straddle

**Operands:**

Allocation:	VA
Attribute:	Attribute 1
Expression:	
Name:	Seize Straddle B
Priority:	2
Queue Name:	Seize Straddle B.Queue
Queue Type:	Queue
Set Index:	1
Set Name:	Seize Straddle B Set.Queue

**Module** "Stats" ID: "Assign 17"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Stats

**Operands:**

Name:	Stats
-------	-------

**Module** "TRUCKPICKED CONTAINER" ID: "Signal 3"  
**Type:** Signal  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** TRUCKPICKED CONTAINER

**Operands:**

Limit:	1
Name:	TRUCKPICKED CONTAINER
Signal Value:	1

---

**Module** "Tally No Show" ID: "Record 15"

**Type:** Record

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Records stats for Tally No Show

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Counter Name:	Tally No Show
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Tally No Show
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Tally No Show
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Count
Value:	1

---

**Module** "Tally Rejected Trucks" ID: "Record 1"

**Type:** Record

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Records stats for Rejected trucks

**Operands:**

Attribute Name:	Attribute 1
Counter Name:	Tally Rejected Trucks
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Tally Rejected Trucks
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Tally Rejected Trucks
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Count
Value:	1

---

**Module** "Total Containers Serviced" ID: "Assign 18"

**Type:** Assign

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Total Containers Serviced

**Operands:**

Name:	Total Containers Serviced
-------	---------------------------

---

**Module** "Truck At Parking" ID: "Assign 15"

**Type:** Assign

**From template:** BasicProcess

**Module Description:** Assigns the time that the truck is at the Parking

**Operands:**

Name:	Truck At Parking
-------	------------------

---



**Module** "Truck Departure Delay" ID: "Delay 1"  
**Type:** Delay  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Truck Departure Delay  
 GAMM( uTruck\_delay\_b, uTruck\_delay\_a)

**Operands:**

Allocation:	Transfer
Delay Time:	GAMM( uTruck_delay_b, uTruck_delay_a)
Name:	Truck Departure Delay
Units:	Minutes

**Module** "Truck Turn Arround Time" ID: "Record 7"  
**Type:** Record  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Truck Turn Arround Time

**Operands:**

Attribute Name:	PortArrivalTime
Counter Name:	Truck Turn Arround Time
Counter Set Name:	Counter Set 1
Name:	Truck Turn Arround Time
Record into Set	No
Set Index:	1
Tally Name:	Port IN Gate Out
Tally Set Name:	Tally Set 1
Type:	Interval
Value:	1

**Module** "Tun Arround Time" ID: "Assign 31"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Turn Arround Time

**Operands:**

Name:	Tun Arround Time
-------	------------------

**Module** "Wait For Parking Spot" ID: "Seize 3"  
**Type:** Seize  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Seize module for the parking lot resource

**Operands:**

Allocation:	Wait
Attribute:	Attribute 1
Expression:	
Name:	Wait For Parking Spot
Priority:	2
Queue Name:	Wait For Parking Spot.Queue
Queue Type:	Queue
Set Index:	1
Set Name:	Wait For Parking Spot Set.Queue



---

**Module** "Write Turn Around Time ADO" ID: "ReadWrite 10"  
**Type:** ReadWrite  
**From template:** AdvancedProcess  
**Module Description:** Write Turn Around Time ADO database  
**Operands:**

Arena File Name:	turnaroundado
Name:	Write Turn Around Time ADO
Overriding File Format:	
Record Number:	
Recordset ID:	Recordset 1
Type:	WriteFile

---

**Module** "batch high" ID: "Assign 27"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assigns the HIGH value of batch  
**Operands:**

Name:	batch high
-------	------------

---

**Module** "batch low" ID: "Assign 29"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Assigns the LOW value of batch  
**Operands:**

Name:	batch low
-------	-----------

---

**Module** "period ass" ID: "Assign 30"  
**Type:** Assign  
**From template:** BasicProcess  
**Module Description:** Increase the value of variable Period  
The variable period keeps the value of the period that the simulation model is at any time.  
**Operands:**

Name:	period assign
-------	---------------



**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ**

ΔΕΙΓΜΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

3:56:05μμ

### Category Overview

Ιανουάριος 7, 2009

*Values Across All Replications*

#### Gate Performance Optimization

Replications: 100    Time Units: Minutes

#### Key Performance Indicators

System	Average
Number Out	396

3:56:05μμ

Ιανουάριος 7, 2009

Values Across All Replications

**Gate Performance Optimization**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

**Entity**

**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Other**

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	50.0000	0.00	50.0000	50.0000		
Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Entity 1	50.0000	0.00	50.0000	50.0000		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0000

**Gate Performance Optimization**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

**Process**

**Time per Entity**

Wait Time Per Entity		Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing		0.9067	0.01	0.8289	0.9915	0.1981	4.7330
GATE IN A		0.6554	0.00	0.6234	0.7016	0.1003	2.2625
Total Time Per Entity		Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing		0.9067	0.01	0.8289	0.9915	0.1981	4.7330
GATE IN A		0.6554	0.00	0.6234	0.7016	0.1003	2.2625

**Accumulated Time**

Accum Wait Time		Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Exit Gate Processing		299.03	2.07	273.55	327.20
GATE IN A		216.13	0.99	205.51	230.82
GATE IN B		0.00	0.00	0.00	0.00



**Other**

3:56:05μμ

Ιανουάριος 7, 2009

Values Across All Replications

**Gate Performance Optimization**

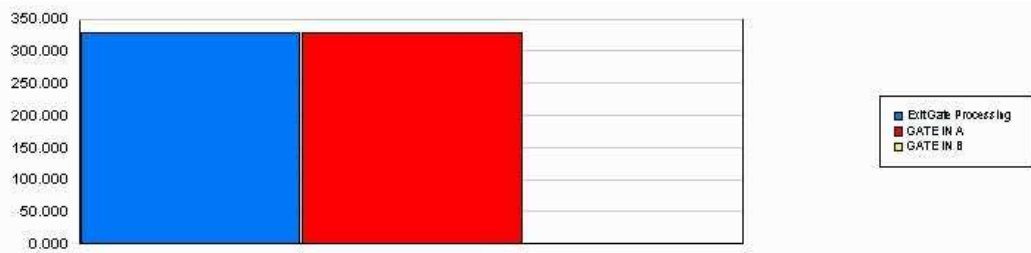
**Category Overview**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Process**

**Other**

Number In	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Exit Gate Processing	329.78	0.13	329.00	331.00
GATE IN A	329.78	0.13	329.00	331.00
GATE IN B	0.00	0.00	0.00	0.00



Number Out	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Exit Gate Processing	329.78	0.13	329.00	331.00
GATE IN A	329.78	0.13	329.00	331.00
GATE IN B	0.00	0.00	0.00	0.00

3:56:05μμ

Ιανουάριος 7, 2009

Values Across All Replications

**Gate Performance Optimization**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

**Queue**

**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing.Queue	0.1667	0.01	0.1099	0.2480	0.00	3.6866
GATE IN A.Queue	0.2111	0.00	0.1945	0.2294	0.00	1.5820
Seize Straddle.Queue	12.3389	1.20	3.5887	28.1336	0.00	56.6634
Wait For Parking Spot.Queue	1.0672	0.48	0.00	10.3813	0.00	46.7394

**Other**

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing.Queue	0.07556662	0.00	0.05020615	0.1137	0.00	6.0000
GATE IN A.Queue	0.0956	0.00	0.08727246	0.1048	0.00	1.0000
GATE IN B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Straddle B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Straddle.Queue	5.5597	0.53	1.6399	12.2884	0.00	18.0000
Wait For Parking Spot B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait For Parking Spot.Queue	0.4712	0.21	0.00	4.6943	0.00	22.0000



3:56:05μμ

Ιανουάριος 7, 2009

Values Across All Replications

**Gate Performance Optimization**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

**Resource**

**Usage**

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate	0.3353	0.00	0.3031	0.3550	0.00	1.0000
GATEMAN	0.2013	0.00	0.1858	0.2158	0.00	1.0000
GATEMAN B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PARKING POS	0.5680	0.03	0.3659	0.9007	0.00	1.0000
PARKING POS B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
StraddlePool 1	0.9430	0.00	0.8781	0.9851	0.00	1.0000
StraddlePool 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate	0.3353	0.00	0.3031	0.3550	0.00	1.0000
GATEMAN	0.2013	0.00	0.1858	0.2158	0.00	1.0000
GATEMAN B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PARKING POS	11.3599	0.52	7.3185	18.0147	0.00	20.0000
PARKING POS B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
StraddlePool 1	1.8861	0.01	1.7563	1.9701	0.00	2.0000
StraddlePool 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
GATEMAN	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
GATEMAN B	1.0000	0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
PARKING POS	20.0000	0.00	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
PARKING POS B	20.0000	0.00	20.0000	20.0000	20.0000	20.0000
StraddlePool 1	2.0000	0.00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
StraddlePool 2	2.0000	0.00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000

**Gate Performance Optimization**

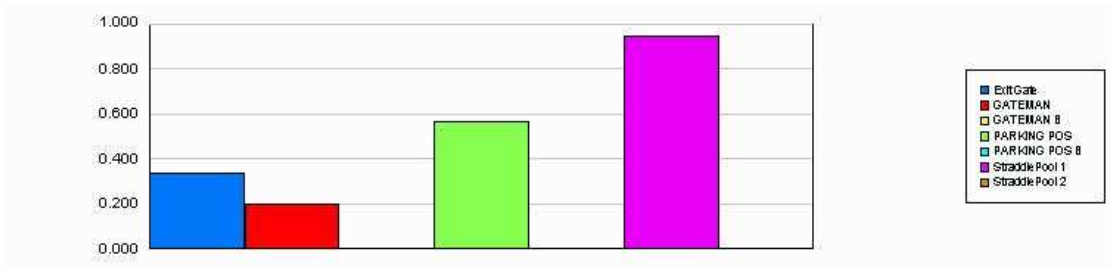
Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

