



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ
ΠΛΕΥΡΑΣ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΥΡΙΑΚΑΚΗΣ

Επιβλέπων: Α. Μπαλλής, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2005

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: Προσαρμογή προτύπου προσομοίωσης για την διερεύνηση των λειτουργιών της θαλάσσιας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων.

Όνομα: Κυριακάκης Κωνσταντίνος

Επιβλέπων: Α. Μπαλλής, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Μάρτιος 2005

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται προσαρμογή και χρήση ενός προτύπου προσομοίωσης λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης Ε/Κ. Συγκεκριμένα γίνεται μετατροπή της γλώσσας προγραμματισμού και προσαρμογές στο λογισμικό για την αναπαράσταση λειτουργιών της θαλάσσιας πλευράς της λιμενικής εγκατάστασης. Μέσω κατάλληλων "σεναρίων" εκφόρτωσης πλοίου διερευνώνται οι επιδράσεις στην λιμενική εγκατάσταση από μεταβολές στο υποσύστημα εξυπηρέτησης της γερανογέφυρας προκυμαίας.

Λέξεις-Κλειδιά: πρότυπο προσομοίωσης, εξοπλισμός λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων.

ABSTRACT

Title: Investigation of sea-side operations of a maritime container terminal by use of a simulation model

Name: Kiriakakis Konstantinos

Supervisor: A. Ballis, Lecturer N.T.U.A.

March 2005

The current diploma thesis presents a simulation model used to simulate the sea- side operations of a maritime container terminal. For this purpose certain conversions were performed to the program language and software of the model. The effects of alterations in the harbor crane sub-system, to the maritime terminal were examined through adequate "scenarios".

Keywords: simulation model, maritime container terminal.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Λιμενικές εγκαταστάσεις διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων και δυσλειτουργίες που αντιμετωπίζουν	1
1.2 Μηχανολογικός εξοπλισμός λιμενικής εγκατάστασης	3
1.3 Σκοπός και στόχος της παρούσας εργασίας	7
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	8
2.1 Πρότυπα λιμενικών εγκαταστάσεων.....	9
2.1.1 Υπολογισμός θέσεων παραβολής και εξοπλισμού.....	10
2.1.2 Υπολογισμός χώρων εναπόθεσης / στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων.....	11
2.1.3 Αναπαράσταση λειτουργιών μηχανολογικού εξοπλισμού.....	13
2.2 Το πρότυπο V.I.S.O.C.T	15
2.2.1 Περιοχή εφαρμογής του προτύπου.....	16
2.2.2 Μεταφορά του προτύπου σε πρόγραμμα για ηλεκτρονικό υπολογιστή	17
2.2.3 Κύριες δραστηριότητες που προσομοιώνονται	19
2.2.4 Εκτύπωση των αποτελεσμάτων του προτύπου	20
3. ΜΕΤΑΓΛΩΤΤΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	23
3.1 Μεταγλώττιση του προτύπου.....	23
3.2 Προσαρμογή του προτύπου για διερεύνηση της θαλάσσιας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης	26
3.2.1 Αλλαγές στο εξεταζόμενο υποσύστημα	26
3.2.2 Προσαρμογή μεταβλητών	27
3.3 Προσαρμογή σεναρίων	29
3.3.1 Κωδικοποίηση σεναρίων	29
3.2.1 Δημιουργία γεννήτριας σεναρίων	32
3.4 Έλεγχος σωστής λειτουργίας του νέου λογισμικού	38
4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ Ε/Κ	45
4.1 Εξυπηρέτηση γερανογέφυρας από συνδυασμό ελκυστήρων με συρόμενη βάση και Οχημάτων Πλαισίων.....	48
4.1.1 Σταθερός ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου γερανογέφυρας και σταθερός χρόνος εκφόρτωσης ελκυστήρα από Όχημα Πλαίσιο ...	48
4.1.2 Μεταβαλλόμενος ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου γερανογέφυρας και μεταβαλλόμενος χρόνος εκφόρτωσης ελκυστήρα από Όχημα Πλαίσιο	60
4.1.2 Μεταβολή στο πλήθος των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου	69
4.1.4 Μεταβολή στην μέγιστη ταχύτητα του ελκυστήρα	71

4.1.5 Μεταβολή στον αριθμό γερανογεφυρών	73
4.2 Εξυπηρέτηση γερανογέφυρας αποκλειστικά με Οχήματα Πλαίσια	75
4.2.1 Μεταβολή στο πλήθος των Οχημάτων Πλαισίων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου	75
4.3 Σύγκριση των δύο συστημάτων εξυπηρέτησης γερανογεφυρών	77
4.3.1 Σύγκριση των δύο συνθέσεων εξοπλισμού ως προς το λειτουργικό κόστος	79
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	88
A Επεξήγηση των αριθμητικών αποτελεσμάτων του προτύπου	88
A.1 Αριθμητικά αποτελέσματα για τους ελκυστήρες	89
A.2 Αριθμητικά αποτελέσματα για τα Οχήματα Πλαίσια	90
A.3 Αριθμητικά αποτελέσματα για τα Ε/Κ.....	92
A.4 Συγκεντρωτικά αριθμητικά αποτελέσματα	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ ΔΥΣΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΖΟΥΝ

Η τεχνολογία της διακίνησης των φορτίων με την βοήθεια τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) αποτελεί ένα δυναμικό κλάδο των θαλάσσιων μεταφορών που προοδευτικά καθιερώθηκε διεθνώς, οδηγώντας στην ανάπτυξη εξειδικευμένων λιμενικών εγκαταστάσεων. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις παρέχουν το χώρο, το μηχανικό εξοπλισμό και το επιχειρησιακό περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιούνται οι διαδικασίες σύνθεσης / αποσύνθεσης των φορτίων ή / και μόνο η εναλλαγή του μέσου μεταφοράς.^[1,3]

Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων διακίνησης Ε/Κ επηρεάζεται - άμεσα ή έμμεσα - από τις τάσεις στους τομείς του εμπορίου και της οργάνωσης αλλά και από τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς της ναυπηγικής, του εξοπλισμού και των επικοινωνιών, στον βαθμό που οι εξελίξεις αυτές επιφέρουν μεταβολές στην διαστασιολόγηση των λιμενικών έργων, την διευθέτηση των χώρων και την εν γένει οργάνωση των λειτουργιών του λιμένα.

Τα σημαντικά κεφάλαια που απαιτούνται για την κατασκευή των έργων υποδομής και την προμήθεια του εξοπλισμού, σε συνδυασμό με τις μεγάλες χρονικές περιόδους που μεσολαβούν από την λήψη των αποφάσεων έως την ολοκλήρωση των έργων οδηγούν στην συστηματική μελέτη των θεμάτων που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την οργάνωση του χερσαίου και του θαλάσσιου τμήματος της λιμενικής εγκατάστασης καθώς και στην παρακολούθηση των σχετικών τάσεων και τεχνολογικών εξελίξεων.^[2, 3]

Οι παράμετροι σχεδιασμού που κυρίως αφορούν το χερσαίο τμήμα είναι τα δάπεδα εναπόθεσης / στοιβασίας των E/K, η επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού στοιβασίας / διακίνησης των E/K, ο σχεδιασμός των πυλών εισόδου-εξόδου και των εγκαταστάσεων για E/K ψυγεία κ.λ.π. Αντίστοιχα, οι παράμετροι σχεδιασμού που κυρίως αφορούν την θαλάσσια πλευρά είναι ο προσδιορισμός των θέσεων παραβολής των πλοίων, η επιλογή του αντίστοιχου εξοπλισμού φορτοεκφόρτωσης, διακίνησης και στοιβασίας των E/K.

Οι λειτουργίες της θαλάσσιας πλευράς είναι κατά κανόνα στενά συσχετισμένες με τις λειτουργίες της χερσαίας πλευράς. Για παράδειγμα η θαλάσσια πλευρά των εγκαταστάσεων είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς φορτοεκφόρτωσης. Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει και στην χερσαία πλευρά. Για να εναρμονιστούν οι διαφορετικές αυτές ροές E/K δημιουργείται η απαίτηση μεγάλων χώρων εναπόθεσης. Η έλλειψη επαρκών χώρων οδηγεί στην στοιβασία των E/K σε περισσότερες από μια στρώσεις, που με την σειρά της οδηγεί σε απαιτήσεις προμήθειας ανάλογου εξοπλισμού.^[1]

Κακή διευθέτηση των χώρων, ανεπαρκής αριθμός μηχανημάτων και κακός συντονισμός είναι μερικές από τις δυσλειτουργίες που προκαλούνται από σφάλματα στον σχεδιασμό ή / και στην οργάνωση των εγκαταστάσεων. Κακή τιμολογιακή πολιτική μπορεί να επιτρέψει την παραμονή των E/K στην τερματική εγκατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα μεταβάλλοντας την

έτσι σε αποθηκευτική, μειώνοντας την ικανότητα διακίνησης και σωστής λειτουργίας των υπόλοιπων τμημάτων της.

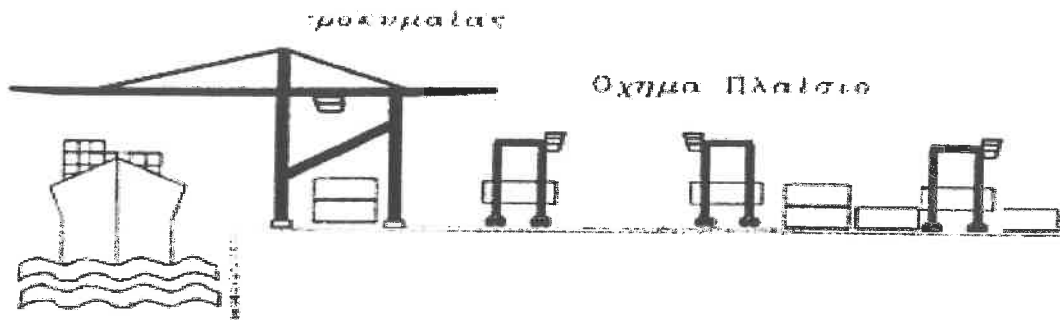
Οι αναφερθείσες δυσλειτουργίες έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία καθυστερήσεων στα μέσα μεταφοράς των Ε/Κ που μεταφράζεται σε κόστος που μεταβιβάζεται στους παραγωγούς και στους καταναλωτές. Η αύξηση αυτή του κόστους μεταφοράς είναι δυνατόν να οδηγήσει τις ναυτιλιακές γραμμές σε άλλους ανταγωνιστικούς λιμένες με επακόλουθο τη δραστική μείωση της κίνησης του λιμένα.

1.2 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται δύο υποσυστήματα εξυπηρέτησης γερανογεφυρών. Στο ένα υποσύστημα τα Ε/Κ εκφορτώνονται από την γερανογέφυρα, τοποθετούνται σε συρόμενες από ελκυστήρες βάσεις και μεταφέρονται στα δάπεδα εναπόθεσης. Εκεί Οχήματα Πλαίσια παραλαμβάνουν τα Ε/Κ και τα τοποθετούν στην κατάλληλη θέση. Στο άλλο υποσύστημα τα Ε/Κ που εκφορτώνονται από το πλοίο, τοποθετούνται στο δάπεδο ανάμεσα στα σκέλη της γερανογέφυρας. Από εκεί Οχήματα Πλαίσια παραλαμβάνουν τα Ε/Κ, τα μεταφέρουν στα δάπεδα εναπόθεσης και τα τοποθετούν στην κατάλληλη θέση.



Σχήμα 1.1: Υποσύστημα εξυπηρέτησης γερανογέφυρας με ελκυστήρες και Οχήματα Πλαίσια



Σχήμα 1.2: Υποσύστημα εξυπηρέτησης γερανογέφυρας αποκλειστικά με Οχήματα Πλαίσια

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που απασχολείται στην θαλάσσια πλευρά της λιμενικής εγκατάστασης αποτελείται από τις παρακάτω κατηγορίες μηχανημάτων:^[1]

Γερανογέφυρες Προκυμαίας:

Οι γερανογέφυρες (Εικόνα 1.1) παραλαμβάνουν τα Ε/Κ από το κατάστρωμα ή τις κυψέλες του πλοίου και τα μεταφέρουν στην προκυμαία, όπου τα φορτώνουν σε φορτηγά / συρόμενες βάσεις ή τα αποθέτουν ώστε να παραληφθούν από Οχήματα Πλαίσια. Η αντίστροφη διαδικασία ακολουθείται για την φόρτωση Ε/Κ στο πλοίο. Οι γερανογέφυρες κινούνται επί σιδηροτροχιών, παράλληλα προς την προκυμαία. Διαθέτουν τηλεσκοπική αρπάγη Ε/Κ που μετακινείται με την βοήθεια φορείου κατά μήκος οριζόντιας δοκού. Ο έλεγχος των λειτουργιών γίνεται από χειριστή, αν και πολλοί τύποι είναι εφοδιασμένοι με διατάξεις που αυτοματοποιούν πολλά τμήματα της διαδικασίας.



Εικόνα 1.1: Γερανογέφυρες προκυμαίας [Πηγή 17]

Οχήματα Πλαίσια:

Πρόκειται για εξειδικευμένα οχήματα που αποτελούνται από ένα σταθερό μεταλλικό πλαίσιο, κινούνται με ελαστικούς τροχούς και είναι εξοπλισμένα με τηλεσκοπική αρπάγη Ε/Κ (Εικόνα 1.2). Έχουν δυνατότητες μεταφόρτωσης Ε/Κ σε φορτηγά / συρόμενες βάσεις, αυτοδύναμης μεταφοράς Ε/Κ, σε μικρές κυρίως αποστάσεις και εναπόθεσης / παραλαβής Ε/Κ από τα δάπεδα εναπόθεσης και στοιβασίας Ε/Κ μέχρι τρία ή τέσσερα καθ' ύψος. Παρόλα τα προβλήματά τους, υψηλό ποσοστό βλαβών, φθορών και τον συνεχή ανταγωνισμό τους κυρίως από συστήματα γερανογεφυρών, τα συστήματα που βασίζονται σε Οχήματα Πλαίσια αποτελούν ένα κατ' εξοχήν διαδεδομένο

σύστημα διακίνησης, λόγω της μεγάλης ευελιξίας που προσφέρουν και της συνεχούς βελτίωσής τους.