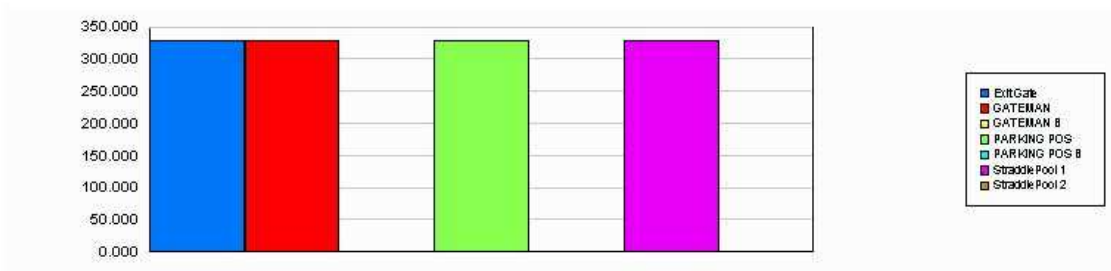
**Resource**

**Usage**

Scheduled Utilization	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Exit Gate	0.3353	0.00	0.3031	0.3550
GATEMAN	0.2013	0.00	0.1858	0.2158
GATEMAN B	0.00	0.00	0.00	0.00
PARKING POS	0.5680	0.03	0.3659	0.9007
PARKING POS B	0.00	0.00	0.00	0.00
StraddlePool 1	0.9430	0.00	0.8781	0.9851
StraddlePool 2	0.00	0.00	0.00	0.00



Total Number Seized	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Exit Gate	329.78	0.13	329.00	331.00
GATEMAN	329.78	0.13	329.00	331.00
GATEMAN B	0.00	0.00	0.00	0.00
PARKING POS	329.78	0.13	329.00	331.00
PARKING POS B	0.00	0.00	0.00	0.00
StraddlePool 1	329.78	0.13	329.00	331.00
StraddlePool 2	0.00	0.00	0.00	0.00



3:56:05μμ

Ιανουάριος 7, 2009

Values Across All Replications

**Gate Performance Optimization**

**Category Overview**

Replications: 100 Time Units: Minutes

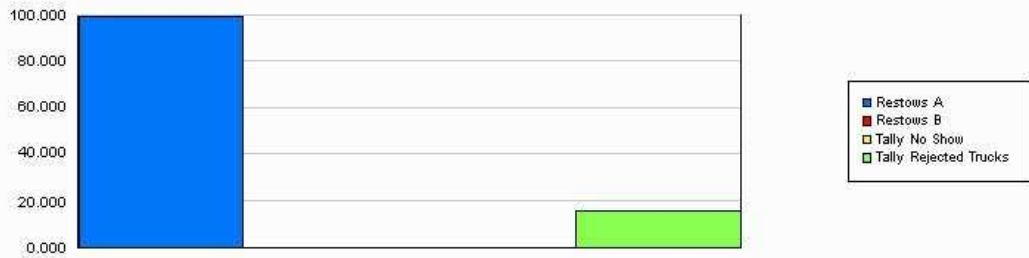
**User Specified**

**Tally**

Interval	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
GateIN GateOut Time	25.1422	1.23	16.0161	41.3433	4.4163	75.5027
Port IN Gate Out	26.8648	1.63	16.7085	51.4294	4.8179	93.5050
Record Total truck service time	16.5037	1.23	7.5547	32.6908	0.5012	68.3681
Straddle Service time	4.1648	0.03	3.8435	4.6258	0.5002	29.3754

**Counter**

Count	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average
Restows A	99.23	1.43	83.0000	122.00
Restows B	0.00	0.00	0.00	0.00
Tally No Show	0.00	0.00	0.00	0.00
Tally Rejected Trucks	16.0000	0.00	16.0000	16.0000



**Time Persistent**

Time Persistent	Average	HalfWidth	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Parking Utilization	0.3105	0.00	0.2700	0.3355	0.00	0.3777
Total Time	25.9547	1.58	16.2733	49.8548	1.0000	93.5050
Util	0.9430	0.00	0.8781	0.9851	0.00	1.0000

**Gate Performance Optimization**

Replications: 100 Time Units: Minutes

**Category Overview**

**Queue**

**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing.Queue	0.1667	0.01	0.1099	0.2480	0.00	3.6866
GATE IN A.Queue	0.2111	0.00	0.1945	0.2294	0.00	1.5820
Seize Straddle.Queue	12.3389	1.20	3.5887	28.1336	0.00	56.6634
Wait For Parking Spot.Queue	1.0672	0.48	0.00	10.3813	0.00	46.7394

**Other**

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Exit Gate Processing.Queue	0.07556662	0.00	0.05020615	0.1137	0.00	6.0000
GATE IN A.Queue	0.0956	0.00	0.08727246	0.1048	0.00	1.0000
GATE IN B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Straddle B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize Straddle.Queue	5.5597	0.53	1.6399	12.2884	0.00	18.0000
Wait For Parking Spot B.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait For Parking Spot.Queue	0.4712	0.21	0.00	4.6943	0.00	22.0000

## **Ο ΠΗΓΑΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΜΕΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕ- ΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ**

```
unit Unit2;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, math, Contnrs, StrUtils;

const
  stackheight = 2;
  Rows      = 15;
  Cols      = 25;
  ImportContainers = 250 ;

type
  Stack      = array [1..stackheight] of string;
  Yardblock = array [1..rows, 1..cols] of stack;

  sumtype = record
    Value: Integer;
    idx: Integer;
    Move: Boolean;
  end;

  Move = record
    S: Integer;
    D: Integer;
    Quantity: Integer;
    Cost: Integer;
  end;

  Onodetype = record
    TotalMoves: Integer;
    MovedUntilNow: Integer;
    Index: Integer;
  end;

  Dnodetype = record
    TotalCont: Integer;
    Index: Integer;
  end;

  // Ground slot of the yard bay
  Node = record
    NodeNum: Integer;
    ContCount: Integer;
    Max: Integer;
  end;

  // The class definition
  TNODES = class
  public
  private
    // The data fields of this new class
    Value: Integer;
    idx: Integer;
    Move: Boolean;
```

```

// Properties to read these data values
property Val: Integer read Value;
property ID: Integer read IDX;

// Constructor
constructor Create(const Value: Integer; const idx: Integer;
  const Move: Boolean);
end;

TForm1 = class(TForm)
  Memo1: TMemo;
  Memo2: TMemo;
  ListBox1: TListBox;
  Memo4: TMemo;
  lbs: TListBox;
  lbs1: TListBox;
  Memo3: TMemo;
  Start: TButton;
  Cost: TButton;
  ListBox2: TListBox;
  Statistics: TLabel;
  Label1: TLabel;

  procedure Initialize;
  procedure ColSums();
  function TotalContainers(): Integer;
  procedure ShowListContents;
  procedure Containers();
  function GetNextSource(): Integer;
  function GetNextDestination(CurrS, CurrD, Step: Integer): Integer;
  procedure StartClick(Sender: TObject);
  procedure CostClick(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure RefreshListbox;
  procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);

private
  { Private declarations }
  // SourceList:Tlist;
  // SourceStack:Tstack;
public
  TotalEmpty: Integer;
  ColsEmpty: Integer;
  Counts: Integer;
  myList: TList;

  // RowsNeeded:integer;
  { Public declarations }
  Testblock: Yardblock; //HOLDS ALL YARD DATA
  sumarray: array[1..cols] of sumtype;
  NodeArray: array[1..cols] of Node;
  MovesArray: array[1..cols] of Move;
  procedure printblock();
  procedure movecontainers(var S, D: Node);
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}

(*****
(*constructor
(*
(*****)

constructor TNODES.Create(const Value: Integer; const idx: Integer;

```

```

const Move: Boolean);
begin
  // Save the passed parameters
  self.Value := Value;
  self.idx := idx;
  self.Move := Move;
end;

(*****
*) TList sort routine
*)
(*****

// The returned integer has the following value :
//
// > 0 : (positive) Item1 is less than Item2
// 0 : Item1 is equal to Item2
// < 0 : (negative) Item1 is greater than Item2
function compareByName(Item1: Pointer; Item2: Pointer): Integer;
var
  node1, node2: Tnodes;
begin
  // We start by viewing the object pointers as TCustomer objects
  node1 := Tnodes(Item1);
  node2 := Tnodes(Item2);

  // Now compare by string
  if node1.Value > node2.Value then
    Result := 1
  else if node1.Value = node2.Value then
    Result := 0
  else
    Result := -1;
end;

(*****
*) PRINTS THE CONTENT OF THE YARD BLOCK
*)
(*****

// > 0 : (positive) Item1 is less than Item2
// 0 : Item1 is equal to Item2
// < 0 : (negative) Item1 is greater than Item2
procedure TForm1.printblock();
var
  i, j, k: Integer;
  slot: Integer;
  row: string;
begin
  memo1.Clear;
  for i := 1 to rows do
  begin
    row := "";
    for j := 1 to cols do
    begin
      slot := 0;
      for k := 1 to stackheight do
      begin
        slot := slot + StrToInt(Testblock[i, j, k]);
      end;
      row := row + IntToStr(slot) + ' ';
    end;
    memo1.Lines.Add(row);
  end;
end;

(*****
*) Calculate The sum of containers
*) at each column
(*****

procedure TForm1.ColSums();
var
  i, j, k: Integer;