Εικόνα 1.2: Όχημα Πλαίσιο [Πηγή 18]

Ελκυστήρες με Συρόμενες Βάσεις:

Οι ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις (Εικόνα 1.3) χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα Οχήματα Πλαίσια για την μεταφορά Ε/Κ, όταν η απόσταση μεταφοράς είναι μεγάλη. Δεν έχουν δυνατότητα φόρτωσης ή εκφόρτωσης του Ε/Κ και συνεπώς σε κάθε άκρο της διαδρομής τους, πρέπει να συνεργάζονται με γερανογέφυρες ή Οχήματα Πλαίσια.



Εικόνα 1.3: Ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις [Πηγή 19]

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει την κατάλληλη σύνθεση ομάδας μηχανημάτων για την υποστήριξη / τροφοδοσία της γερανογέφυρας ενός σταθμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση όταν μεταβάλλεται η μέση απόσταση του χώρου στοιβασίας / εναπόθεσης καθώς και τα χαρακτηριστικά κάποιων ενεργειών (τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας κ.α.).

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός προτύπου προσομοίωσης των λειτουργιών του παραπάνω σταθμού ώστε μετά από συνεχείς επαναλήψεις μεταβάλλοντας κάθε φορά κάποια μεταβλητή να εξάγουμε αποτελέσματα τα οποία να επιτρέπουν την σύνδεση των παραπάνω μεταβλητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Από τα πρώτα στάδια της καθιέρωσης του συστήματος διακίνησης εμπορευμάτων με Ε/Κ έγινε κατανοητό ότι έπρεπε να δοθεί μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό των τερματικών εγκαταστάσεων. Η λήψη αποφάσεων για επενδύσεις στους λιμένες είναι (ή τουλάχιστον πρέπει να είναι) αποτέλεσμα συστηματικής ανάλυσης κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους των έργων, του σημαντικού χρόνου που απαιτείται για την υλοποίησή τους αλλά και λόγω των ευρύτερων έμμεσων επιπτώσεων που έχουν στην τοπική καθώς και την ευρύτερη οικονομία. Η ανάπτυξη προτύπων για την αναπαράσταση της λειτουργίας των λιμενικών εγκαταστάσεων απετέλεσε ένα σημαντικό βοήθημα στο σχεδιασμό.^[1]

Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών / μελετητών έχει αναπτύξει ή / και χρησιμοποιήσει αναλυτικές και προσομοιωτικές τεχνικές για να αυξήσει την γνώση και να εμβαθύνει στα ανωτέρω θέματα σχεδιασμού. Το βασικό πλεονέκτημα των τεχνικών που χρησιμοποιούν πρότυπα προσομοίωσης είναι ότι επιτρέπει την λεπτομερή αναπαράσταση των συνθηκών λειτουργίας και των ιδιομορφιών κάθε τερματικής εγκατάστασης, ενώ στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η σημαντική απασχόληση που απαιτείται για την συλλογή στοιχείων, τη δημιουργία του πρότυπου και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πρότυπα λιμενικών εγκαταστάσεων ομαδοποιημένα κατά τις θεματικές περιοχές που καλύπτουν. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο πρότυπο Visual Interactive Simulation Of

Container Terminal (V.I.S.O.C.T), επειδή αυτό είναι το πρότυπο που με την κατάλληλη τροποποίηση χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Κατά κανόνα, τα πρότυπα σχεδιασμού λιμενικών εγκαταστάσεων δεν αντιμετωπίζουν το σύνολο αλλά ένα ή περισσότερα από τα υποσυστήματα της λιμενικής εγκατάστασης. Ο Πίνακας 2.1 ομαδοποιεί σε επτά κατηγορίες τα υπάρχοντα πρότυπα ανάλογα με τις θεματικές περιοχές που καλύπτουν. Τα πρότυπα αυτά μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους τμήματα/ πρότυπα με κριτήριο τέσσερα βασικά βήματα σχεδιασμού μιας λιμενικής εγκατάστασης. Με βάση την ανάλυση αυτή διακρίνονται: ^[1, 2]

1. Πρότυπα για τον υπολογισμό των μεγεθών σχεδιασμού της θαλάσσιας πλευράς (απαιτούμενος αριθμός θέσεων παραβολής πλοίων και αντίστοιχος εξοπλισμός φορτοεκφόρτωσης).
2. Πρότυπα για τον υπολογισμό της έκτασης που καταλαμβάνει η λιμενική εγκατάσταση (κυρίως των δαπέδων εναπόθεσης/ στοιβάσεως των Ε/Κ).
3. Πρότυπα επιλογής μηχανολογικού εξοπλισμού στοιβάσεως / διακίνησης που εξυπηρετεί την χερσαία πλευρά των εγκαταστάσεων.
4. Πρότυπα για τον υπολογισμό επί μέρους τμημάτων της εγκατάστασης (πύλες εισόδου-εξόδου, εγκαταστάσεις για Ε/Κ ψυγεία κλπ).

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες προτύπων με βάση τις θεματικές περιοχές που διερευνούν.

ΘΕΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ						
Υπολογισμός των μεγεθών σχεδιασμού της θαλάσσιας πλευράς							
Υπολογισμός της έκτασης που καταλαμβάνει η λιμενική εγκατάσταση							
Επιλογή μηχανολογικού εξοπλισμού							
Υπολογισμός επί μέρους τμημάτων της εγκατάστασης							

2.1.1 Υπολογισμός Θέσεων Παραβολής και Εξοπλισμού

Η βελτιστοποίηση των λειτουργιών της θαλάσσιας πλευράς των λιμενικών εγκαταστάσεων, αποτέλεσε το πρώτο χρονολογικά στόχο. Πολλοί ερευνητές (Chapman and Jackson, 1964), (Plumlee, 1966), (Νικολάου, 1967), (Beeman and Vallicelli, 1975), (Σταθόπουλος, 1980), (Tabernacle, 1980), (Frankel and Liu, 1979), (Hee K. and Wijbrands R., 1988), (Daganzo, 1989), χρησιμοποίησαν πρότυπα για τον υπολογισμό των θέσεων παραβολής και του απαιτούμενου εξοπλισμού καθώς και για την διερεύνηση θεμάτων που σχετίζονται με στρατηγικές προνομιακής μεταχείρισης πλοίων και κατανομής των γερανογεφυρών στα πλοία.^[2]

Οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα ανωτέρω πρότυπα είναι η θεωρία αναμονής και η προσομοίωση. Η βασική παραδοχή των προτύπων που βασίζονται στην θεωρία αναμονής, είναι ότι οι χρόνοι άφιξης των πλοίων, καθώς και οι χρόνοι εξυπηρέτησής τους, μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από θεωρητικές κατανομές (Poisson, σταθερές κατανομές, κατανομές Erlang). Έχουν χρησιμοποιηθεί (και χρησιμοποιούνται ακόμη) πρότυπα μορφής M/M/S, M/E2/S και ιδιαίτερα E2/E2/S. Σε αντίθεση με τους

περιορισμούς που επιβάλλονται στα πρότυπα αναμονής, η χρησιμοποίηση προτύπων προσομοίωσης για την αναπαράσταση των λειτουργιών της θαλάσσιας πλευράς των τερματικών εγκαταστάσεων προσφέρει στο μελετητή σημαντική ευελιξία ως προς τη διαμόρφωση της κατανομής του χρόνου άφιξης και των χαρακτηριστικών κάθε άφιξης πλοίου. Επίσης του επιτρέπει να περιλάβει στο πρότυπο λειτουργίες όπως η προνομιακή εξυπηρέτηση πλοίων, η ανακατανομή των γερανογεφυρών στις θέσεις παραβολής, η υπερωριακή εργασία, η περιστασιακή νυκτερινή βάρδια καθώς και ειδικούς περιορισμούς στην άφιξη ή αναχώρηση των πλοίων (π.χ. παλίρροια ή συγχρονισμό της αναχώρησης του πλοίου ώστε να φθάσει έγκαιρα σε ναυτικούς διαύλους). Στα μειονεκτήματα της τεχνικής της προσομοίωσης περιλαμβάνονται ο απαιτούμενος σημαντικός χρόνος για τη λεπτομερή περιγραφή του συστήματος, για την ανάπτυξη του προτύπου και για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του με τη βοήθεια στατιστικών τεχνικών.

2.1.2 Υπολογισμός Χώρων Εναπόθεσης/ Στοιβάσας Ε/Κ

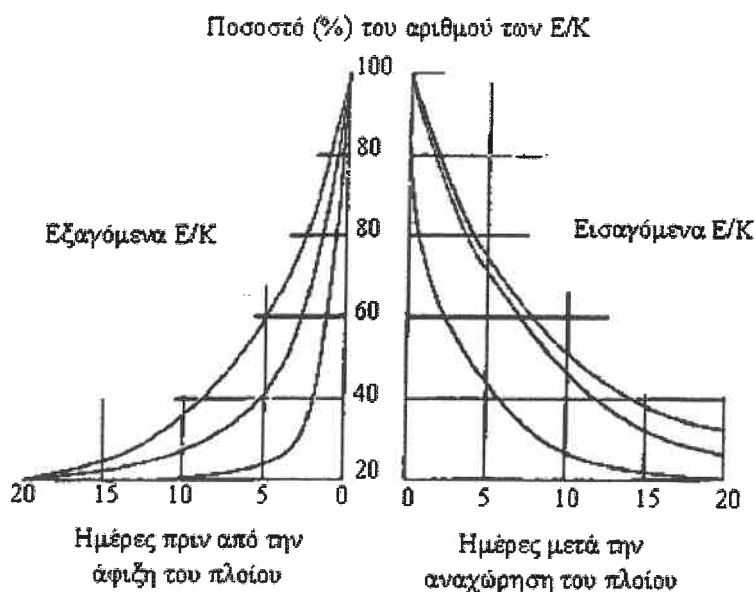
Το μεγαλύτερο μέρος μίας τυπικής τερματικής εγκατάστασης καταλαμβάνεται από τα δάπεδα εναπόθεσης των Ε/Κ και το εσωτερικό δίκτυο ώστε να υπάρχει πρόσβαση σε αυτά. Ο υπολογισμός συνεπώς των απαιτούμενων χώρων μίας λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης Ε/Κ αναφέρεται κυρίως στον υπολογισμό της έκτασης που καταλαμβάνουν τα δάπεδα εναπόθεσης των Ε/Κ. Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης έκτασης χρησιμοποιούνται αναλυτικές και προσομοιωτικές τεχνικές. Κατά κανόνα λαμβάνονται υπ' όψιν τρεις παράμετροι.^[2]

1. Η ροή των Ε/Κ από και προς τη θαλάσσια πλευρά των εγκαταστάσεων.
2. Η διάταξη των Ε/Κ και ο μέγιστος αριθμός μονάδων καθ' ύψος, ώστε να εξασφαλίζεται η πρόσβαση του αντίστοιχου μηχανολογικού εξοπλισμού.

3. Ο μέσος χρόνος παραμονής των Ε/Κ. Διακρίνουμε δύο βασικές μεθόδους απεικόνισης:

- i. χρήση της μέσης τιμής του χρόνου παραμονής και
- ii. χρήση χρονοδιαγράμματος προσέλευσης / αναχώρησης των Ε/Κ στις εγκαταστάσεις (Σχήμα 2.1).

Η θεωρητική επίλυση του υπολογισμού του απαιτούμενου χώρου εναπόθεσης Ε/Κ γίνεται με βάση χρονοδιαγραμμάτων άφιξης / αναχώρησης Ε/Κ, με χρήση προτύπου βασισμένου στην θεωρία αναμονής, υπόκειται όμως σε μη ρεαλιστικές παραδοχές. Αντίθετα η τεχνική της προσομοίωσης, χάρη στην ευελιξία που προσφέρει στην περιγραφή αφίξεων με διαφορετικά χαρακτηριστικά έχει χρησιμοποιηθεί με σχετική επιτυχία.



Σχήμα 2.1: Χρονοδιάγραμμα προσέλευσης / αποχώρησης Ε/Κ σε λιμενική εγκατάσταση

2.1.3 Αναπαράσταση Λειτουργιών Μηχανολογικού Εξοπλισμού

Βασικό στοιχείο στην δομή των προτύπων της κατηγορίας αυτής, αποτελεί το τμήμα που προσομοιώνει τις δραστηριότητες των μηχανημάτων / οχημάτων του συστήματος εξυπηρέτησης. Ο χρόνος κύκλου μίας εξυπηρέτησης προκύπτει ως άθροισμα των εξής επιμέρους τμημάτων: [2]

Απαιτούμενος χρόνος για τις μετακινήσεις του μηχανήματος / οχήματος στους χώρους της τερματικής εγκατάστασης καθώς και απαιτούμενος - κατά περίπτωση- χρόνος για την παραλαβή / εναπόθεση και τη μεταφόρτωσή του Ε/Κ. Ο υπολογισμός του χρόνου αυτού εξαρτάται από τη δομή του αντίστοιχου προτύπου. Σε πρότυπα που προσομοιώνουν την κίνηση και τις διαδικασίες μεταφόρτωσης, ο χρόνος μετακίνησης και μεταφόρτωσης είναι το αποτέλεσμα της προσομοιωτικής διαδικασίας. Αντίθετα σε πρότυπα με μακροσκοπική δομή ο υπολογισμός του χρόνου κύκλου βασίζεται σε αναλυτικούς υπολογισμούς.

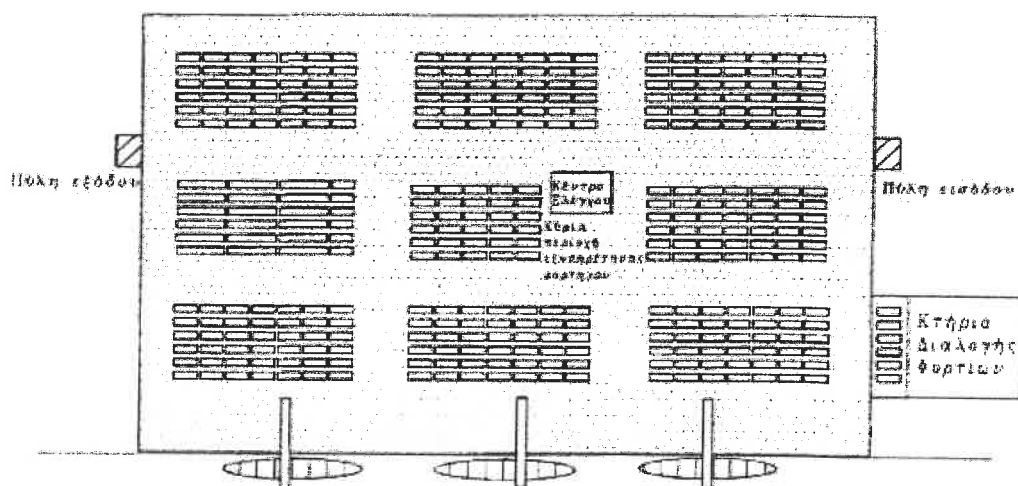
Απώλειες χρόνου λόγω έλλειψης συγχρονισμού μεταξύ των μηχανημάτων ή/και οχημάτων του συστήματος εξυπηρέτησης αλλά και μεταξύ μηχανημάτων και φορτηγών αυτοκινήτων. Οι απώλειες χρόνου αντιμετωπίζονται ανάλογα με τη δομή του προτύπου. Σε πρότυπα βασισμένα στην θεωρία αναμονής, οι απώλειες αυτές συνυπολογίζονται / ενυπάρχουν στην δομή τους. Σε πρότυπα που προσομοιώνουν την κίνηση και τις διαδικασίες μεταφόρτωσης, οι απώλειες χρόνου είναι το αποτέλεσμα της προσομοιωτικής διαδικασίας.

Απώλειες χρόνου λόγω κυκλοφοριακών εμπλοκών μεταξύ μηχανημάτων και οχημάτων που κινούνται στο εσωτερικό οδικό δίκτυο της λιμενικής εγκατάστασης ή στη δυσχέρεια της λειτουργίας συστήματος γερανογεφυρών που εξυπηρετούν ενιαία περιοχή στοιβασίας. Μια θεωρητική επίλυση επιχειρήθηκε το 1978 από τον Imakita, με βάση τις σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί για συνθήκες αστικής οδικής κυκλοφορίας. Άλλοι ερευνητές εκτιμούν τις απώλειες χρόνου λόγω κυκλοφοριακών εμπλοκών με τη βοήθεια τυχαίων αριθμών. Σε πολλά πρότυπα οι απώλειες αυτές αμελούνται. Αντίθετα πολλά πρότυπα προσομοίωσης περιλαμβάνουν την παράμετρο αυτή ενώ υπάρχουν πρότυπα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για την διερεύνηση σχετικών θεμάτων.

Απώλειες χρόνου για την αναδιάταξη υπερκείμενων Ε/Κ, ώστε να αποκτηθεί πρόσβαση σε ζητούμενο Ε/Κ. Με τον όρο "αναδιάταξη Ε/Κ", περιγράφονται οι απαιτούμενες αλλαγές θέσεων Ε/Κ, μέχρις ότου υπάρξει πρόσβαση στο Ε/Κ που δεν είναι στην κορυφή της στοίβας. Οι κινήσεις αναδιάταξης είναι επακόλουθο της στοιβασίας των Ε/Κ σε δύο ή περισσότερες στρώσεις καθ' ύψος. Ο υπολογισμός των απωλειών χρόνου λόγω αναδιάταξης Ε/Κ ανάγεται στον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης του ενδεχομένου αυτού. Τα πρότυπα υπολογισμού της πιθανότητας αυτής βασίζονται στην παραδοχή της τυχαίας "αποχώρησης" των Ε/Κ. Οι Hee and Wijbrands (1988), έχουν χρησιμοποιήσει την υπεργεωμετρική κατανομή ενώ στο πρότυπο προσομοίωσης της Rendel, Palmer and Tritton χρησιμοποιείται μια επαναληπτική διαδικασία βασισμένη στην διωνυμική κατανομή. Αναδιάταξη Ε/Κ απαιτείται και σε περιπτώσεις προετοιμασίας χώρων (ώστε να υποδεχτούν τα εισαγόμενα Ε/Κ προγραμματισμένης άφιξης πλοίου) με την μεταφορά και ομαδοποίηση διεσπαρμένων Ε/Κ που έχουν παραμείνει από προηγούμενες επισκέψεις πλοίων.

2.2 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ VISOCT

Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση του προτύπου Visual Interactive Simulation Of Container Terminal (V.I.S.O.C.T.) το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια διδακτορικής εργασίας του κ. Αθανάσιου Μπαλλή το 1995. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η κάτοψη της τερματικής εγκατάστασης που προσομοιώθηκε από το πρότυπο. Ο μηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης περιλαμβάνει Οχήματα Πλαίσια, γερανογέφυρες προκυμαίας και ελκυστήρες συρόμενης βάσης. Κάθε μηχανήμα του συστήματος καθώς και κάθε φορτηγό που εισέρχεται στην τερματική εγκατάσταση προσομοιώνεται διακεκριμένα. Η κάτοψη του χώρου της λιμενικής εγκατάστασης απεικονίζεται στην οθόνη του Η/Υ όπου με κινούμενα σχήματα που αντιπροσωπεύουν τα μηχανήματα παρουσιάζονται οι λειτουργίες διακίνησης των Ε/Κ.^[1]



Σχήμα 2.2

Κάτοψη τερματικού σταθμού

2.2.1 Περιοχή Εφαρμογής του Προτύπου

Ο χρόνος στην προσομοίωση καταγράφεται με ένα αριθμό, που ονομάζεται ωρολογιακός δείκτης. Ο δείκτης αυτός έχει την τιμή μηδέν στην αρχή της προσομοίωσης και στην συνέχεια δείχνει τον αριθμό των μονάδων του χρόνου που έχουν διαρρεύσει από την έναρξη της προσομοίωσης. Στο αρχικό πρότυπο, εξαιτίας της απαίτησης εικονικής αναπαράστασης που οδηγεί σε συνεχή υπολογισμό των θέσεων των μηχανημάτων, υιοθετήθηκε η μέθοδος των διαστημάτων με μονάδα χρόνου το ένα δευτερόλεπτο. Εξαιτίας αυτής της επιλογής το πρότυπο δεν είναι κατάλληλο για προσομοιώσεις μεγάλων χρονικών περιόδων, ιδιαίτερα μάλιστα στην περίπτωση που απαιτείται σημαντικός αριθμός επαναλήψεων για την εξαγωγή συμπερασμάτων και συνεπώς δεν είναι κατάλληλο για τον υπολογισμό του χρόνου αναμονής των πλοίων.^[1]

Αντίθετα το πρότυπο είναι κατάλληλο ώστε:

1. Να αναπαραστήσει πραγματικές ή υποθετικές καταστάσεις δυσλειτουργιών, που εμφανίζονται στην τερματική εγκατάσταση, με στόχο την διερεύνησή τους.
2. Να διερευνήσει την επίδραση του αριθμού των Οχημάτων Πλαισίων στην παραγωγικότητα του συστήματος εξυπηρέτησης .
3. Να διερευνήσει την επίδραση στην γεωμετρία του εσωτερικού οδικού δικτύου ή την μονοδρόμηση τμημάτων του στο μέσο μήκος μετακίνησης του Οχήματος Πλαισίου και κατ' επέκταση στην παραγωγικότητα του συστήματος.
4. Να αποτελέσει μια κατανοητή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των μελετητών του συστήματος, των διαχειριστών της τερματικής εγκατάστασης και των υπεύθυνων για την λήψη αποφάσεων.

2.2.2 Μεταφορά του Προτύπου σε Προγράμματα για Ηλεκτρονικό Υπολογιστή

Με βάση το παραπάνω πρότυπο, αναπτύχθηκε πρόγραμμα για ηλεκτρονικό υπολογιστή που αποτελείται από τα εξής βασικά τμήματα:^[1]

1. Ένα τμήμα εισαγωγής δεδομένων, όπου ο χρήστης χωροθετεί την προσομοιούμενη εγκατάσταση (θέσεις δαπέδων εναπόθεσης Ε/Κ, πυλών, σχεδιασμός εσωτερικού οδικού δικτύου), επιλέγει τα χαρακτηριστικά και καθορίζει το διαθέσιμο αριθμό μηχανημάτων. Η εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα γίνεται μέσω πληκτρολογίου με την βοήθεια πινάκων επιλογών.

A: Εσωτερικό οδικό δίκτυο: Όλα τα μηχανήματα / οχήματα της προσομοιούμενης εγκατάστασης κινούνται σε ένα δίκτυο συνδέσμων και κόμβων. Κόμβοι του δικτύου είναι όλες οι θέσεις Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης / στοιβασίας, οι διασταυρώσεις των οδών του εσωτερικού οδικού δικτύου, τα σημεία εξόδου από τα δάπεδα εναπόθεσης / στοιβασίας προς το εσωτερικό οδικό δίκτυο και τα σημεία της προκυμαίας όπου οι γερανογέφυρες μεταφορτώνουν τα Ε/Κ. Οι συντεταγμένες των κόμβων καθώς και οι σύνδεσμοι του εσωτερικού οδικού δικτύου ορίζονται από τον χρήστη. Εξαιρούνται οι κόμβοι στις θέσεις των Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης και οι κόμβοι που ορίζονται από την σύνδεση των γερανογεφυρών και των χώρων εναπόθεσης με το εσωτερικό οδικό δίκτυο καθώς και οι αντίστοιχοι σύνδεσμοι οι οποίοι ορίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα.

B: Δάπεδα εναπόθεσης Ε/Κ: Τα δάπεδα αριθμούνται από το 4 ως το 12 και χαρακτηρίζονται από τον κωδικό αυτό αριθμό. Κάθε δάπεδο θεωρείται ότι δέχεται Ε/Κ των ίδιων διαστάσεων που χωρίζονται σε σειρές. Οι σειρές μπορούν να έχουν διεύθυνση παράλληλη ή κάθετη με

την προκυμαία.. Συγκεκριμένα οι μεταβλητές του προτύπου που καθορίζονται από τον χρήστη, για κάθε δάπεδο, είναι:

- i. Κωδικός αριθμός δαπέδου εναπόθεσης.
- ii. Διεύθυνση σειρών Ε/Κ σε σχέση με το σύστημα αξόνων.
- iii. Συντεταγμένες της κορυφής του δαπέδου που είναι πλησιέστερα στην αρχή των αξόνων.
- iv. Μέγιστος αριθμός θέσεων εναπόθεσης Ε/Κ στις διευθύνσεις Χ και Ψ και διάκενα μεταξύ τους.
- v. Τύπος Ε/Κ (20 ή 40 ποδών)

Γ: Στοιχεία που απαιτούνται για την περιγραφή των μηχανημάτων και των οχημάτων. Τα στοιχεία που απαιτούνται για την περιγραφή των μηχανημάτων και των οχημάτων διακίνησης στο πρότυπο είναι:

- i. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων, ελκυστήρων και γερανογεφυρών προκυμαίας.
- ii. Δυναμικά χαρακτηριστικά για κάθε Όχημα Πλαίσιο και ελκυστήρα. Για κάθε μηχανήμα / όχημα ορίζονται:
 - α) Τιμές μέσης επιτάχυνσης και μέσης επιβράδυνσης που αναπτύσσονται κατά την κίνηση των οχημάτων στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.
 - β) Όρια ταχυτήτων για τις περιπτώσεις:
 - Ευθύγραμμης κίνησης, δεξιάς και αριστερής στροφής στο εσωτερικό οδικό δίκτυο.
 - Ευθύγραμμης κίνησης στα δάπεδα εναπόθεσης Ε/Κ καθώς και ελιγμών εισόδου και εξόδου στα δάπεδα. Οι ταχύτητες αυτές ορίζονται μόνο για Οχήματα Πλαίσια.
- iii. Μέσοι χρόνοι μεταφόρτωσης Ε/Κ από Οχήματα Πλαίσια σε φορτηγά και συρόμενες βάσεις καθώς και μέσοι χρόνοι των χειρισμών παραλαβής και εναπόθεσης Ε/Κ από και προς τα δάπεδα εναπόθεσης.

Σημειώνεται ότι ο καθορισμός διαφορετικών τιμών για τα δυναμικά χαρακτηριστικά κάθε μηχανήματος επιτρέπει την προσομοίωση ομοειδών μηχανημάτων με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά π.χ. Οχήματα Πλαίσια διαφόρων κατασκευαστών ή ακόμη και διαφορετικά χαρακτηριστικά των χειριστών των μηχανημάτων π.χ. επιδεξιότητα χειρισμών.

2. Ένα τμήμα για την δημιουργία "σεναρίων" απαιτήσεων διακίνησης Ε/Κ. Προσφέρονται δύο δυνατότητες. Καθορισμός όλων των απαιτούμενων στοιχείων από τον χρήστη ή δημιουργία όλων των απαιτούμενων στοιχείων από υποπρόγραμμα.
3. Το κυρίως τμήμα στο οποίο γίνεται η προσομοίωση του διαμορφωθέντος συστήματος.
4. Ένα τμήμα επεξεργασίας και παρουσίασης των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να εκτυπωθούν ή να αποθηκευτούν σε μαγνητικά μέσα.

2.2.3 Κύριες Δραστηριότητες που Προσομοιώνονται

Ο κορμός του προγράμματος αποτελείται από ένα τμήμα που περιγράφει την συμπεριφορά των Οχημάτων Πλαισίων, ένα δεύτερο τμήμα που περιγράφει την συμπεριφορά των φορτηγών και των ελκυστήρων με τις συρόμενες βάσεις και ένα έμπειρο σύστημα που προσομοιώνει την διαδικασία κατανομής των προς εκτέλεση εργασιών στα Οχήματα Πλαίσια. Οι κυριότερες δραστηριότητες που προσομοιώνονται πιο συχνά στα παραπάνω τμήματα είναι οι εξής:

1. **Επιλογή διαδρομής:** Η επιλογή της εκτιμώμενης χρονικά συντομότερης διαδρομής, πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος γιατί εξαρτάται από τις θέσεις των κόμβων προέλευσης και προορισμού.