```

```

slot: Integer;
row: Integer;
xx: string;
node: tnodes;
begin
memo2.Clear;
for j := 1 to cols do
begin
slot := 0;
for i := 1 to rows do
begin
for k := 1 to stackheight do
begin
slot := slot + StrToInt(Testblock[i, j, k]);
end;
row := slot;
end;
sumarray[j].Value := row;
sumarray[j].idx := j;
sumarray[j].Move := true;
NodeArray[j].NodeNum := j;
NodeArray[j].ContCount := row;
NodeArray[j].Max := rows * stackheight;
node := tnodes.Create(row, j, true);
myList.Add(node);
xx := xx + IntToStr(row) + ' ';
listbox1.Items.Add(IntToStr(row) + 'sum =' + IntToStr(j));
end;
listbox1.Sorted := true;
memo2.Lines.Add(xx);
end;

```

```

(*****
(* Calculate the containers in the yard block
(*
(*****

```

```

function TForm1.TotalContainers(): Integer;
var
j, sum, MaxContainersPerCol: Integer;
begin
sum := 0;
MaxContainersPerCol:= stackheight * rows - 1 ;
for j := 1 to cols do
sum := sum + sumarray[j].Value;
// The total number of empty ground slots
Totalempy := (rows * cols * stackheight) - sum;
// cols empty are the actual number columns that must be marshaled
// based on the number of import containers
ColsEmpty := ImportContainers div (MaxContainersPerCol);
if (sum mod (MaxContainersPerCol) <> 0) then
ColsEmpty := ColsEmpty + 1;
//colsNeeded := ImportContainers div (MaxContainersPerCol);
if (ImportContainers mod (MaxContainersPerCol) <> 0) then
// colsNeeded := colsNeeded + 1;
// ColsEmpty := cols - Colsneeded;
TotalContainers := sum;
end;

```

```

(*****
(* INITIALIZE CONTAINER BLOCK AND VARS
(*
(*****

```

```

procedure TForm1.Initialize;
var
i, j, k, seed, g: Integer;
begin
Randomize;

for i := 1 to rows do
for j := 1 to cols do
for k := 1 to stackheight do

```



```

begin
  seed := Random(10);
  if seed > 3 then
    g := 0
  else
    g := 1;
    Testblock[i, j, k] := IntToStr(g);
  end;
  printblock()
end;

(*****
(* "moves" the selected container from source
(* to destination by registering the calculations
(*****

procedure TForm1.movecontainers(var S, D: Node);
  //S source column
  //D destination column
var
  ContainersCanHandle: Integer;
  ContainesWillMove: Integer;
begin
  if D.nodenum > 0 then
  begin
    ContainersCanHandle := (D.Max - 1) - D.ContCount;
    //containers can handle ( D.Max - D.ContCount )
    if ContainersCanHandle >= S.ContCount then //move all containers
      ContainesWillMove := S.ContCount
    else
      ContainesWillMove := ContainersCanHandle;
    if ContainesWillMove > 0 then
    begin
      S.ContCount := S.ContCount - ContainesWillMove;
      D.ContCount := D.ContCount + ContainesWillMove;
      memo4.Lines.Add('From: ' + IntToStr(s.NodeNum) + ', To: ' +
        IntToStr(D.NodeNum) + ', Num of containers to Be Moved: ' +
        IntToStr(ContainesWillMove) + ', Move Distance: ' +
        IntToStr(Abs(s.NodeNum - d.NodeNum) * ContainesWillMove));
      Counts := Counts + 1;
      MovesArray[counts].S := s.NodeNum;
      MovesArray[counts].D := D.NodeNum;
      MovesArray[counts].Quantity := ContainesWillMove;
      MovesArray[counts].Cost := Abs(s.NodeNum - d.NodeNum) * ContainesWillMove;
    end
  else
    memo3.Lines.Add('Destination Full' + IntToStr(d.NodeNum));
  end;
end;

(*****
(* Finds which containers to move
(*
(*****

procedure TForm1.Containers();
var
  stepR, StepL, Source, Destination: Integer;
  Count: Integer;
  found: Boolean;
begin
  //sort the list
  Mylist.Sort(compareByName);
  //show the shorted list
  RefreshListbox;
  Count := 0;
  stepR := 0;
  stepL := 0;
  Destination := 0;
  found := false;
  Source := GetNextSource(); // get next colum that will be empty
  while Source > 0 do
  begin
    while (nodearray[Source].ContCount > 0) do
    begin

```

```

Count := Count + 1; // check right
stepR := stepR + 1;
Destination := GetNextDestination(Source, Destination, stepR);
if destination = 0 then
begin
    found := false;
end
else
    found := true;
if destination > 0 then
    movecontainers(nodearray[Source], nodearray[Destination]);

if nodearray[Source].ContCount > 0 then // check left
begin
    stepL := stepL - 1;
    Destination := GetNextDestination(Source, Destination, stepL);
    if destination = 0 then
    begin
        found := false;
        Break;
    end
    else
        found := true;
    if destination > 0 then
        movecontainers(nodearray[Source], nodearray[Destination]);
    end;
end;

if found or (nodearray[Source].ContCount = 0) or (stepr > cols) then
begin
    Source := GetNextSource();
    stepR := 0;
    stepL := 0;
end;
memo4.Lines.Add('-----');
memo4.Lines.Add('Total Counter: ' + IntToStr(Count));
end;

(*****
(* Get next column to be emptied
*)
(*****
function TForm1.GetNextSource(): Integer;
var
    i: Integer;
begin
    i := 0;
    if lbs.Count > 0 then
    begin
        i := StrToInt(lbs.Items[0]);
        lbs.Items.Delete(0);
    end;
    GetNextSource := i;
end;

(*****
(* Get the next column from the current one
(* and has empty spaces and is not source
(*****

function TForm1.GetNextDestination(CurrS, CurrD, Step: Integer): Integer;
var
    i: Integer;
begin
    i := CurrS + step;
    // check if valid destination
    if Abs(step) <= cols then
        GetNextDestination := i
    else
        GetNextDestination := 0;
    if lbs1.Items.IndexOf(IntToStr(i)) > 0 then
    begin

```

```

memo3.Lines.Add('Destination must be skiped - marked to be emptied' + IntToStr(i));
GetNextDestination := 0;
end;
end;

```

```

(*****
(* Begin Calculations
(*
(*****

```

```

procedure TForm1.StartClick(Sender: TObject);
begin
  Initialize();
  ColSums();
  memo2.Lines.Add('Total Containers at yard bay:' + IntToStr(totalcontainers));
  memo2.Lines.Add('Total Import Containers :' + IntToStr(Importcontainers));
  memo2.Lines.Add('Total Empty Ground Slots:' + IntToStr(TotalEmpty));
  memo2.Lines.Add('Cols that will be marshaled :' + IntToStr(ColsEmpty));
  Containers;
end;

```

```

(*****
(* Calculate moves and distance cost
(*
(*****

```

```

procedure TForm1.CostClick(Sender: TObject);
var
  j, totalcost: Integer;
  totalmoves: Integer;
begin
  totalcost := 0;
  totalmoves := 0;
  for j := 1 to counts do
  begin
    totalcost := totalcost + MovesArray[counts].Cost;
    totalmoves := totalmoves + MovesArray[counts].Quantity;
  end;
  memo2.Lines.Add('Total Moves: ' + IntToStr(totalmoves));
  memo2.Lines.Add('Total Cost: ' + IntToStr(totalcost));
end;

```

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  myList := TList.Create;
end;

```

```

(*****
(*A routine to display the contents of our list
(*
(*****

```

```

procedure TForm1.ShowListContents;
var
  i: Integer;
begin
  // And redisplay the list
  for i := 0 to myList.Count - 1 do
  begin
    listBox2.Items.Add(IntToStr(tnodes(mylist[i]).Val) +
      ' Containers at position -->' + IntToStr(tnodes(mylist[i]).ID))
  end;
end;

```

```

procedure TForm1.RefreshListbox;
var
  i: Integer;
begin
  lbs1.Items.Clear;
  for i := 0 to ColsEmpty - 1 do
  begin
    lbs1.Items.Add(IntToStr(tnodes(mylist[i]).id));
    lbs.Items.Add(IntToStr(tnodes(mylist[i]).id))
  end;
end;

```

```

    ShowListContents;
end;

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
    myList.Free;
end;

end.

//-----
unit Unit3;
//-----
interface

implementation

type
    TStringArray = array of string;

{-----}
//Start is the index of the first item of the array - usually 0
//Stop is the index of the last item of the array
procedure QuickSort(var Strings: TStringArray; Start, Stop: Integer);
var
    Left: Integer;
    Right: Integer;
    Mid: Integer;
    Pivot: string;
    Temp: string;
begin
    Left := Start;
    Right := Stop;
    Mid := (Start + Stop) div 2;

    Pivot := Strings[mid];
    repeat
        while Strings[Left] < Pivot do Inc(Left);
        while Pivot < Strings[Right] do Dec(Right);
        if Left <= Right then
            begin
                Temp := Strings[Left];
                Strings[Left] := Strings[Right]; // Swops the two Strings
                Strings[Right] := Temp;
                Inc(Left);
                Dec(Right);
            end;
        until Left > Right;

        if Start < Right then QuickSort(Strings, Start, Right); // Uses
        if Left < Stop then QuickSort(Strings, Left, Stop); // Recursion
    end;

end.

```

# Ο ΠΗΓΑΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΣΤΟΙΒΑΣΙΑΣ

```
unit Unit1;  
  
interface  
  
uses  
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
  Dialogs, StdCtrls;  
const  
  maxrows = 20;  
  maxcols = 20;  
type  
  TLevel = record  
    containerNo: string;  
    PickupTime: integer;  
    Empty: boolean;  
  end;  
  TSlot = array [1..2] of TLevel;  
  