2. **Μετακίνηση οχημάτων:** Όπως έχει αναφερθεί κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος τα προσομοιούμενα μηχανήματα και φορτηγά οχήματα "μετακινούνται" ώστε να διακινήσουν τα Ε/Κ.
3. **Έλεγχος κυκλοφοριακών εμπλοκών:** Κάθε φορά που το πρόγραμμα πρόκειται να "μετακινήσει" ένα όχημα, ελέγχει πρώτα αν στην μελλοντική του θέση αντιμετωπίζει πιθανότητα σύγκρουσης. Οι κατηγορίες πιθανών κυκλοφοριακών συγκρούσεων που εμφανίζονται στο προσομοιούμενο σύστημα είναι οι εξής:
 - A. Πιθανή σύγκρουση σε διασταύρωση.
 - B. Πιθανή σύγκρουση κατά την έξοδο από στοίβα Ε/Κ.
 - Γ. Πιθανή νωτομετωπική σύγκρουση υπό μείωση ταχύτητας. Ένα όχημα μειώνει ταχύτητα για να στρίψει δεξιά ή αριστερά ή για να αποφύγει σύγκρουση. Το όχημα που ακολουθεί, τροχοπεδεί για να αποφύγει τη σύγκρουση.

2.2.4 Εκτύπωση των Αποτελεσμάτων του Προτύπου

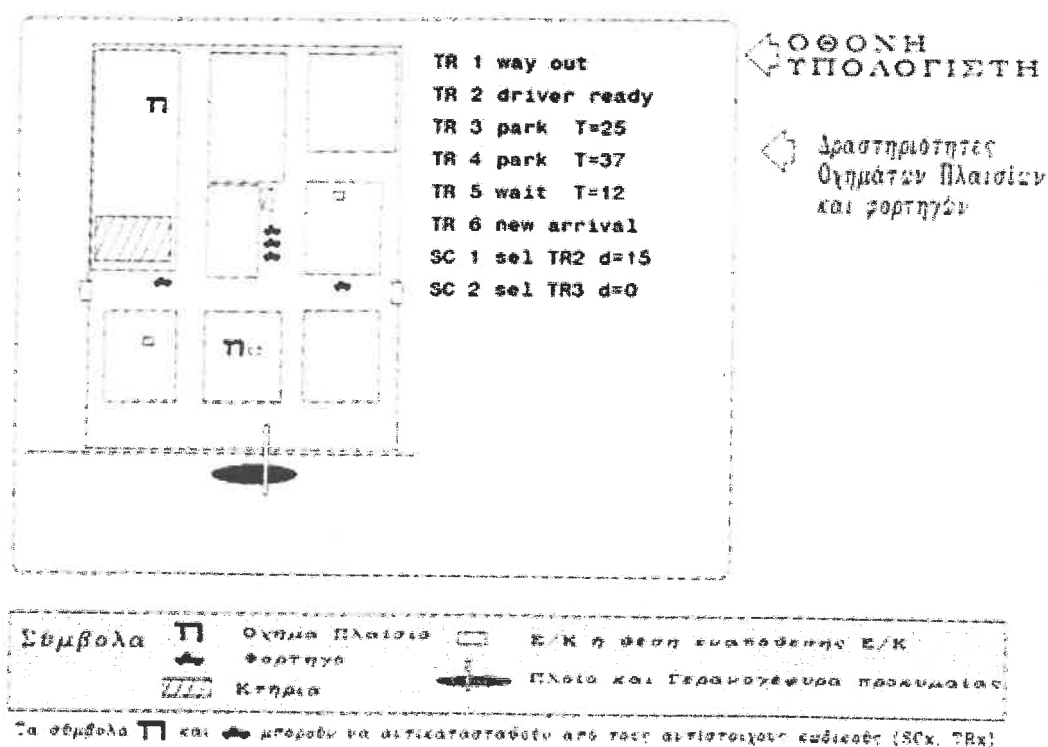
Υπάρχουν δύο κατηγορίες αποτελεσμάτων που εξάγονται από το πρότυπο:^[1]

- Γραφικά αποτελέσματα και πληροφορίες που εμφανίζονται στην γραφική έξοδο που παράγεται κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.
- Αριθμητικά αποτελέσματα που παράγονται στο τέλος της εκτέλεσης κάθε σεναρίου.

Το Σχήμα 2.3 αποτελεί δείγμα των γραφικών αποτελεσμάτων του προτύπου. Διακρίνονται η κάτοψη της προσομοιούμενης τερματικής εγκατάστασης όπου με σύμβολα απεικονίζονται οι θέσεις των μηχανημάτων (γερανογέφυρες) και των μέσων μεταφοράς (Οχήματα Πλαίσια, ελκυστήρες και πλοία) καθώς και επιλεγμένα Ε/Κ ή θέσεις εναπόθεσης Ε/Κ. Η απεικόνιση επιλεγμένων Ε/Κ ή θέσεων εναπόθεσης Ε/Κ και όχι όλων των Ε/Κ, διευκολύνει την

παρακολούθηση των εκτελούμενων δραστηριοτήτων. Στην παρούσα προσομοίωση απεικονίζονται οι θέσεις που πρόκειται να τοποθετηθούν Ε/Κ τα οποία έχουν εκφορτωθεί από την γερανογέφυρα.

Η γραφική έξοδος περιλαμβάνει ακόμη πληροφορίες για τα μέσα μεταφοράς Ε/Κ που δίνονται με μορφή κωδικοποιημένων μηνυμάτων και αριθμητικών ενδείξεων. Οι πληροφορίες που αφορούν τους ελκυστήρες αρχίζουν με τον κωδικό TR και περιλαμβάνουν τον χρόνο έναρξης ενεργειών, το χρόνο στάθμευσής τους καθώς και στοιχεία κίνησης / κατάστασης (ταχύτητα, συμμετοχή σε κυκλοφοριακή εμπλοκή, αναμονή, εξυπηρέτηση). Οι πληροφορίες που αφορούν τα Οχήματα Πλαίσια αρχίζουν με τον κωδικό SC και περιλαμβάνουν μηνύματα και αριθμητικές ενδείξεις που παρακολουθούν τις δραστηριότητες (μετακίνηση, φόρτωση, εκφόρτωση αναμονή) και τις κινήσεις (ταχύτητα, συμμετοχή σε εμπλοκή, είδος και χρόνο εκτέλεσης χειρισμών) των μηχανημάτων αυτών.



Σχήμα 2.3: Γραφικά αποτελέσματα προγράμματος

Στο τέλος εκτέλεσης κάθε σεναρίου δημιουργείται από το πρόγραμμα ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλα τα αριθμητικά αποτελέσματα του προτύπου. Διακρίνουμε τέσσερις κατηγορίες στοιχείων. Η πρώτη ομάδα αφορά τους ελκυστήρες η δεύτερη αφορά τα Οχήματα Πλαίσια η τρίτη ομάδα αριθμητικών αποτελεσμάτων αφορά τα Ε/Κ και η τέταρτη περιέχει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα. Στο παράρτημα Α γίνεται αναλυτική εξήγηση των αριθμητικών αποτελεσμάτων του προτύπου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΑΓΛΩΤΤΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Δύο είναι τα είδη των μετατροπών που έγιναν στο αρχικό πρότυπο.

- (α) Μετατροπή της γλώσσας ανάπτυξης του προτύπου από Microsoft Quick Basic 4.5 σε Microsoft Visual Basic 6.0
- (β) Προσαρμογή του αρχικού προτύπου για την διερεύνηση της θαλάσσιας πλευράς τερματικής εγκατάστασης.

3.1 ΜΕΤΑΓΛΩΤΤΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Το αρχικό πρότυπο που δημιουργήθηκε το 1995 είναι γραμμένο σε Microsoft Quick Basic 4.5. Η γλώσσα αυτή εκείνη την εποχή ήταν πολύ διαδεδομένη. Ήταν μια γλώσσα εύκολη στην εκμάθηση και την χρήση αλλά παράλληλα μια γλώσσα αρκετά ισχυρή (ιδιαίτερα μετά την έκδοση 4) και αυτό γιατί περιλαμβάνει μερικές από τις πιο περίπλοκες προγραμματιστικές δομές που υπάρχουν στις άλλες γλώσσες προγραμματισμού.^[6, 7]

Η Microsoft Quick Basic 4.5 σήμερα θεωρείται ξεπερασμένη και δεν χρησιμοποιείται. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην μεταγλώττιση του προτύπου αυτού σε Microsoft Visual Basic 6.0. Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού επιλέχθηκε γιατί έχει πολλά κοινά σημεία με την Microsoft Quick Basic 4.5 είναι επίσης σύγχρονη, ευρέως διαδεδομένη, με σημαντικές

δυνατότητες στον τομέα των γραφικών και αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο προγραμματισμού.^[4,5]

Τα σημαντικότερα προβλήματα κατά την μετατροπή της γλώσσας του προτύπου από Microsoft Quick Basic 4.5 σε Microsoft Visual Basic 6.0 αντιμετωπίστηκαν στις πληροφορίες εξόδου δηλαδή στα αποτελέσματα που εξάγει το πρότυπο. Η Visual Basic δεν αναγνωρίζει την εντολή PUT της Quick Basic που τοποθετεί τα σχήματα σε κάποιες θέσεις σύμφωνα με τις τιμές X και Y του συστήματος συντεταγμένων αντιθέτως στην Visual Basic τα σχήματα "μετακινούνται" στην οθόνη αυτόματα μεταβάλλοντας τις τιμές X και Y του συστήματος συντεταγμένων.

Άλλη μια διαφορά ανάμεσα στις δύο γλώσσες προγραμματισμού είναι ότι η Quick Basic δέχεται μια μεταβλητή να έχει το ίδιο όνομα με ένα πίνακα ενώ αντίθετα η Visual Basic δεν δέχεται πίνακα και μεταβλητή να έχουν το ίδιο όνομα και έτσι χρειάστηκε να γίνει αλλαγή στο όνομα κάποιων μεταβλητών.

Τέλος, άλλη μια διαφορά της Visual Basic με την Quick Basic είναι ότι στην δεύτερη οι πληροφορίες απεικονίζονται κατευθείαν στην οθόνη μέσω των εντολών PUT, LOCATE και PRINT αντίθετα στην Visual Basic πρέπει να οριστεί ένα πλαίσιο κειμένου όπου μέσα εκεί τυπώνονται οι πληροφορίες μεταβάλλοντας κάθε φορά την ιδιότητα "text".

Με την ολοκλήρωση της μετατροπής της γλώσσας προγραμματισμού από Quick Basic σε Visual Basic ήταν απαραίτητο να γίνει έλεγχος σωστής μετατροπής της γλώσσας προγραμματισμού. Για αυτό τον λόγο συγκρίθηκαν τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης τεσσάρων σεναρίων που το καθένα έλεγχε κάποιες από τις βασικές λειτουργίες του προτύπου, όπως την κίνηση των φορτηγών και των μηχανημάτων, την πολιτική εξυπηρέτησης των φορτηγών από τα οχήματα πλαίσια, την συνεχή ροή Ε/Κ και τον χωρισμό των μηχανημάτων σε ομάδες, "τρέχοντας" το πρότυπο γραμμένο στην Quick και

στην Visual Basic. Ο έλεγχος σωστής μετατροπής της γλώσσας προγραμματισμού παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 σύμφωνα με τον οποίο αποδείχθηκε ότι τα αποτελέσματα συμφωνούσαν απόλυτα.

Πίνακας 3.1 Έλεγχος σωστής μετατροπής της γλώσσας προγραμματισμού του προτύπου

Αριθμός σεναρίου ελέγχου	Περιγραφή λειτουργίας ελέγχου	Γλώσσα προγραμματισμού	Ολικός χρόνος προσομοίωσης (δευτ.)	Μέσος χρόνος κύκλου φορτηγού (δευτ.)	Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης φορτηγού (δευτ.)	Μέσος χρόνος κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Συνολική απόσταση που διανύθηκε από το Όχημα Πλαισίου στο οδικό δίκτυο (μ.)	Συνολική απόσταση που διανύθηκε από το Όχημα Πλαισίου στα δάπεδα εναπόθεσης (μ.)	Συνολικός αριθμός εμπλοκών που αναμείχθηκαν Όχημα Πλαισίου	Συνολικός αριθμός εμπλοκών που αναμείχθηκαν Φορτηγό
1	Έλεγχος κίνησης οχημάτων / μηχανημάτων και αναλυτικών αποτελεσμάτων	Quick	351	294	165	239	4833	1274	0	0
		Visual	351	294	165	239	4833	1274	0	0
2	Έλεγχος στην πολιτική εξυπηρέτησης των φορτηγών από τα Οχήματα Πλαισίου Με σειρά προτεραιότητας Το Όχημα Πλαίσιο εξυπηρετεί το κοντινότερο σε αυτό φορτηγό	Quick	888	432	305	205	24129	10171	2	82
		Visual	888	432	305	205	24129	10171	2	82
		Quick	812	428	297	216	32598	9333	17	113
		Visual	812	428	297	216	32598	9333	17	113
3	Ένα Όχημα Πλαίσιο / Συνεχής ροή Ε/Κ / Τοποθέτηση σε μία σειρά	Quick	4181	2238	168	230	57141	18246	0	0
		Visual	4181	2238	168	230	57141	18246	0	0
4	Παράλληλη εκφόρτωση πλοίου και τραίνου και εξυπηρέτηση Διαχωρισμός φορτηγών/ μηχανημάτων σε ομάδες	Quick	2402	1006	256	194	22707	65915	209	374
		Visual	2402	1006	256	194	22707	65915	209	374

3.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΓΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

3.2.1 Αλλαγές στο Εξεταζόμενο Υποσύστημα

Το αρχικό πρότυπο δημιουργήθηκε για να προσομοιώνει κυρίως την φορτοεκφόρτωση / διακίνηση Ε/Κ στην χερσαία πλευρά των εγκαταστάσεων και την εξυπηρέτηση φορτηγών. Το αρχικό πρότυπο μπορεί να προσομοιώνει και τις διαδικασίες της θαλάσσιας πλευράς, μάλιστα χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει την διαδικασία εξυπηρέτησης λιμενικού σταθμού με αυτοματοποιημένο σύστημα διακίνησης Ε/Κ (Delta Terminal στο Ρότερνταμ) όμως δίνει έμφαση στην χερσαία πλευρά καθώς προσομοιώνει πλήθος από στρατηγικές εξυπηρέτησης φορτηγών και προβλέπει περιοχή εξυπηρέτησής τους. Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε η προσαρμογή του αρχικού προτύπου ώστε να εξετάζεται το θαλάσσιο τμήμα δηλαδή η εκφόρτωση, διακίνηση και στοιβασία των Ε/Κ.

Ποιο συγκεκριμένα το υποσύστημα της τερματικής εγκατάστασης που προσομοιώνει το νέο λογισμικό είναι το εξής (Σχήμα 3.1): η γερανογέφυρα παραλαμβάνει τα Ε/Κ από το πλοίο, τα μεταφέρει στις θέσεις παραβολής και τα φορτώνει στις συρόμενες βάσεις των ελκυστήρων σύμφωνα με το σενάριο. Στην συνέχεια οι ελκυστήρες μεταφέρουν τα Ε/Κ στα όρια των θέσεων εναπόθεσης και στοιβασίας. Εκεί βρίσκονται τα Οχήματα Πλαίσια που παραλαμβάνουν τα Ε/Κ και τα τοποθετούν στην θέση που ορίζει το σενάριο.



Σχήμα 3.1: Υποσυστήματα λιμενικής εγκατάστασης

Στο αρχικό πρότυπο τα φορτηγά μπορούν να εξυπηρετούνται ή σε κάποια περιοχή κοινή για όλα τα φορτηγά ή έξω από τα δάπεδα εναπόθεσης. Ενώ στο τελικό λογισμικό οι ελκυστήρες εξυπηρετούνται κατευθείαν στους χώρους εναπόθεσης και όχι σε κάποιο άλλων χώρο. Στο αρχικό πρότυπο είχαν προβλεφθεί πέντε διαφορετικές στρατηγικές εξυπηρέτησης των φορτηγών από τα Οχήματα Πλαίσια. Αντιθέτως στο νέο λογισμικό επιλέγεται μόνο μία. Η στρατηγική αυτή είναι "ο πρώτος αφικνούμενος εξυπηρετείται πρώτος" (First Come First Served, F.C.F.S.) η εξυπηρέτηση δηλαδή των ελκυστήρων σύμφωνα με την σειρά της άφιξης τους. Ο κανόνας αυτός είναι από τους πιο συνηθισμένους κανόνες προτεραιότητας στα συστήματα αναμονής, γιατί ικανοποιεί το "περί δικαίου αίσθημα" των πελατών του συστήματος.

Μια άλλη διαφορά μεταξύ των δυο προτύπων είναι ότι στο αρχικό, στην κάτοψη, χρειάζεται να απεικονίζονται οι πύλες εισόδου / εξόδου των φορτηγών, η κύρια περιοχή εξυπηρέτησης φορτηγών καθώς και η γερανογέφυρα τραίνου. Στο νέο λογισμικό οι χώροι αυτοί δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιάζονται αντίθετα εμφανίζονται οι γερανογέφυρες προκυμαίας στις θέσεις παραβολής και οι χώροι εναπόθεσης / στοιβασίας.

3.2.2 Προσαρμογή Μεταβλητών

Για την διερεύνηση των λειτουργιών της θαλάσσιας πλευράς της λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης Ε/Κ χρειάστηκε να οριστούν νέες μεταβλητές καθώς και να τροποποιηθούν κάποιες άλλες του αρχικού προτύπου. Στο αρχικό πρότυπο το σενάριο πληροφορεί το πρόγραμμα πότε υπάρχει νέα άφιξη φορτηγού στο σύστημα και αυτό μεταφράζεται ως νέα απαίτηση για διακίνηση Ε/Κ (παραλαβή ή / και παράδοση). Στην διερεύνηση της θαλάσσιας πλευράς αυτός ο τρόπος πληροφόρησης του προγράμματος για απαίτηση διακίνησης δεν είναι κατάλληλος γιατί δεν λαμβάνει υπ' όψιν τυχών καθυστερήσεις που

προκύπτουν από την λειτουργία του συστήματος όπως π.χ. καθυστέρηση στην εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα. Για το λόγω αυτό έγινε προσαρμογή του αρχικού προτύπου ώστε το πρόγραμμα να πληροφορείται τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας. Όπου ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου ορίζεται ο χρόνος κύκλου του μηχανήματος όταν δεν καθυστερεί λόγω μη έγκαιρης εξυπηρέτησής του από κάποιο άλλο μηχάνημα / όχημα Έτσι δόθηκε στο πρότυπο η δυνατότητα να ξεκινάει η γερανογέφυρα την εκφόρτωση Ε/Κ μόνο όταν έχει τελειώσει η εκφόρτωση του προηγούμενου Ε/Κ.

Στην συνέχεια ορίστηκε μια μεταβλητή που εκφράζει την χρονική διάρκεια φόρτωσης του Ε/Κ στον ελκυστήρα μέσω της γερανογέφυρας. Η τιμή της μεταβλητής αυτής ορίστηκε ως κάποιο ποσοστό του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας

Για τις ανάγκες της διερεύνησης της θαλάσσιας πλευράς ορίστηκε μια μεταβλητή η οποία εκφράζει την χρονική στιγμή που το Ε/Κ είναι στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η φόρτωσή του από την γερανογέφυρα στον ελκυστήρα. Η τιμή της μεταβλητής αυτής ορίστηκε ως το άθροισμα του χρόνου που τελειώνει η φόρτωση του προηγούμενου Ε/Κ συν ένα ποσοστό του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας. Η μεταβλητή αυτή ορίστηκε γιατί πληροφορεί το πρόγραμμα πότε μπορεί να αρχίσει η φόρτωση του ελκυστήρα.

Επίσης δημιουργήθηκε μια υπορουτίνα-μετρητής ο οποίος δεν επιτρέπει την έναρξη της κίνησης του ελκυστήρα προς τα δάπεδα εναπόθεσης πριν το τέλος της φόρτωσης του Ε/Κ στον ελκυστήρα από την γερανογέφυρα. Ορίστηκαν ακόμα, δύο νέες μεταβλητές όπου η μία καταγράφει τον χρόνο που καθυστερεί ο ελκυστήρας λόγω μη έγκαιρης εκφόρτωσης Ε/Κ από την γερανογέφυρα και η άλλη καταγράφει τον χρόνο που καθυστερεί η γερανογέφυρα λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα.

Για την παρακολούθηση του συστήματος έγινε μετατροπή στην μεταβλητή που μετράει τον συνολικό χρόνο κύκλου του ελκυστήρα ώστε αυτός να περιλαμβάνει και τον χρόνο που ο ελκυστήρας αναμένει την γερανογέφυρα. Επίσης ορίστηκε μια νέα μεταβλητή η οποία καταγράφει τον συνολικό χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας ο οποίος περιλαμβάνει και την καθυστέρηση που δημιουργείται λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα. Τέλος, ορίστηκε μια νέα μεταβλητή η οποία καταγράφει την καθυστέρηση του ελκυστήρα λόγω μη έγκαιρης έλευσης του Οχήματος Πλαισίου στην θέση όπου γίνεται κάθε φορά η εκφόρτωση του ελκυστήρα.

3.3 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

3.3.1 Κωδικοποίηση Σεναρίων

Η ακολουθία των Ε/Κ που εκφορτώνονται από το πλοίο και προσέρχονται στην λιμενική εγκατάσταση προσομοιώνονται από ένα κατάλογο που αποτελεί το "σενάριο" αφίξεων των Ε/Κ στην προσομοιούμενη περίοδο. Στο αρχικό πρότυπο υπήρχαν "σενάρια" που έδιναν πληροφορίες για τα φορτηγά που εισέρχονταν στην λιμενική εγκατάσταση. Στην παρούσα προσομοίωση αυτά τα "σενάρια" έχουν αντικατασταθεί με άλλα που δίνουν πληροφορίες για τα Ε/Κ που εκφορτώνονται από το πλοίο και μέσω της γερανογέφυρας εισέρχονται στην λιμενική εγκατάσταση. Αν j είναι ο δείκτης του καταλόγου, τότε το κάθε στοιχείο AR_j του καταλόγου αντιπροσωπεύει μια εκφόρτωση Ε/Κ από το πλοίο και περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες:^[1]

$$AR_j = \{TA_j, A_{1j}, A_{2j}, A_{3j}, A_{4j}, Q_{1j}, Q_{2j}, Q_{3j}, Q_{4j}, B_j\}$$

Για $i = 1$ έως 4

$j = 1$ έως $j_{\max}$

όπου:

i: Αριθμός απαίτησης προς διακίνηση. Στο αρχικό πρότυπο έχει προβλεφθεί η είσοδος ενός φορτηγού στο σύστημα να μεταφράζεται ως απαίτηση για διακίνηση ενός έως τεσσάρων E/K (παράδοση δύο E/K και παραλαβή άλλων δύο). Στην παρούσα προσομοίωση ο αριθμός αυτός είναι πάντα ένα. Οι ελκυστήρες έχουν μια μόνο θέση για E/K και όχι όπως τα φορτηγά που μπορεί να έχουν και δύο. Επίσης τα φορτηγά μπορούν να παραδίδουν ένα ή δύο E/K και στην συνέχεια να παραλαμβάνουν ένα ή δύο E/K. Κάτι τέτοιο δεν μπορούν να κάνουν οι ελκυστήρες που περιορίζονται σε μια από τις δύο εργασίες. Για τον λόγο αυτό τα A_{ij} για $i = 2$ έως 4 είναι κενά

$j_{\max}$: Συνολικός αριθμός E/K που εκφορτώνονται από το πλοίο

TA_j : είναι ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας κατά την άφιξη του στοιχείου AR_j

Q_{ij}, B_j : Μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν προσανξήσεις χρόνου και χρησιμοποιούνται στην διερεύνηση του υποσυστήματος της χερσαίας πλευράς. Στην προσομοίωση της θαλάσσιας πλευράς δεν χρησιμοποιούνται και τίθενται μηδέν.

A_{ij} : $\{K_{ij}, P_{ij}, U_{ij}, C_{ij}, \}$

K_{ij} : Κωδικός θέσης E/K (κωδικός δαπέδου εναπόθεσης, σειράς, στήλης). Ο κωδικός δαπέδου εναπόθεσης στην παρούσα προσομοίωση μπορεί να πάρει τιμές από τέσσερα έως δώδεκα. Οι τιμές ένα έως τρία

αντιστοιχούν στις τρεις θέσεις παραβολής του λιμανιού. Η αρίθμηση της σειράς του δαπέδου εναπόθεσης που θα στοιβαχτεί το Ε/Κ αρχίζει από την πιο απομακρυσμένη στην προκυμαία σειρά και αυξάνεται καθώς πλησιάζει. Στην παρούσα προσομοίωση παίρνει τιμές από το ένα έως το είκοσι. Ο κωδικός της στήλης της σειράς του δαπέδου εναπόθεσης που θα στοιβαχτεί το Ε/Κ στην παρούσα προσομοίωση παίρνει τιμές από το ένα έως το είκοσι. Η αρίθμηση αρχίζει από τα αριστερά.

P_{ij}: Κωδικός πλευράς δαπέδου εξυπηρέτησης. Καθώς τα περισσότερα δάπεδα διαθέτουν δύο πλευρές, οι ελκυστήρες που μεταφέρουν τα Ε/Κ θα πρέπει να καθοδηγηθούν σε ποία από τις δύο πλευρές θα σταθμεύσουν αναμένοντας τα Οχήματα Πλαίσια για να εξυπηρετηθούν την αριστερή(P_{ij}=1) ή την δεξιά(P_{ij}=2).

U_{ij}: Κωδικός που δηλώνει αν η απαίτηση διακίνησης αφορά παραλαβή (U_{ij} = 1) ή παράδοση Ε/Κ (U_{ij} = 2). Στην παρούσα προσομοίωση έχουμε μόνο παράδοση γιατί προσομοιώνουμε εκφόρτωση πλοίου, οπότε τα Ε/Κ που εκφορτώνονται από το πλοίο φορτώνονται στους ελκυστήρες και οδηγούνται για παράδοση στις θέσεις στοιβασίας.

C_{ij}: Κωδικός που δηλώνει αν το Ε/Κ είναι 20 ή 40 ποδών και αν το Ε/Κ πρόκειται να εξυπηρετηθεί σε κάποια Περιοχή Εξυπηρέτηση ή απευθείας στα δάπεδα εναπόθεσης. Στην παρούσα προσομοίωση οι ελκυστήρες οδηγούν τα Ε/Κ απευθείας στα δάπεδα εναπόθεσης.

Διακρίνουμε τρεις τρόπους σχηματισμού σεναρίων :

1. Καθορισμός όλων των απαιτούμενων στοιχείων από το χρήστη. Ο τρόπος αυτός επιτρέπει την περιγραφή πραγματικών καταστάσεων που παρουσιάζονται κατά τον χρόνο λειτουργίας των εγκαταστάσεων ή / και υποθετικών σεναρίων. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι

απαιτείται αρκετός χρόνος για την δημιουργία του σεναρίου, ειδικά όταν ο αριθμός των αφίξεων είναι μεγάλος.

2. Γένεση όλων ή μέρους των απαιτούμενων στοιχείων με την βοήθεια υπαρχόντων στατιστικών προγραμμάτων. Δίνει δυνατότητα χρησιμοποίησης ενός μεγάλου αριθμού θεωρητικών κατανομών, μειονεκτεί όμως ως προς τον χρόνο που απαιτείται για την δημιουργία του σεναρίου και την ύπαρξη και εξοικείωση με το κατάλληλο στατιστικό πρόγραμμα.
3. Γένεση όλων των απαιτούμενων στοιχείων από ενσωματωμένες κατά περίπτωση γεννήτριες στο πρόγραμμα.