  TAddress = record  
    row: integer ;  
    col: integer ;  
    level: integer;  
  end;  
  
  type TYardBlock = array[1..maxrows, 1..maxcols] of TSlot;  
  
  TForm1 = class(TForm)  
    Button1: TButton;  
    Memo1: TMemo;  
    Memo2: TMemo;  
    Button2: TButton;  
    Memo3: TMemo;  
    Label1: TLabel;  
    ListBox1: TListBox;  
    Memo4: TMemo;  
    Label2: TLabel;  
    Button3: TButton;  
    procedure Button1Click(Sender: TObject);  
    procedure Button2Click(Sender: TObject);  
    procedure Button3Click(Sender: TObject);  
  private  
    { Private declarations }  
  procedure initializeYard();  
  
  public  
    { Public declarations }  
    function CanStow(S: TAddress;  
var Slot: TAddress): integer;  
    function MoveContainer (S: TAddress;  
D: TAddress): integer;  
    function MoveToParking (S: TAddress): integer;
```

```

function FindShortestCol (Origin: TAddress;
Col: integer;
var best: TAddress): boolean;
function FindShortestDestination ( Origin: TAddress): TAddress;
function CheckAndRestow(S: TAddress): boolean;
function AssignAddress(row, col, level: integer): TAddress;
procedure printyard ();
function SelectContainer(Value: string): TAddress;
procedure Shuffle(var aArray;
altemCount: Integer;
altemSize: Integer);
procedure RandomizeContainers ();
end;

var
Form1: TForm1;
blockA: TYardblock;
MovesToParking, TotalSuffles, TotalSuffleDistance: integer;
firstempty2: TAddress;
implementation

{$R *.dfm}
function TForm1.SelectContainer(Value: string): TAddress;
var
i, j, k: integer;

begin
for i := 1 to maxrows do
for j := 1 to maxcols do
for k := 1 to 2 do
begin
if blockA[i, j, k].containerNo = value then
begin
SelectContainer := AssignAddress(i, j, k);
// MessageBox('found. ');
exit; //loop exit value found!!!
end;
end;
end;
end;

//*****
// Initialize all arrays for yard representation
//*****

procedure TForm1.InitializeYard();
var
i, j, k: integer;
tag: integer;
begin
tag := 0;
for i := 1 to maxrows do
for j := 1 to maxcols do
for k := 1 to 2 do
begin
tag := tag + 1;
blockA[i, j, k].containerNo := inttostr(tag);
blockA[i, j, k].PickUpTime := 0;
blockA[i, j, k].empty := false;
end;
blockA[1, 1, 2].containerNo := 'empty';
blockA[5, 1, 2].PickUpTime := 0;
blockA[5, 1, 2].empty := true;
end;

//*****
// Checks if a container from S can be stowed to D
// The decision is based on the NEW RULES
//*****

function TForm1.CanStow(S: TAddress;
var Slot: TAddress): integer; //(0 no , 1 first level 2, second level)
var
res : integer;
begin

```

```

memo2.Lines.Add('-----> ' + inttostr(s.row) + ',' + inttostr(s.col) + ',' + inttostr(s.level)
+ ') (' + inttostr(slot.row) + ',' + inttostr(slot.col) + ',' + inttostr(slot.level) + ');

if (slot.row < maxrows + 1) and (slot.col < maxcols + 1) then

begin
if blockA[Slot.row, Slot.col, 1].Empty then                // Stow in a ground slot
  res := 1
else
  if (blockA[Slot.row, Slot.col, 2].Empty = true ) then    // Stow on the second level if the time constrain is met
  begin
  if ( blockA[Slot.row, Slot.col, 1].PickUpTime < blockA[S.row, S.col, S.level].PickUpTime ) then
    res := 2
  else
    res := 0;
  end
  else
    res := 0;
  CanStow := res;
  Slot.level := res;
  if res = 0 then
    memo2.Lines.Add('Can not stow at position ' + inttostr(slot.row) + ',' + inttostr(slot.col))
  else
    memo2.Lines.Add('Position Found!! ' + inttostr(slot.row) + ',' + inttostr(slot.col) + ',' + inttostr(slot.level) );
  end;
end;

//*****
// Moves the SUFFLE Container
//
//*****

function TForm1.MoveContainer (S: TAddress;
D: TAddress): integer;
begin
begin
if (D.row < maxrows + 1) and (D.col < maxcols + 1) then
begin
  blockA[D.row, D.col, D.level].PickUpTime := blockA[S.row, S.col, S.level].PickUpTime;
  blockA[D.row, D.col, D.level].Empty := False;
  blockA[S.row, S.col, S.level].Empty := true;
  Movecontainer := 1;
  memo2.Lines.Add('Suffle Container moved From: ' + inttostr(s.row) + ','
+ inttostr(s.col) + ',' + inttostr(s.level) + ' To: ' + inttostr(d.row) + ','
+ inttostr(d.col) + ',' + inttostr(d.level) );
  TotalSuffles := TotalSuffles + 1;
end
else
begin
memo2.lines.add('Can not move');
Movecontainer := 0;
end;
end;
end;

//*****
// A request for A container to be collected is executed
// This request may generate a suffle move
//*****

function TForm1.MoveToParking (S: TAddress): integer;
begin
if CheckAndRestow(S) then
begin
  blockA[S.row, S.col, S.level].Empty := true;
  MoveToParking := 1;
  memo2.Lines.Add('Container moved From: ' + inttostr(s.row) + ','
+ inttostr(s.col) + ',' + inttostr(s.level) + ' To parking');
  MovesToParking := MovesToParking + 1;
end
else
begin
memo2.lines.add('Can not move');
MoveToParking := 0;
end;
end;

function TForm1.CheckAndRestow(S: TAddress): boolean;

```

```

var
  TopContAddress: Taddress;
  res: integer;
begin
  memo2.Lines.Add('CheckAndRestow' );
  TopContAddress.row := S.row;
  TopContAddress.col := S.col;
  TopContAddress.level := 2;
  if s.level = 1 then
  begin
    if not blockA[TopContAddress.row, TopContAddress.col, TopContAddress.level].Empty then
      res := MoveContainer (TopContAddress, FindShortestDestination(TopContAddress));
    if res > 0 then
      begin
        CheckAndRestow := true ; // top container moves at best pos
        memo2.Lines.Add('top container moved at best pos ')
      end
    else
      begin
        CheckAndRestow := false;
        memo2.Lines.Add('top container moved Can not be moved!! ')
      end;
    end
  else // no container at top: can move
  begin
    memo2.Lines.Add('no container at top: can move ');
    CheckAndRestow := true;
  end;
end;

//*****
// A supporting routine used to print the yard
//
//*****

procedure TForm1.printyard ();
var
  printrow: string;
  printline: string;
  i, j, k: integer;
begin
  printline := '-----';
  memo1.Lines.Add( printline);

  for i := 1 to maxrows do
  begin
    for j := 1 to maxcols do
    begin
      printrow := printrow +
        '(' + BoolToStr(blockA[i, j, 1].empty, true) + ',' +
        BoolToStr(blockA[i, j, 2].empty, true) + ')' ;
    end;
    memo1.Lines.Add(printrow) ;
    printrow := "";
  end;
end;

function tform1.FindShortestDestination (Origin: Taddress): address;
var
  Current, best: Taddress;
  i: integer;
  results: boolean;
begin
  results := false;
  i := 0;
  Current.row := Origin.row;
  Current.level := Origin.level;
  if FindShortestCol(Origin, origin.col, best) then
    FindShortestDestination := best
  else
  begin
    while (results = false) and (i < maxrows + 1) do
    begin
      i := i + 1 ;
      Current.col := Origin.col + i ;
      results := FindShortestCol(Origin, current.col, best);
      if results then
        FindShortestDestination := best
    end
  end
end;

```



```

else
begin
  Current.col := Origin.col - i ;
  if Current.col > 0 then
    results := FindShortestCol(Origin, current.col, best);
  if results then
    FindShortestDestination := best ;
  end;
end;

if not results then
begin
  memo3.Lines.Add('Problem Container moved From: ' + inttostr(origin.row) + ' '
+ inttostr(origin.col) + ', ' + inttostr(origin.level) + ' To parking');
end;
end;
end;

//*****
// Searchee a specific column to find the closest position
// from the origin in order to move a suffle container
//*****

function TForm1.FindShortestCol (Origin: Taddress; Col: integer; var best: taddress): boolean;
var
  Current: Taddress;
  results, j: integer;
  found: boolean;
begin
  results := 0;
  j := 0;
  found := false;
  begin
    Current.col := col;
    Current.level := 0;
    // search current column
    while (results = 0 ) and (j <= maxcols + 1 ) do
    begin
      j := j + 1;
      Current.row := Origin.row + j;

      results := CanStow(origin, Current );
      if results > 0 then
      begin
        found := true;
        best := Current;
      end
      else
      begin
        Current.row := Origin.row - j;
        if Current.row > 0 then
          results := CanStow(origin, Current );
          if results > 0 then
          begin
            found := true;
            best := Current;
          end;
        end;
      end;
      best := Current;
      FindShortestCol := found;
    end;
  end;
end;

//*****
// Start a simulated scenario of delivering
// containers to trucks
//*****

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
  temp: Taddress;
  i: integer;
  TADD: tADDRESS;
begin
  InitializeYard();
  printyard;

```

```

for i := 1 to (ListBox1.Items.Count - 1) DO
BEGIN
  TADD := SelectContainer(ListBox1.Items.Strings[i]) ;
  MovetoParking(Tadd);
  printyard;

  end;
memo4.Lines.Add('TotalSuffles: ' + inttostr(TotalSuffles));
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  memo1.Clear;
  memo2.Clear;
  memo3.Clear;
  listbox1.Clear;
  InitializeYard();
  RandomizeContainers;
  MovesToParking := 0;
  TotalSuffles := 0;
  TotalSuffleDistance := 0;

end;

/*****
// Supporting routine to assign value to data type
// address
*****/

function TForm1.AssignAddress(row, col, level: integer): Address;
var
  temp: Address;
begin
  Temp.row := row ;
  Temp.col := col;
  Temp.level := level;
  AssignAddress := temp;
end;

/*****
// Supporting routine to randomize the appointmen
// reservations for picking up containers
*****/

procedure TForm1.Shuffle(var aArray; altemCount: Integer; altemSize: Integer);
var
  Inx: Integer;
  RandInx: Integer;
  SwapItem: PByteArray;
  A: TByteArray absolute aArray;
begin
  if (altemCount > 1) then
  begin
    GetMem(SwapItem, altemSize);
    try
      for Inx := 0 to (altemCount - 2) do
      begin
        RandInx := Random(altemCount - Inx);
        Move(A[Inx * altemSize], SwapItem^, altemSize);
        Move(A[RandInx * altemSize],
          A[Inx * altemSize], altemSize);
        Move(SwapItem^, A[RandInx * altemSize],
          altemSize);
      end;
    finally
      FreeMem(SwapItem, altemSize);
    end;
  end;
end;

/*****
// Supporting routine to randomize the appointmen
// reservations for picking up containers calls suffle
*****/

procedure TForm1.RandomizeContainers ();
var
  TA: Address;

```

```

a: array[1..maxcols * maxrows * 2] of Integer;
i, j, k, PickupTime: integer;
begin
  PickupTime := 0;
  for i := 1 to (maxcols * maxrows * 2) do
    a[i] := i;
  Randomize;
  for i := Low(a) to High(a) do
    //a := i;
    Shuffle(a, High(a), SizeOf(Integer));
  ListBox1.Clear;
  for i := 1 to High(a) - 1 do
    begin
      PickupTime := PickupTime + 5;
      if a[i] < 2 then // the one empty space
        ListBox1.Items.Add(IntToStr(a[i]));
        TA := SelectContainer(inttostr(a[i]));
        if (ta.row > 0) and (ta.row < maxrows + 1) then
          blockA[ta.row, ta.col, ta.level].PickupTime := PickupTime
        end;
    end;
end;