3.3.2 Δημιουργία Γεννήτριας Σεναρίων

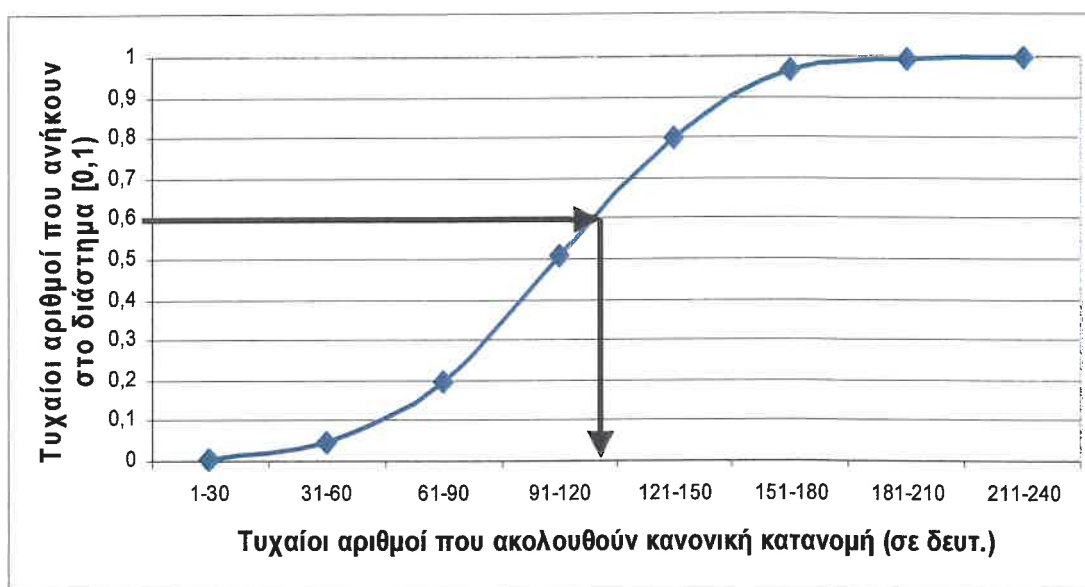
Στην παρούσα προσομοίωση έχει επιλεχθεί τα δάπεδα εναπόθεσης να είναι είκοσι σειρών και η κάθε σειρά είκοσι θέσεων Ε/Κ. Με την υπόθεση ότι τα Ε/Κ μπορούν να στοιβαχτούν μέχρι δύο κατά ύψος καταλήγουμε ότι κάθε δάπεδο είναι χωρητικότητας οχτακοσίων Ε/Κ. Επειδή στην προσομοίωση θέλουμε τα σενάρια να "γεμίζουν" ένα δάπεδο εναπόθεσης οι γεννήτριες πρέπει να δημιουργήσουν οχτακόσιες εισόδους.

Αρχικά η γεννήτρια ορίζει τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας (ΤΑ_j) κατά την εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο. Ο χρόνος αυτός δεν είναι σταθερός αλλά υποθέτουμε ότι ακολουθεί κανονική κατανομή μέση τιμή x_1 και τυπική απόκλιση x_2 . Τις τιμές αυτές τις δημιουργούμε με την βοήθεια λογιστικού φύλλου Excel.

Αρχικά με την συνάρτηση RAND δημιουργούμε οχτακόσιους τυχαίους αριθμούς μεγαλύτερους ή ίσους του μηδενός και μικρότερους του ένα. Στην συνέχεια με την βοήθεια της συνάρτησης NORMINV (x_0, x_1, x_2), που αποδίδει

τον αντίστροφο της αθροιστικής κανονικής κατανομής με μέση τιμή x_1 και τυπική απόκλιση x_2 δημιουργούμε οχτακόσιους αριθμούς που ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή x_1 και τυπική απόκλιση x_2 .

Όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.1, για κάθε τυχαίο αριθμό της συνάρτησης RAND που ανήκει στο διάστημα $[0,1)$ λαμβάνεται ένας τυχαίος αριθμός που ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή x_1 και τυπική απόκλιση x_2 . Οι παραγόμενοι τυχαίοι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τον ανεμπόδιο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας. Στο Γράφημα 3.2 παρουσιάζεται η κατανομή 800 παραγόμενων τυχαίων αριθμών από τη γεννήτρια συνάρτηση NORMINV.



Γράφημα 3.1: Παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή x_1 και τυπική απόκλιση x_2 , μέσω της συνάρτησης NORMINV



Γράφημα 3.2 Κατανομή 800 αριθμών που παράχθηκαν από την συνάρτηση NORMINV.

Προκειμένου να ελεγχθεί αν οι τυχαίοι αριθμοί που παράγονται από τη συνάρτηση NORMINV και αντιπροσωπεύουν τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας, ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , γίνεται έλεγχος χ^2 σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Στο παράδειγμα που ακολουθεί πρόκειται να ελεγχθεί αν οι 800 τυχαίοι αριθμοί που παράγονται από τη συνάρτηση NORMINV ακολουθούν κανονική κατανομή με μέση τιμή 120 και τυπική απόκλιση 36 σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$. Ουσιαστικά ελέγχεται αν η κατανομή του Γραφήματος 3.2 είναι κανονική κατανομή. Ο έλεγχος χ^2 παρουσιάζεται αναλυτικά στο Πίνακα 3.2.

Οι παραγόμενοι 800 τυχαίοι αριθμοί ταξινομούνται σε κλάσεις (α, β) με $\alpha < \beta$, εύρους 30 δευτερολέπτων. Στη συνέχεια υπολογίζεται η πιθανότητα P ένας τυχαίος αριθμός x να ανήκει στο διάστημα (α, β) :

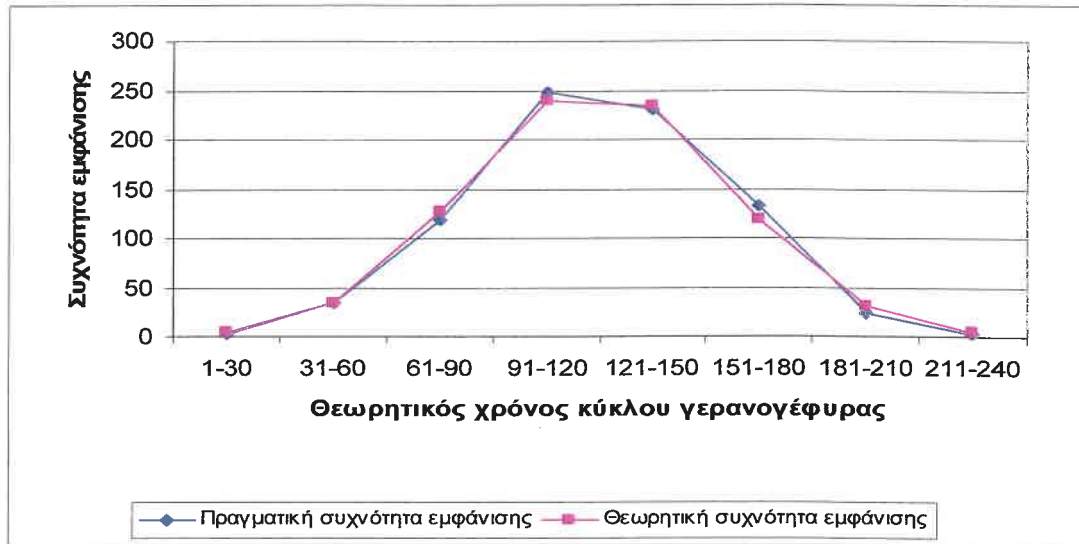
$$P(\alpha < x \leq \beta) = F(\beta) - F(\alpha) = \Phi[(\beta - \mu)/\sigma] - \Phi[(\alpha - \mu)/\sigma]$$

όπου μ η μέση τιμή, σ η τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής ενώ οι τιμές Φ δίνονται από τον πίνακα κανονικής κατανομής.

Οι κλάσεις ταξινόμησης του δείγματος είναι $k = 8$, οι παράμετροι της κανονικής κατανομής είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ($n = 2$). Άρα οι βαθμοί ελευθερίας είναι $k-n-1=5$. Για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 5\%$ από τον πίνακα χ^2 προκύπτει: $\chi^2_{k-n-1, 1-\alpha\%} = \chi^2_{5, 0,95} = 11,07$. Όπως προκύπτει από το Πίνακα 3.2 : $\chi^2 = 6,02$. Όμως, $\chi^2_{5, 0,95} = 11,07 > \chi^2 = 6,02$ άρα η κατανομή των τυχαίων αριθμών που προκύπτουν από την συνάρτηση NORMINV ακολουθούν κανονική κατανομή.^[8]

Πίνακας 3.2: Έλεγχος χ^2 της γεννήτριας συνάρτησης NORMINV

Χρόνοι κύκλου γερανογέφυρας	Συχνότητα εμφάνισης	Πιθανότητα	Αναμενόμενη συχνότητα εμφάνισης $v=800$	$(f_i-vp_i)^2/vp_i$
	f_i	p_i	$v * p_i$	
1-30	3	0,00624	5,371048	1,04669846
31-60	35	0,043904	35,1235	0,00043426
61-90	120	0,159631	127,7051	0,46488375
91-120	250	0,300831	240,6647	0,36211535
121-150	232	0,294331	235,465	0,05098982
151-180	133	0,149498	119,5984	1,50172077
181-210	24	0,039351	31,48083	1,77767716
211-240	3	0,0059	5,030562	0,81962639
Σύνολο	800		$\chi^2=$	6,02414597



Γράφημα 3.3: Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών συχνοτήτων εμφάνισης χρόνου κύκλου γερανογέφυρας.

Στην συνέχεια η γεννήτρια ορίζει την θέση (K_{ij}) που θα τοποθετηθεί το Ε/Κ. Ορίζει δηλαδή το δάπεδο εναπόθεσης την σειρά και την θέση που θα τοποθετηθεί το Ε/Κ. Το δάπεδο εναπόθεσης ορίζεται κάθε φορά από τον χρήστη και είναι αυτό που επηρεάζει την μέση απόσταση εναπόθεσης. Η σειρά στην οποία τοποθετούνται κάθε φορά τα Ε/Κ στο δάπεδο εναπόθεσης εξαρτάται από το σενάριο. Με την βοήθεια λογιστικού φύλλου Excel παράγονται τριάντα διαφορετικοί συνδυασμοί σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου εναπόθεσης. Ακολουθώντας το σενάριο και αφού έχει επιλεγθεί σειρά, η γεννήτρια ορίζει ως πρώτη θέση εναπόθεσης την πιο αριστερή θέση της σειράς. Στην συνέχεια η δεύτερη θέση, εφόσον τα Ε/Κ στοιβάζονται δύο κατά ύψος, είναι πάνω από το πρώτο. Η επόμενη θέση που ορίζεται από την γεννήτρια είναι η αμέσως επόμενη προς τα δεξιά. Έτσι η γεννήτρια συνεχίζει να ορίζει θέσεις μέχρι να φτάσει στην εικοστή θέση και αφού συμπληρωθούν και τα δύο κατά ύψος Ε/Κ ακολουθώντας το σενάριο επιλέγει καινούρια σειρά στο δάπεδο εναπόθεσης. Στη νέα αυτή σειρά η σάρωση τώρα ξεκινά από δεξιά και κινείται προς τα αριστερά. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να σαρωθούν όλες οι θέσεις του δαπέδου εναπόθεσης. Στην περίπτωση που έχουμε δύο

Οχήματα Πλαίσια η ίδια διαδικασία εκτελείται ταυτόχρονα δύο φορές ξεκινώντας στην μία σειρά από αριστερά και στην άλλη από δεξιά.

Στην συνέχεια η γεννήτρια ορίζει την πλευρά δαπέδου εξυπηρέτησης (P_{ij}) ως εξής: όταν ο αριθμός της στήλης της θέσης εναπόθεσης είναι από ένα έως δέκα τότε ορίζεται ως πλευρά στο δάπεδο εναπόθεσης που θα επιλέξει ο ελκυστήρας να σταθμεύσει για να εξυπηρετηθεί η αριστερή. Αντιθέτως όταν ο αριθμός της στήλης της θέσης εναπόθεσης είναι από έντεκα έως είκοσι τότε ορίζεται ως πλευρά στο δάπεδο εναπόθεσης που θα επιλέξει ο ελκυστήρας να σταθμεύσει για να εξυπηρετηθεί η δεξιά. Επιλέγεται να ορίζεται έτσι η πλευρά που θα επιλέξει ο ελκυστήρας να σταθμεύσει γιατί έτσι εξασφαλίζεται ότι ο ελκυστήρας θα σταθμεύσει όσο το δυνατόν κοντινότερα στην θέση εναπόθεσης περιορίζοντας την απόσταση που θα διανύσουν τα Οχήματα Πλαίσια στο ελάχιστο.

Στην συνέχεια η γεννήτρια ορίζει αν η απαίτηση για διακίνηση(U_{ij}) αφορά παραλαβή ή παράδοση E/K. Στην παρούσα προσομοίωση έχουμε μόνο παράδοση($U_{ij} = 2$) γιατί προσομοιώνουμε εκφόρτωση πλοίου, οπότε τα E/K που εκφορτώνονται από το πλοίο φορτώνονται στους ελκυστήρες και οδηγούνται για παράδοση στις θέσεις στοιβάσεως.

Τέλος, η γεννήτρια ορίζει αν το E/K είναι 20 ή 40 ποδών και αν το E/K πρόκειται να εξυπηρετηθεί σε κάποια Περιοχή Εξυπηρέτηση ή απευθείας στα δάπεδα εναπόθεσης. Στην παρούσα προσομοίωση οι ελκυστήρες είναι 20 ποδών και οδηγούν τα E/K απευθείας στα δάπεδα εναπόθεσης($C_{ij} = D$).