//*****
// Supporting routine to run the simulatd scenario
// 100 times
//*****

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  for i := 1 to 100 do
    Button1.Click;
  end;
end.

```



## ΓΛΩΣΣΑΡΙ

<b>gross domestic product (GDP)</b>	<b>ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ)</b> <i>ουσ.</i> : συνολική χρηματική αξία όλων των τελικών αγαθών που παράγονται και των υπηρεσιών που παρέχονται σε μια χώρα μέσα στο έτος.
<b>straddle carrier direct system</b>	<b>άμεσο σύστημα με μηχανήματα μεταφοράς και στοιβασίας E/K (straddle carriers) ή σύστημα μόνο με ΟΣΜΕ</b> <i>ουσ.</i> : λειτουργικό σύστημα λιμένα/τερματικού σταθμού, στο οποίο τα μηχανήματα μεταφοράς και στοιβασίας E/K (ΟΣΜΕ) μετακινούν τα E/K μεταξύ της αυλής E/K στο κρηπίδωμα και το αντίστροφο όπως και σε άλλες περιοχές) και τα στοιβάζουν/αποστοιβάζουν καθ' ύψος στην αυλή E/K.
<b>performance measure</b>	<b>δείκτης επίδοσης</b> <i>ουσ.</i> : ποσοτικός δείκτης που δηλώνει πόσο καλά εκτελέστηκε κάποια δραστηριότητα, ως προς την ποσότητα, την ποιότητα, την αποτελεσματικότητα ή την αποδοτικότητα· γνωστός και ως δείκτης απόδοσης
<b>production measure</b>	<b>δείκτης παραγωγής</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που δηλώνει την παραγωγή, τον κύκλο εργασιών ή τα έσοδα για συγκεκριμένη περίοδο· δείκτης αποτελεσματικότητας
<b>productivity measure</b>	<b>δείκτης παραγωγικότητας</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που δηλώνει την παραγωγή ανά μονάδα χρησιμοποιημένου πόρου σε μια μονάδα χρόνου· μέτρο αποτελεσματικότητας
<b>ship turnaround index</b>	<b>δείκτης συνολικού χρόνου παραμονής του πλοίου</b> <i>ουσ.</i> : στόχος που έχει υπολογιστεί και αφορά το συνολικό χρόνο παραμονής του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη τις προγραμματισμένες μετακινήσεις E/K, το συμφωνημένο ρυθμό φορτοεκφόρτωσης και τις καθυστερήσεις αναμονής, πλεύρισης και απόπλου
<b>utilization measure</b>	<b>δείκτης χρησιμοποίησης</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που δηλώνει πόσο εντατικά χρησιμοποιείται συγκεκριμένος πόρος· αναλογία μεταξύ της πραγματικής χρήσης και της μέγιστης πιθανής χρήσης πόρου εντός δεδομένης χρονικής περιόδου
<b>container yard throughput</b>	<b>διακίνηση αυλής (πλατείας) εμπορευματοκιβωτίων</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που εκφράζεται ως το σύνολο των κινήσεων εμπορευματοκιβωτίων που πραγματοποιήθηκαν στην αυλή E/K για συγκεκριμένη χρονική περίοδο
<b>quay transfer throughput</b>	<b>διακίνηση κρηπίδωματος (quay transfer throughput)</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που δηλώνει τις κινήσεις εμπορευματοκιβωτίου/φορτίου μεταξύ του κρηπίδωματος και της αυλής/του αποθηκευτικού χώρου εντός συγκεκριμένης περιόδου
<b>receipt/delivery throughput</b>	<b>διακίνηση παραλαβής/παράδοσης</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που δηλώνει τις συνολικές μετακινήσεις E/K/φορτίου από τα μηχανήματα του λιμένα/τερματικού σταθμού που αφορούν την παραλαβή και παράδοση, π.χ. η στοιβασία/αποστοιβασία, οι εσωτερικές μετακινήσεις στοιβασμένων E/K, οι μετακινήσεις προς/από τις περιοχές παραλαβής/παράδοσης
<b>gate throughput</b>	<b>διακίνηση πύλης (throughput)</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης για τις δραστηριότητες παραλαβής/παράδοσης, που εκφράζεται ως το σύνολο των μετακινήσεων (E/K) μέσω όλων των διαδρόμων της πύλης σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο

<b>straddle carrier</b>	<b>διασκελετικός μεταφορέας (straddle carrier) ή όχημα μεταφοράς και στοιβασίας Ε/Κ (ΟΣΜΕ)</b> ουσ.: ψηλό πλαίσιο με τροχούς, αρκετά πλατύ για να μετακινεί στοιβασμένο Ε/Κ και να το ανυψώνει με αρτάνη που αναρτάται από αυτό· χρησιμοποιείται για την καθ' ύψος στοιβασία και τη μεταφορά των Ε/Κ
<b>restow</b>	<b>επαναστοιβασία</b> ουσ.: μετακίνηση φορτίου από μια θέση στοιβασίας σε άλλη εντός του ίδιου πλοίου, στο κρηπίδωμα ή απ' ευθείας, για επιχειρησιακούς λόγους και συνήθως κατόπιν αίτησης του θαλάσσιου μεταφορέα· μονάδα φορτίου που μετακινήθηκε με αυτό τον τρόπο
<b>operational research</b>	<b>επιχειρησιακή έρευνα</b> ουσ.: τεχνική επίλυσης προβλημάτων που χρησιμοποιεί τη θεωρία της σειράς αναμονής, τη θεωρία των πιθανοτήτων, την ανάλυση κινδύνων και μοντέλα, προκειμένου να εξετάσει και να επανασχεδιάσει ένα σύστημα
<b>lash(-ing)</b>	<b>εχμάζω (lash -ing)</b> ρ.: ασφαλίζω εμπορευματοκιβώτιο (ή άλλο φορτίο) σε θέση στοιβασίας με σχοινί, σύρμα, διατάξεις ράβδων ή αλυσίδων· η διαδικασία αυτής της ασφάλισης
<b>berthing plan</b>	<b>κατάσταση αφίξεων/αναχωρήσεων</b> ουσ.: τοιχοκολλημένο ή έντυπο έγγραφο όπου σημειώνεται η άφιξη, πλεύριση και αναχώρηση των πλοίων που προσεγγίζουν λιμένα
<b>operational dwell time</b>	<b>λειτουργικός χρόνος παραμονής</b> ουσ.: μέρος του χρόνου παραμονής φορτίου/ εμπορευματοκιβωτίου που υπολογίζεται για τις δραστηριότητες εντός του τερματικού σταθμού, συμπεριλαμβανομένων των τελωνειακών διατυπώσεων, της τεκμηρίωσης και των επιχειρησιακών διαδικασιών
<b>idle time</b>	<b>νεκρός χρόνος</b> ουσ.: χρόνος κατά τη διάρκεια της λειτουργικής περιόδου, κατά τον οποίο οι εργασίες σταματούν για μη αναμενόμενο και μη προγραμματισμένο λόγο, π.χ. λόγω βλάβης του μηχανήματος
<b>storage area productivity</b>	<b>παραγωγικότητα αποθηκευτικού χώρου</b> ουσ.: δείκτης απόδοσης που δηλώνει την ποσότητα φορτίου/εμπορευματοκιβωτίων/TEU που γίνονται αντικείμενο χειρισμού ανά τετραγωνικό μέτρο του αποθηκευτικού χώρου εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου
<b>crane productivity</b>	<b>παραγωγικότητα γερανού</b> ουσ.: δείκτης απόδοσης που προσδιορίζει την ικανότητα διεκπεραίωσης κάθε γερανού ανά ώρα, κατά τη διάρκεια φορτοεκφόρτωσης· εκφράζεται μεικτά (συνολικός χρόνος εργασίας γερανού) ή καθαρά (αφαιρουμένων των ωρών μη λειτουργίας και αδράνειας)
<b>CFS area productivity</b>	<b>παραγωγικότητα έκτασης Αποθήκης Συσκευασίας / Αποσυσκευασίας Ε/Κ</b> ουσ.: δείκτης απόδοσης που εκφράζεται ως η διακίνηση φορτίου (ολικό βάρος, Ε/Κ ή TEU) που διέρχεται από ένα τετραγωνικό μέτρο της Αποθήκης Συσκευασίας / Αποσυσκευασίας Ε/Κ
<b>labour productivity</b>	<b>παραγωγικότητα εργατικού δυναμικού</b> ουσ.: δείκτης απόδοσης που προσδιορίζει την αποδοτικότητα της χρήσης ανθρώπινων πόρων, συσχετίζοντας την κίνηση ή τη διακίνηση με τον αριθμό των υπαλλήλων, π.χ. εμπορευματοκιβώτια ανά άτομο-ώρα
<b>quay productivity</b>	<b>παραγωγικότητα κρηπιδώματος</b> ουσ.: δείκτης απόδοσης που σχετίζεται με τη διεκπεραιωτική ικανότητα της φορτοεκφόρτωσης σε μονάδα χρόνου για καθορισμένο μήκος κρηπιδώματος, π.χ. οι συνολικές μετακινήσεις Ε/Κ ανά μέτρο κρηπιδώματος την εβδομάδα
<b>equipment productivity</b>	<b>παραγωγικότητα μηχανήματος</b> ουσ.: αριθμός μετακινήσεων εμπορευματοκιβωτίου/φορτίου που γίνονται από ένα είδος ή (συνήθως) κατηγορία μηχανήματος ανά εργάσιμη ώρα, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου

<b>ship productivity</b>	<b>παραγωγικότητα πλοίου</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που συσχετίζει τους ρυθμούς χειρισμού φορτίου/Ε/Κ κατά την προσέγγιση πλοίου με το χρόνο που χρειάστηκε για την εξυπηρέτηση του πλοίου, π.χ. κινήσεις ανά πλοίο-ώρα στη θέση πλευρίσης
<b>terminal area productivity</b>	<b>παραγωγικότητα της έκτασης τερματικού σταθμού</b> <i>ουσ.</i> : πρωταρχικός δείκτης απόδοσης που δηλώνει τον αριθμό των Ε/Κ που έγιναν αντικείμενο χειρισμού ανά τετραγωνικό μέτρο του συνολικού χώρου του τερματικού σταθμού εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου
<b>interchange area</b>	<b>περιοχή παραλαβής/παράδοσης</b> <i>ουσ.</i> : μέρος του ΣΕΜΠΟ που παρέχει πρόσβαση στα οδικά οχήματα ώστε αυτά να παραδώσουν ή/και να συλλέξουν εμπορευματοκιβώτια (σε σύστημα ανταπόκρισης ή σε μεικτό σύστημα) περιοχή για την ανταλλαγή εμπορευματοκιβωτίων με μηχάνημα μεταφοράς επί του κρηπιδώματος και μηχάνημα καθ' ύψος στοιβασίας· αναφέρεται και ως χώρος διασύνδεσης
<b>spreader</b>	<b>πλαίσιο ανάρτησης Ε/Κ (spreader)</b> <i>ουσ.</i> : πλαίσιο, που συνδέεται με τη βάση προσαρμογής του ανυψωτικού μηχανισμού του γερανού ή άλλης συσκευής χειρισμού Ε/Κ, στο οποίο συνδέεται το Ε/Κ για ανύψωση· γνωστό και ως πλαίσιο ανύψωσης
<b>resource</b>	<b>πόρος</b> <i>ουσ.</i> : μέσο με το οποίο επιτυγχάνεται η παραγωγική δραστηριότητα, π.χ. μηχανήματα, εργατικό δυναμικό, χώρος αποθήκευσης· παράγοντας του υπολογισμού παραγωγικότητας
<b>block</b>	<b>συγκρότημα (μπλοκ) αποθήκευσης</b> <i>ουσ.</i> : ορθογώνια, οριοθετημένα και προσδιορισμένα αποθηκευτική περιοχή εντός της αυλής εμπορευματοκιβωτίων, για την καθ' ύψος στοιβασία καθορισμένης(ων) ομάδας(ων) Ε/Κ
<b>vehicle turnaround time</b>	<b>συνολικός χρόνος παραμονής οχημάτων</b> <i>ουσ.</i> : χρονικό διάστημα από την άφιξη του οδικού οχήματος στην είσοδο λιμένα/τερματικού σταθμού μέχρι την αναχώρησή του από την έξοδο λιμένα/τερματικού σταθμού· δείκτης απόδοσης παροχής υπηρεσιών για τις λειτουργίες παραλαβής/παράδοσης
<b>ship turnaround time</b>	<b>συνολικός χρόνος παραμονής πλοίου</b> <i>ουσ.</i> : συνολικός χρόνος παραμονής πλοίου σε λιμένα, σε δεδομένη προσέγγιση· μέσος συνολικός χρόνος παραμονής όλων των πλοίων εταιρίας/ κοινοπραξίας ή συνολικά εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου
<b>stowage plan</b>	<b>σχέδιο στοιβασίας</b> <i>ουσ.</i> : έγγραφο που καταρτίζει ο θαλάσσιος μεταφορέας, όπου αναγράφονται, υπό μορφή λεπτομερών διαγραμμάτων, οι θέσεις στοιβασίας όλων των φορτίων/Ε/Κ που μεταφέρονται από πλοίο σε συγκεκριμένο λιμένα προσέγγισης· (πιο συγκεκριμένα) το σχέδιο στοιβασίας του φορτίου
<b>bay plan</b>	<b>σχέδιο στοιβασίας τμήματος αμπαριού (bay plan)</b> <i>ουσ.</i> : σχέδιο στοιβασίας πλοίου μεταφοράς Ε/Κ με λεπτομερή όψη ενός εγκάρσιου διαμερίσματος (τμήματος αμπαριού) του γενικού σχεδίου (α) ξεχωριστά για στοιβασία πάνω και κάτω από το κύριο κατάστρωμα, ή (β) το συνδυασμό αυτών
<b>cost-effectiveness</b>	<b>σχέση κόστους/αποτελεσματικότητας</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης παραγωγικότητας που δείχνει το κόστος παραγωγής για κάθε μονάδα παραγόμενου εσόδου
<b>CFS storage utilization</b>	<b>χρησιμοποίηση (αξιοποίηση) αποθηκευτικού χώρου της Αποθήκης Συσκευασίας / Αποσυσκευασίας Ε/Κ</b> <i>ουσ.</i> : δείκτης απόδοσης που εκτιμά το βαθμό χρησιμοποίησης του αποθηκευτικού χώρου της Αποθήκης Συσκευασίας / Αποσυσκευασίας Ε/Κ, είτε ως μέσος όρος της κατειλημμένης έκτασης (λαμβάνοντας την ημέρα ως χρονική περίοδο) εκφρασμένος ως ποσοστό αποθηκευτικού χώρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, είτε ως μέσος κατειλημμένος όγκος εκφρασμένος ως ποσοστό της χωρητικότητας σχεδιασμού, είτε ως μέσος όρος αποθηκευμένου ολικού βάρους εκφρασμένος ως ποσοστό της χωρητικότητας σχεδιασμού

**equipment utilization**

**χρησιμοποίηση (αξιοποίηση) μηχανημάτων** ουσ.: δείκτης απόδοσης που εκφράζεται ως το ποσοστό χρόνου κατά τον οποίο πραγματικά χρησιμοποιήθηκε ένα είδος/μια κατηγορία μηχανήματος, σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο· η αναλογία χρόνου που πραγματικά χρησιμοποιήθηκε έναντι του χρόνου που ήταν διαθέσιμο προς χρήση· υπολογίζεται βάσει των καταγεγραμμένων ωρών λειτουργίας ως ποσοστό των πιθανών ωρών λειτουργίας

**storage utilization**

**χρησιμοποίηση αποθήκης:** βλέπε χρησιμοποίηση αυλής Ε/Κ

**yard utilization**

**χρησιμοποίηση αυλής** ουσ.: δείκτης απόδοσης που συγκρίνει τον αριθμό των θέσεων αποθήκευσης στην αυλή Ε/Κ που είναι επί του παρόντος κατειλημμένες (ή το μέσο βαθμό χρήσης κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης περιόδου) έναντι της χωρητικότητας βάσει σχεδιασμού και εκφράζεται ως ποσοστό· είναι επίσης γνωστή ως χρησιμοποίηση αποθήκης

**quay utilization**

**χρησιμοποίηση κρηπιδώματος** ουσ.: δείκτης απόδοσης που δηλώνει την ένταση χρήσης του κρηπιδώματος εντός συγκεκριμένης περιόδου, π.χ. ο βαθμός χρήσης του κρηπιδώματος

**vehicle service time**

**χρόνος εξυπηρέτησης οχήματος** ουσ.: διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της άφιξης του οδικού οχήματος στη λωρίδα εισόδου της πύλης του λιμένα/τερματικού σταθμού και της αναχώρησής του από τη λωρίδα εξόδου του πύλης· δείκτης απόδοσης παροχής υπηρεσιών για την παραλαβή/παράδοση



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. STEENKEN D, VOB S, STAHLBOCK R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum* 2004;26:3-49
2. UNITED NATIONS ESCAP (www.unescap.org) assessed 26.12.2008
3. TRUJILLO L, NOMBELA G. *Privatization and Regulation of the Seaport Industry*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, Spain 1999
4. TSITSAMIS D, IAKOVOU E, VLACHOS D. Decision-making in container terminal operations: A hierarchical and comprehensive framework. *3rd Int Workshop on Supply Chain Management and Information Systems*, Thessaloniki, Greece, Proceedings 2005:452-462
5. VAN DER MEER JR. *Operational Control of Internal Transport*. TRAIL Thesis Series, Delft University Press, The Netherlands 2000
6. KULWIEC RA. *Basic Material Handling Concepts*. 2nd ed, John Wiley and Sons, NY 1985
7. TOMPKINS ET AL. *Facilities Planning*. 2nd ed, John Wiley and Sons, NY 1996
8. RIJSENBRIJ JC, SAANEN Y. *Design of Systems and Operations in Container Terminals*. Center for Maritime Economics and Logistics, Erasmus University, Rotterdam 2007
9. TSITSAMIS D, VLACHOS D, IAKOVOU E, DOULIGERIS C. A hierarchical taxonomy of decision-making models for container terminal operations. *Int. J. Logistics Economics and Globalisation*, Vol. 1, Nos. 3/4, 2008:365-382
10. IMAI A, SASAKI K, NISHIMURA E, PAPADIMITRIOU S. Multi-objective simultaneous stowage and load planning for a container ship with container rehandle in yard stacks. *Eur J Operat Res* 2006;171:373–389
11. NISHIMURA E, IMAI A, PAPADIMITRIOU S. Yard trailer routing at a maritime container terminal. *Transp Res Part E* 2005;41: 53-76
12. PETERS BA, SMITH JS, VENKATESH S. A Control Classification of Automated Guided Vehicles Systems. *Int J Ind Eng* 1996;3:29-39
13. CHEN T. Yard operations in the container terminal – a study in the unproductive moves. *Maritime Policy & Management* 1999;26:27-38
14. CHEN P, FU Z, LIM A, RODRIGUES B. *The general yard allocation problem*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003;2724:1986-1997
15. DAVIDSSON P, HENESEY L, RAMSTEDT L, TÖRNQUIST J, WERNSTEDT F. Agent-based approaches to transport logistics. *Transportation Res Part C* 2005;13:255-271
16. STEENKEN D, WINTER TH, ZIMMERMANN UT. *Stowage and transport optimization in ship planning*. Springer, Berlin 2002:731-745
17. DUBROVSKY O, LEVITIN G, PENN M. A Genetic algorithm with a compact solution encoding for the container ship stowage problem. *J Heuristics* 2002;8:585-599.
18. DUINKERKEN MB, OTTJES JA. A simulation model for automated container terminals. Sub Faculty of Mechanical Engineering and Marine Technology. *Advanced Simulation Technology Conference (ASTC2000)*, Washington DC, USA 2000

19. HENESEY L. *Enhancing Terminal Productivity through Artificial Intelligent: Multi-Agent System Approach*. Blekinge Institute of Technology, Karlshamn, Sweden 2004
20. AMBROSINO D, MARRINA ME, SCIOMACHEN A. *Decision Rules for the Yard Storage Management*. Technical Report, University of Genova, Italy 2002
21. HARTMANN S. A general framework for scheduling equipment and manpower at container terminals. *OR Spectrum* 2004;26:51-74
22. JESUS J, HANAFAI S, SEMET F. The container assignment problem: Models and solution methods. *Odysseus 2003 – 2nd Int Workshop on Freight Transportation and Logistics*, Italy 2003
23. HARTMANN S. Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics. *OR Spectrum* 2004;26:171-192
24. FRANCIS P, ZHANG G, SMILOWITZ K. Improved modeling and solution methods for the multi-resource routing problem. *Eur J Operation Res* 2007;180:1045-1059
25. GAMBARDELLA LM, RIZZOLI AE. The role of simulation and optimization in intermodal container terminals. *European Simulation Symposium*, Germany 2002
26. CORDEAU JF, GAUDIOSO M, LAPORTE G, LEGATO P, MOCCIA L. Solving berth scheduling and yard management problems at the Gioia Tauro Maritime Terminal. *Odysseus 2003 – 2nd Int Workshop on Freight Transportation and Logistics*, Italy 2003
27. NISHIMURA E, IMAI A, PAPADIMITRIOU S. Multi-objective berth allocation planning in a multi-user container terminal. *Maritime Transport Ports* 2001;18:721-728
28. LIU CI, JULA H, IOANNOU PA. Design, simulation and evaluation of automated container terminals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2002;3:12-26
29. MURTY KG, LIU J, WAN Y-W, LINN R. A DSS (Decision Support System) for operations in a container terminal. *Decision Support Systems* 2005;39:309-332
30. HENESEY L, DAVIDSSON P, PERSSON JA. Using simulation in evaluating berth allocation at a container terminal. *3rd Int Conf on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*, Spain 2004
31. GIEMSCH P, JELLINGHAUS A. Optimization models for the containership stowage problem. *Int Conf on Operations Research (OR 2003)*, Germany 2003
32. GAMBARDELLA LM, MASTROLILLI M, RIZZOLI AE, ZAFFALON M. An optimization methodology for intermodal terminal management. *J Intelligent Manufacturing* 2001;12:521-534
33. DEMIRCI E. Simulation modeling and analysis of a port investment. *Simulation* 2003;79:94-105
34. VIS IFA, HARIKA I. Comparison of vehicle types at an automated container terminal. *OR Spectrum* 2004;26:117-143
35. KIM KH, SOOKANG J, RYU RK. A beam search algorithm for the load sequencing of outbound containers in port container terminals. *OR Spectrum* 2004;26:93-116
36. BAE JW, KIM KH. A pooled dispatching strategy for automated guided vehicles in port container terminals. *Int J Manag Sci* 2000;6:47-67
37. CRAINIC TG. A survey of optimization models for long-haul freight transportation. *Handbook of Transportation Science*, Springer New York 2006;56:451-516

38. PRATT KB. An Application of Heterogeneous Agents to Fabricate Large, Realistic Corporate Transaction Data Sets for Data Mining Tool Testing and Evaluation. *3rd Int Joint Conf on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 2004)* NY USA 2004;3:1264-1265
39. KOZAN E, WONG A. An optimization model for export and import container process in seaport terminals. *25th Australasian Transport Research Forum Incorporating the BTRE Transport Policy Colloquium*, Australia 2002
40. IOANNOU P, CHASSIAKOS A. *Automated Container Transport System between Inland Port and Terminals*. Metrans Transportation Center USC CSULB 2002;16:95-118
41. DAI J, LIN W, MOORTHY R, TEO C-P. Berth allocation planning optimization in container terminals. *Springer US* 2007;119:69-104
42. HENESEY L, WERNSTEDT F, DAVIDSSON P. Market-driven control in container terminal management. Blekinge Institute of Technology. *2nd Int Conf on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT'03)* Germany 2003:377-386
43. ZHU Y, LIM A. *Crane Scheduling with Spatial Constrains: Mathematical Model and Solving Approaches*. Dept of IEEM, Hong Kong University of Science and Technology. 2004;51:386-406
44. SPASOVIC LN, SIDERIS A, DAS S, CHAO X. Increasing productivity and service quality of the straddle carrier operations at a container port terminal. *J Adv Transport* 1999
45. REBOLLO M, JULIAN V, CARRASCOSA C, BOTTI V. *A MAS Approach for Port Container Terminal Management*. Lecture Notes in Computer Science.
46. HANSEN P, OĞUZ C, MLADENOVIC N. Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation. *Eur J Operation Res* 2008;191:636-649
47. RIDA M, BOULMAKOUL A, LAURINI R. Object oriented approach and Java-based distributed simulation for container terminal operational management. *Eur J Operation Res* 2006;175:1731-1751
48. KURSTJENS STGL, DEKKER R, DELLAERT NP, DUINKERKEN MB, OTTJES JA, EVERS JJM. Planning of inter terminal transport at the Maasvlakte. *2nd TRAIL Congress Part 2* 1996:37-61
49. KIM KH, KIM HB. A Routing algorithm for a single transfer crane to load export containers onto a containership. *Computers & Industrial Engineering* 1997;33:673-676
50. HOLGUN-VERAS J, JARA-DUAZ S. Optimal pricing for priority service and space allocation in container ports. *Transportation Research Part B*, 1999;33:81-106
51. LIU C-I, HOSSEIN J, VUKADINOVIC K, IOANNOU P. Automated guided vehicle system for two container yard layouts. *Transportation Research Part C* 2004;12:349-368
52. DEKKER R, VOOGD P, VAN ASPEREN E. Advanced methods for container stacking. *OR Spectrum* 2006;28:563-586
53. HENESEY LE. *Multi-agent container terminal management*. Blekinge Institute of Technology, Sweden 2006
54. HA BH, PARK EJ, LEE CH. A microscopic simulation model for container terminal with 3D realtime visualization and its applications. *Int Conf on Intelligent Manufacturing and Logistics Systems (IML 2007)*, Kitakyushu, Japan 2007