3.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του νέου λογισμικού προσομοιώθηκαν / επιλύθηκαν δια χειρός οι κινήσεις των δέκα πρώτων Ε/Κ και τα αποτελέσματα (Πίνακες 3.3, 3.4) συγκρίθηκαν με τα γραφικά (Εικόνες 3.1 έως 3.9) και αριθμητικά (Πίνακας 3.5) αποτελέσματα του προτύπου. Τα αποτελέσματα αυτά ταυτίζονται άρα το νέο λογισμικό λειτουργεί σωστά.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα προσομοίωσης δια χειρός των δέκα πρώτων Ε/Κ

Αύξων Αριθμός Ε/Κ	Εναρξη κίνησης γερανογέφυρας	Η γερανογέφυρα είναι έτοιμη να αρχίσει την φόρτωση του ελκυστήρα	Ο ελκυστήρας βρίσκεται στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η φόρτωση του από την γερανογέφυρα	Εναρξη φόρτωσης ελκυστήρα	Λήξη φόρτωσης ελκυστήρα	Επιστροφή γερανογέφυρας στην αρχική θέση	Εναρξη κίνησης Οχήματος Πλαισίου	Το Όχημα Πλαίσιο βρίσκεται στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η εκφόρτωση του ελκυστήρα	Ο ελκυστήρας βρίσκεται στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η εκφόρτωση του	Εναρξη εκφόρτωσης ελκυστήρα	Λήξη εκφόρτωσης ελκυστήρα	Εναρξη τοποθέτησης Ε/Κ στην θέση αναπόθεσης	Λήξη τοποθέτησης Ε/Κ στην θέση αναπόθεσης	Επιστροφή ελκυστήρα στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η φόρτωση του από την γερανογέφυρα
1	0	44	0	44	132	177	132	165	183	183	211	217	275	266
2	177	226	0	226	326	376	326	395	388	395	402	408	466	465
3	376	387	266	387	411	424	411	477	462	477	579	585	643	634
4	424	446	465	465	509	533	509	516	571	571	647	653	711	715
5	533	564	634	634	696	727	696	703	746	746	824	833	891	879
6	727	755	715	755	813	842	813	818	874	874	894	903	961	957
7	842	882	879	882	960	999	960	970	1010	1010	1100	1109	1167	1155
8	999	1005	957	1005	1015	1020	1015	1024	1076	1076	1155	1164	1222	1218
9	1020	1042	1155	1155	1199	1221	1199	1209	1249	1249	1295	1306	1364	1350
10	1221	1234	1218	1234	1260	1273	1260	1270	1324	1324	1409	1421	1479	1472

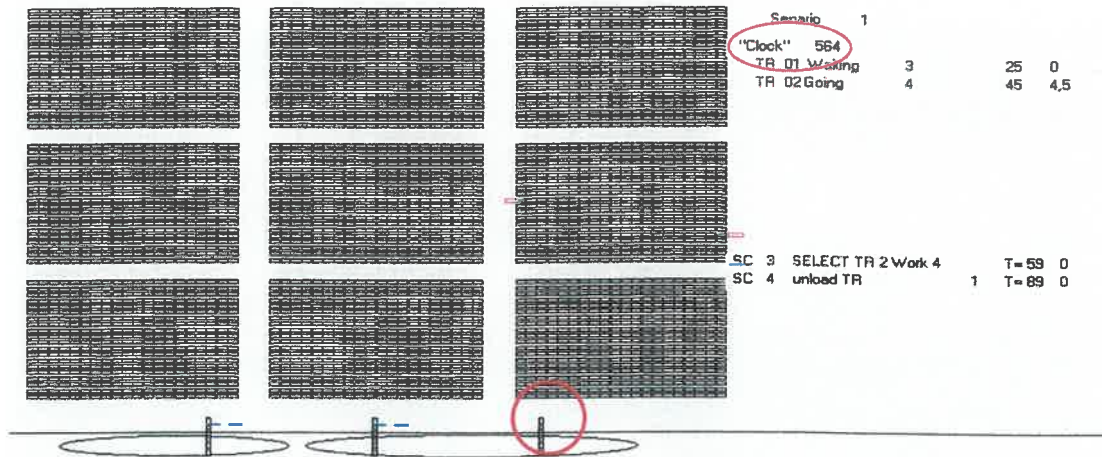
**Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα Χρόνων κύκλου των μηχανημάτων / οχημάτων
προσομοίωσης δια χειρός**

Αύξων Αριθμός Ε/Κ	Πραγματικός χρόνος κύκλου γερανογέφυρας	Πραγματικός χρόνος κύκλου ελκυστήρα	Πραγματικός χρόνος κύκλου Οχήματος Πλαισίου	Καθυστέρηση γερανογέφυρας λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα	Καθυστέρηση ελκυστήρα λόγω μη έγκαιρης εκφόρτωσης από την γερανογέφυρα	Καθυστέρηση Οχήματος Πλαισίου λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα	Καθυστέρηση ελκυστήρα λόγω μη έγκαιρης έλευσης Οχήματος Πλαισίου
1	177	222	143	0	44	18	0
2	199	239	140	0	226	0	7
3	48	247	232	0	121	0	15
4	109	250	202	19	0	55	0
5	194	245	195	70	0	43	0
6	115	202	148	0	40	56	0
7	157	273	207	0	3	40	0
8	21	213	207	0	48	52	0
9	201	195	165	113	0	40	0
10	52	238	219	0	16	54	0

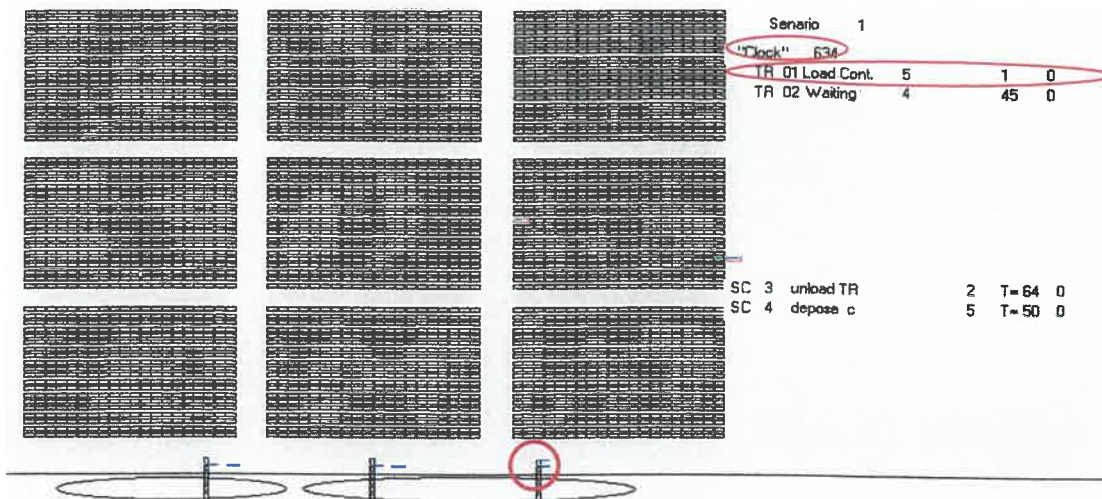
Πίνακας 3.5: Αριθμητικά αποτελέσματα προτύπου προσομοίωσης των δέκα πρώτων Ε/Κ

Αύξων Αριθμός Ε/Κ	Εναρξη φόρτωσης ελκυστήρα	Λήξη φόρτωσης ελκυστήρα	Εναρξη κίνησης Οχήματος Πλαισίου	Λήξη εκφόρτωσης ελκυστήρα	Εναρξη τοποθέτησης Ε/Κ στην θέση αναπόθεσης	Λήξη τοποθέτησης Ε/Κ στην θέση αναπόθεσης	Επιστροφή ελκυστήρα στην κατάλληλη θέση για να αρχίσει η φόρτωσή του από την γερανογέφυρα	Πραγματικός χρόνος κύκλου γερανογέφυρας	Πραγματικός χρόνος κύκλου ελκυστήρα	Πραγματικός χρόνος κύκλου Οχήματος Πλαισίου	Καθυστέρηση γερανογέφυρας λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα	Καθυστέρηση ελκυστήρα λόγω μη έγκαιρης εκφόρτωσης από την γερανογέφυρα	Καθυστέρηση Οχήματος Πλαισίου λόγω μη έγκαιρης έλευσης ελκυστήρα	Καθυστέρηση ελκυστήρα λόγω μη έγκαιρης έλευσης Οχήματος Πλαισίου
1	44	132	132	211	217	275	266	177	222	143	0	44	18	0
2	226	326	326	402	408	466	465	199	239	140	0	226	0	7
3	387	411	411	579	585	643	634	48	247	232	0	121	0	15
4	465	509	509	647	653	711	715	109	250	202	19	0	55	0
5	634	696	696	824	833	891	879	194	245	195	70	0	43	0
6	755	813	813	894	903	961	957	115	202	148	0	40	56	0
7	882	960	960	1100	1109	1167	1155	157	273	207	0	3	40	0
8	1005	1015	1015	1155	1164	1222	1218	21	213	207	0	48	52	0
9	1155	1199	1199	1295	1306	1364	1350	201	195	165	113	0	40	0
10	1234	1260	1260	1409	1421	1479	1472	52	238	219	0	16	54	0

Αρχικά ξεκινάει η γερανογέφυρα και εκφορτώνει Ε/Κ από το πλοίο και τα μεταφέρει στη βάση της όπου αν υπάρχει ελκυστήρας έτοιμος αρχίζει η φόρτωσή του. Αν δεν υπάρχει ελκυστήρας έτοιμος η γερανογέφυρα περιμένει μέχρι να έρθει (Εικόνες 3.1, 3.2).

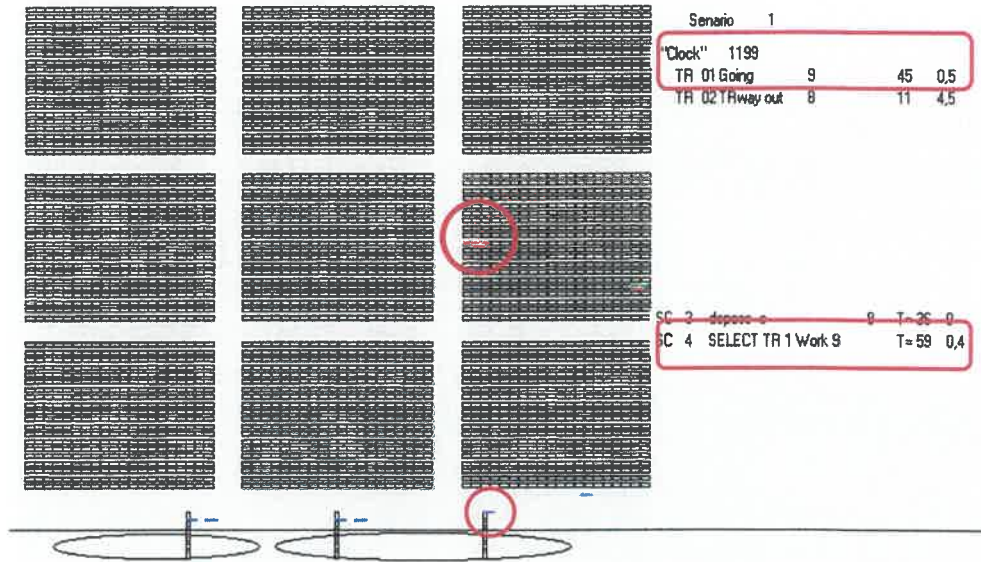


Εικόνα 3.1 Χρονική στιγμή 564. Η γερανογέφυρα περιμένει την έλευση του ελκυστήρα (No 01) για να αρχίσει η φόρτωση του πέμπτου εμπορευματοκιβωτίου



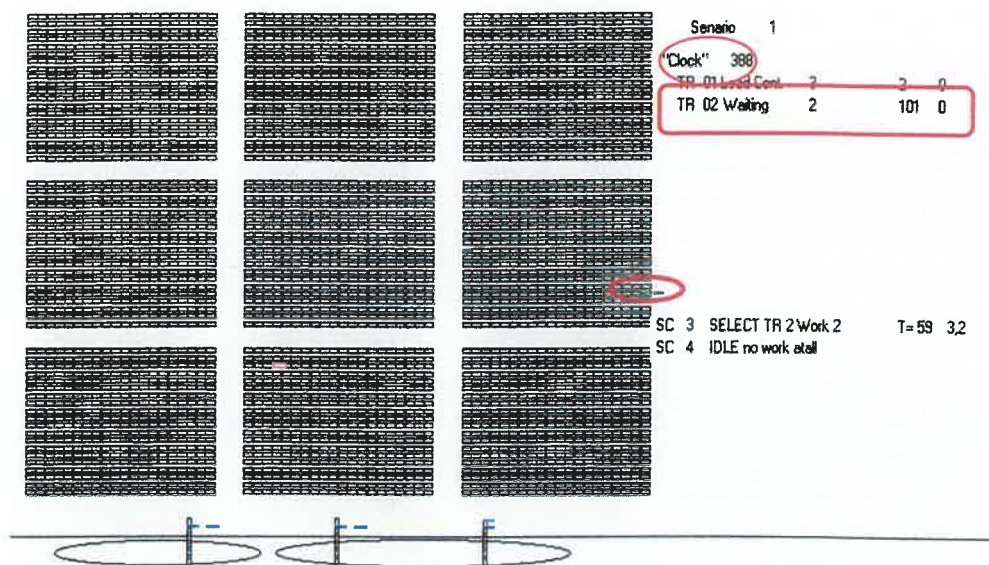
Εικόνα 3.2 Χρονική στιγμή 634. Αρχίζει η φόρτωση του πέμπτου εμπορευματοκιβωτίου στον ελκυστήρα (No 01)

Στην συνέχεια όταν τελειώνει η φόρτωση του Ε/Κ αρχίζουν να κινούνται το Όχημα Πλαίσιο και ο ελκυστήρας προς την κατάλληλη θέση όπου θα γίνει η παράδοση του Ε/Κ (Εικόνα 3.3).

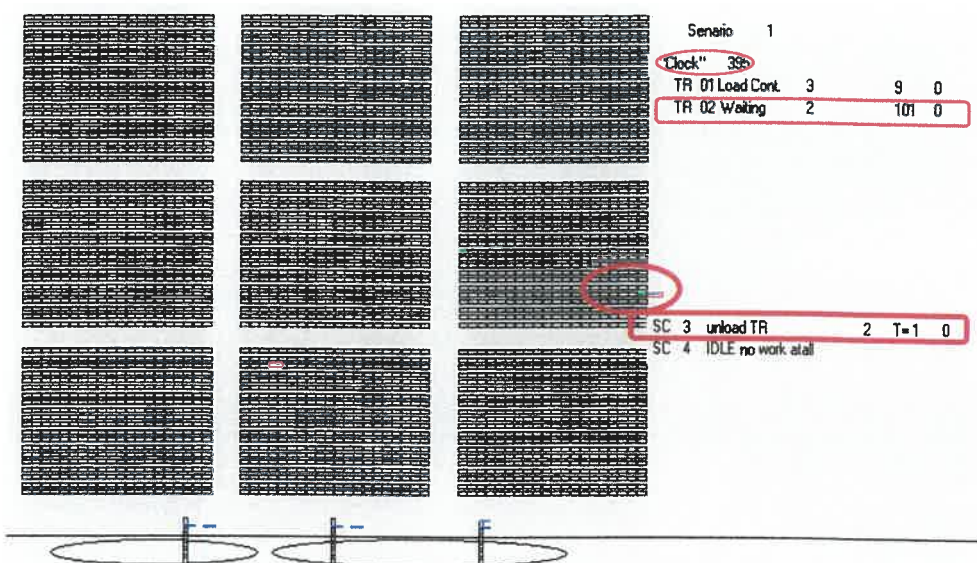


Εικόνα 3.3: Χρονική στιγμή 1199. Το Όχημα Πλαίσιο (No 04) και ο Ελκυστήρας (No 01) ξεκινούν προς την κατάλληλη θέση που θα γίνει η εκφόρτωση του ένατου Ε/Κ από τον ελκυστήρα

Στην συνέχεια όταν το Όχημα πλαίσιο και ο ελκυστήρας φτάσουν στην κατάλληλη θέση αρχίζει η παράδοση του Ε/Κ στο Όχημα Πλαίσιο (Εικόνες 3.4, 3.5).