55. SHABAYEK AA, YEUNG WW. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. *Eur J Operation Res* 2002;140:1-11

56. VIS IFA, KOSTER DE R. Transshipment of containers at a container terminal: an overview. *Eur J Operation Res* 2003;147:1-16
57. KIA M. Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation. *Computers & Industrial Engineering* 2002;42:533-540
58. RIZZOLI AE, GAMBARDELLA GM, ZAFFALON M, MASTROLILLI M. Simulation for the evaluation of optimized operations policies in a container terminal. *Maritime & Industrial Logistics Modeling and Simulation* (HMS99), Genoa, Italy 1998
59. ZAFFALON M, RIZZOLI AE, GAMBARDELLA LM, MASTROLILLI M. Resource allocation and scheduling of operations in an intermodal terminal. *10th European Simulation Symposium and Exhibition, Simulation in Industry* (ESS98), Nottingham, UK 1998
60. IMAI A, NISHIMURA E, PAPADIMITRIOU S. The dynamic berth allocation for a container port. *Transportation Research Part B*, 2001;35:401-417
61. IMAI A, NISHIMURA E, PAPADIMITRIOU S. Berth allocation with service priority. *Transportation Research Part B*, 2003;37:437-457
62. CORDEAU JF, LAPORTE G, LEGATO P, MOCCIA L. Models and tabu search heuristics for the berth-allocation problem. *Transportation Science* 2005;39:526-538
63. KIM KH, MOON KCH. Berth scheduling by simulated annealing. *Transportation Research Part B* 2003;37:541-560
64. WANG F, LIM A. A stochastic beam search for the berth allocation problem. *Decision Support Systems* 2007;42:2186-2196
65. LEGATO P, MAZZA RM. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation. *Eur J Operation Res* 2001;133:537-547
66. AMBROSINO D, SCIOMACHEN A, TANFANI E. (). Stowing a containership the master bay plan problem. *Transportation Research Part A* 2004;38:81-99
67. MOORTHY R, TEO CP. Berth management in container terminal: the template design problem. *OR Spectrum* 2006;28:495-518
68. KOZAN E. Optimizing container transfers at multimodal terminals. *Mathematical and Computer Modeling* 2000;31:235-243
69. LEGATO P, MONACO FM. Human resources management at a marine container terminal. *Eur J Operation Res* 2004;156:769-781
70. KIM KH, PARK YM. A crane scheduling method for port container terminals. *Eur J Operation Res* 2004;156:752-768
71. YONGBIN H, LOO HL, EK PCH, KOK CHT. A yard storage strategy for minimizing traffic congestion in a marine container transshipment hub. *OR Spectrum* 2008;30:697-720
72. HENESEY LE. *Enhancing Container Terminal Performance. A Multi Agent Systems Approach*. Blekinge Institute of Technology, Sweden 2004
73. HENESEY LE, DAVIDSSON P, PERSSON JA. Agent based simulation architecture for evaluating operational policies in transshipping containers. *Springer Science + Business Media LLC* 2006;4196: 73-85

- 
74. KIM KH, PARK KT. A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. *Eur J Operation Res* 2003;148:92–101
  75. GAMBARDELLA LM, RIZZOLI AE, ZAFFALON M. Simulation and planning of an intermodal container terminal. *Special Issue SIMULATION on Harbour and Maritime Simulation* 1998;71:107–116
  76. NG WC. Crane scheduling in container yards with inter-crane interference. *Eur J Operation Res* 2005;164:64–78
  77. NG WC, MAK KL. Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied Mathematical Modeling* 2005;29:263–276
  78. LEE DH, WANG HQ, MIAO L. Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E* 2006;44:124–135
  79. LIANG C, MI W. A quay crane scheduling problem by hybrid evolutionary algorithm for berth allocation planning. *Int Conf on Intelligent Manufacturing and Logistics Systems (IML 2007)*, Kitakyushu, Japan 2007
  80. LIU J, WAN YW, WANG L. Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures. *Naval Research Logistics* 2006;53:60–74
  81. GOODCHILD AV, DAGANZO CF. *Reducing ship turn-around time using double cycling. Technical report*. University of California, Berkeley, California, USA 2004
  82. GOODCHILD AV, DAGANZO CF. *Crane double cycling in container ports: effect on ship dwell time. Technical report*. University of California, Berkeley, California, USA 2005
  83. GOODCHILD AV, DAGANZO CF. Double-cycling strategies for container ships and their effect on ship loading and unloading operations. *Transportation Science* 2006;40:473–483
  84. GOODCHILD AV, DAGANZO CF. Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation. *Transportation Research Part B* 2007;41:875–891
  85. GOODCHILD AV. *Crane double cycling in container ports: algorithms, evaluation, and planning*. PhD thesis. University of California, Berkeley, California, USA 2005
  86. GOODCHILD AV. Port planning for double cycling crane operations. *TRB 2006 annual meeting*. Washington DC, USA 2006
  87. CORDEAU JF, GAUDIOSO M, LAPORTE G, MOCCIA L. The service allocation problem at the Gioia Tauro maritime terminal. *Eur J Operation Res* 2007;176:1167–1184
  88. KIM KH, PARK YM, RYU K-R. Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *Eur J Operation Res* 2000;124:89–101
  89. FENG L, CHUNHUA T, RONGZENG C, WEI D. An integer linear programming for container stowage problem. *IBM China Research Laboratory* 2008;5101:853–862
  90. KIM KH, KIM HB. Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals. *Int J Product Econ* 1999;59:415–423
  91. KIM KH, KIM HB. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. *Transportation Research Part B* 2002;36:821–835
  92. KIM KH, LEE JS. Satisfying constraints for locating export containers in port container terminals. *Int Conf on Computational Science and its Applications (ICCSA 2006)*, Glasgow, Scotland, United Kingdom 2006

- 
93. ZHANG CH, LIU J, WAN Y-W, MURTY KG, LINN RJ. Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B*, 2003;37:883-903
  94. KIM YH, PARK T, RYU KR. Dynamic weight adjustment for developing a stacking policy for automated container terminals. *Int Conf on Intelligent Manufacturing and Logistics Systems (IML 2007)*, Kitakyushu, Japan 2007
  95. KIM KH, KIM KY. Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm. *Computers & Industrial Engineering* 1999;36:106-136
  96. KIM KH, KIM KY. A routing algorithm for a single straddle carrier to load export containers onto a containership. *Int J Product Econ* 1999;59:425-433
  97. BISH EK. A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal. *Eur J Operation Res* 2003;144:83-107
  98. BOSE J, REINERS T, STEENKEN D, VOB S. Vehicle dispatching at seaport container terminals using evolutionary algorithms. *33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, Island of Maui, Hawaii 2000
  99. KIM KH, BAE JW. Re-marshalling export containers in port container terminals. *Computers & Industrial Engineering* 1998;35:655-658
  100. KANG J, OH MS, AHN EY, RYU KR, KIM KH. Planning for intra-block remarshalling in a container terminal. *19th Int Conf on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2006)*, Anecy, France 2006
  101. KANG J, RYU KR, KIM KH. Deriving stacking strategies for export containers with uncertain weight information. *J Intell Manufact* 2006;17:399-410
  102. KIM KH, LEE JS. Satisfying constraints for locating export containers in port container terminals. *Int Conf on Computational Science and its Applications (ICCSA 2006)*, Glasgow, Scotland, United Kingdom 2006
  103. HUANG X. Patient attitude towards waiting in an outpatient clinic and its applications. *Health Serv Manag Res* 1994;7:2-8
  104. VISSERS J. Selecting a suitable appointment system in an outpatient setting. *Med Care* 1979;17:1207-1220
  105. RISING E, BARON R, AVERILL B. A system analysis of a university health service outpatient clinic. *Operation Res* 1973;21:1030-1047
  106. COX TF, BIRCHALL JF, WONG H. Optimizing the queuing system for an ear, nose and throat outpatient clinic. *J Appl Statist* 1985;12:113-126
  107. LINDLEY DV. The theory of queues with a single server. *Proc Cambridge Phil Soc* 1952;48:277-289
  108. BRAHIMI M, WORTHINGTON DJ. The finite capacity multi-server queue with inhomogeneous arrival rate and discrete service time distribution and its application to continuous service time problems. *Eur J Operation Res* 1991;50:310-324
  109. WANG PP. Static and dynamic scheduling of customer arrivals to a single-server system. *Naval Research Logistics* 1993;40:345-360

110. WANG PP. Optimally scheduling n customer arrival times for a single-server system. *Computers & Operations Research* 1997;24:703-716
111. DENTON B, GUPTA D. A sequential bounding approach for optimal appointment scheduling. DeGroote School of Business, McMaster University, Hamilton Ontario 2001 (unpublished working paper)
112. BAILEY N. A study of queues and appointment systems in hospital outpatient departments' reference Simulation Analysis and Decision-Making in Container Terminal Operations to waiting times. *J Royal Statist Soc* 1952;14:185-199
113. HO C, LAU H. Minimizing total cost in scheduling outpatient appointments. *Managem Sci* 1992;38:1750-1764
114. MEZA JP. Patient waiting times in a physicians' office. *Am J Manag Care* 1998;4:703-712
115. WELCH JD, BAILEY N. Appointment systems in hospital outpatient departments. *Lancet* 1952;2:1105-1108
116. BABES M, SARMA GV. Outpatient queues at the Ibn-Rochd health center. *J Operation Res Soc* 1952;42:845-855
117. WELCH JD. Appointment systems in hospital outpatient departments. *Operation Res Quart* 1964;15:224-232
118. FRY J. Appointments in general practice. *Operation Res Quart* 1964;15:233-237
119. SORIANO A. Comparison of two scheduling systems. *Operation Res* 1966;14:388-397
120. BLANCO WHITE MJ, PIKE MC. Appointment systems in outpatients' clinics and the effect on patients' unpunctuality. *Med Care* 1964;2:133-145
121. NUFFIELD PROVINCIAL HOSPITALS TRUST. *Waiting in outpatient departments: a survey of outpatient appointment systems*. Oxford University Press, London 1965
122. VILLEGAS EL. Outpatient appointment system saves time for patients and doctors. *Hospitals JAHA* 1967;41:52-57
123. FRIES B, MARATHE V. Determination of optimal variable-sized multiple-block appointment systems. *Operation Res* 1981;29:324-345
124. VANDEN BOSCH PM, DIETZ CD, SIMEONI JR. Scheduling customer arrivals to a stochastic service system. *Naval Res Logistics* 1999;46:549-559