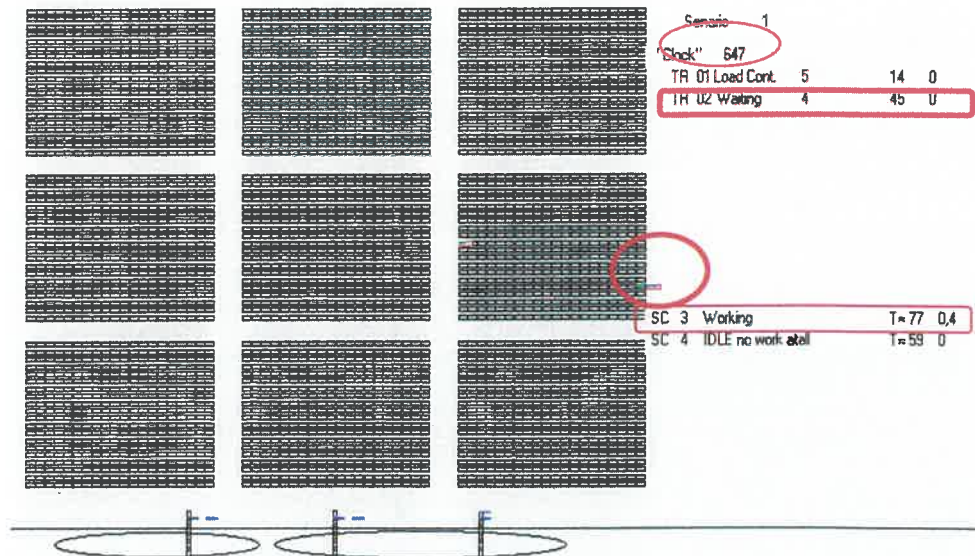


Εικόνα 3.4: Χρονική στιγμή 388. Ο Ελκυστήρας (No 2) φτάνει στην κατάλληλη θέση όπου θα γίνει η παράδοση του δεύτερου Ε/Κ στο Όχημα Πλαίσιο



Εικόνα 3.5: Χρονική στιγμή 395. Το Όχημα Πλαίσιο (No 3) φτάνει στην κατάλληλη θέση και αρχίζει η παράδοση του δεύτερου Ε/Κ στο Όχημα Πλαίσιο

Στην συνέχεια τελειώνει η εκφόρτωση του ελκυστήρα και το Όχημα πλαίσιο τοποθετεί το Ε/Κ στην προκαθορισμένη από το σενάριο θέση (Εικόνες 3.6, 3.7).

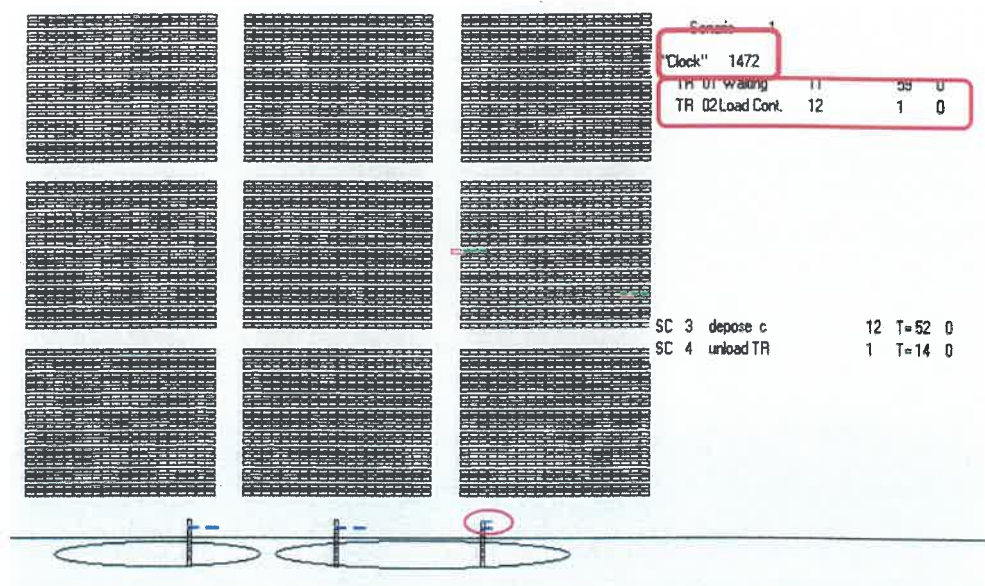


Εικόνα 3.6: Χρονική στιγμή 647. Τελειώνει η παράδοση του τέταρτου Ε/Κ από τον ελκυστήρα (No 2) στο Όχημα Πλαίσιο(No 3)

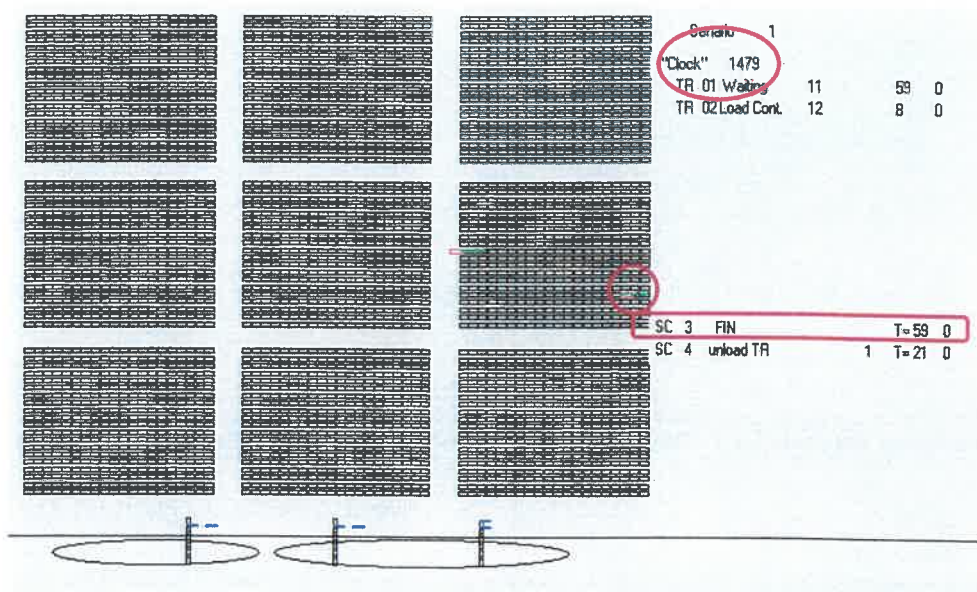


Εικόνα 3.7: Χρονική στιγμή 653. Το Όχημα Πλαίσιο (No 3) φτάνει στην θέση εναπόθεσης και αρχίζει η τοποθέτηση του τέταρτου Ε/Κ.

Στην συνέχεια τελειώνει η τοποθέτησή του Ε/Κ από το Όχημα πλαίσιο και ο ελκυστήρας επιστρέφει στην θέση του για να αρχίσει η φόρτωση του επόμενου Ε/Κ(Εικόνες 3.8, 3.9).



Εικόνα 3.8: Χρονική στιγμή 1472. Ο ελκυστήρας (No 02)επιστρέφει κάτω από την γερανογέφυρα και μπορεί να αρχίσει η φόρτωση του επόμενου Ε/Κ



Εικόνα 3.9: Χρονική στιγμή 1479. Τελειώνει η τοποθέτηση του δέκατου Ε/Κ από το Όχημα Πλαίσιο (No 03)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

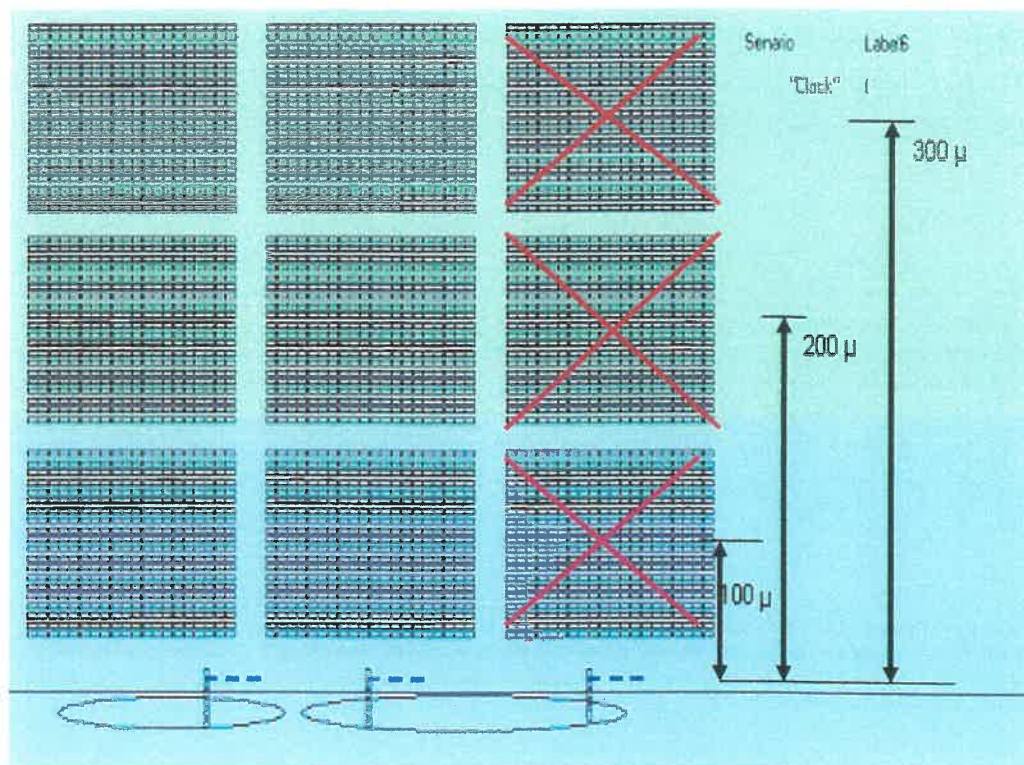
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΛΙΜΕΝΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προτύπου για δύο βασικά συστήματα εξυπηρέτησης γερανογεφυρών (συστήματα που χρησιμοποιούν ελκυστήρες για την μεταφορά και Οχήματα Πλαίσια για την στοιβασία των Ε/Κ και συστήματα που χρησιμοποιούν αποκλειστικά Οχήματα πλαίσια).

Για το πρώτο σύστημα εξετάζονται οι επιδράσεις που προκαλεί η μεταβολή στην τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας και η μεταβολή της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης του ελκυστήρα από το Όχημα Πλαίσιο στο χρόνο κύκλου του ελκυστήρα. Επίσης, εξετάζονται οι επιδράσεις που προκαλούνται στην διαδικασία από μεταβολή στο πλήθος των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην εκφόρτωση του πλοίου αλλά και από μεταβολή στην μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν οι ελκυστήρες αυτοί. Εξετάζεται ακόμα τι διαφορές υπάρχουν όταν η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γρήγορη γερανογέφυρα από όταν η εκφόρτωση γίνεται με δύο αργές γερανογέφυρες (με διπλάσιο μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου).

Για το άλλο σύστημα εξετάζονται οι επιδράσεις που προκαλούνται από μεταβολή στον αριθμό των Οχημάτων Πλαισίων που συμμετέχουν στην διαδικασία. Τέλος, συγκρίνονται τα δύο αυτά συστήματα ως προς του χρόνους που επιτυγχάνουν αλλά και ως προς το ωριαίο λειτουργικό κόστος.

Στις προσομοιώσεις που ακολουθούν εξετάζεται μεγάλος αριθμός από σενάρια εκφόρτωσης πλοίου. Κάθε σενάριο περιγράφει την πλήρωση ενός δαπέδου μεταφοράς, την εκφόρτωση δηλαδή 800 Ε/Κ από το πλοίο. **Μέση απόσταση μεταφοράς** ορίζεται η κατακόρυφη απόσταση του κέντρου βάρους του δαπέδου εναπόθεσης από την θέση φόρτωσης του ελκυστήρα από την γερανογέφυρα (Σχήμα 4.1). Στις προσομοιώσεις εξετάζονται τρεις διαφορετικές ομάδες σεναρίων, σε κάθε μία εκ των οποίων η μέση απόσταση μεταφοράς προς τους χώρους στοιβασίας είναι αντίστοιχα 100,200 και 300 μέτρα.



Σχήμα 4.1: Μέση απόσταση μεταφοράς

Ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου ενός μηχανήματος /οχήματος ορίζεται ο χρόνος που επιτυγχάνεται όταν το μηχανήμα λειτουργεί στο μέγιστο της απόδοσής του χωρίς καθυστερήσεις είτε κατά την τροφοδοσία του π.χ. όταν ο ελκυστήρας αναμένει την γερανογέφυρα να εκφορτώσει Ε/Κ από το πλοίο είτε κατά την εξυπηρέτησή του από κάποιο άλλο υποσύστημα π.χ. όταν ο ελκυστήρας αναμένει ένα Όχημα Πλαίσιο να εξυπηρετηθεί. Ο χρόνος κύκλου ενός οχήματος /μηχανήματος που περιλαμβάνει και της καθυστερήσεις θα αναφέρεται απλά ως *χρόνος κύκλου* οχήματος / μηχανήματος. Τα ίδια μηχανήματα / οχήματα της εγκατάστασης συνθέτουν το *υποσύστημα* του μηχανήματος / οχήματος αυτού. Ως *χρόνος κύκλου υποσυστήματος* οχημάτων / μηχανημάτων ορίζεται ο χρόνος κύκλου του μηχανήματος / οχήματος προς τον αριθμό των μηχανημάτων / οχημάτων που αποτελούν το υποσύστημα.

Ορίζεται ως *χρόνος κύκλου της διαδικασίας* το πηλίκο του χρόνου που έχει διάρκεια η εκφόρτωση των Ε/Κ προς τον αριθμό των Ε/Κ που εκφορτώνονται. Τα αποτελέσματα εξάγονται ύστερα από ανάλυση όχι ενός αλλά τριάντα σεναρίων με διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Στους πίνακες και στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι *μέσες τιμές* των αποτελεσμάτων αυτών.

4.1 ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ ΜΕ ΣΥΡΟΜΕΝΗ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

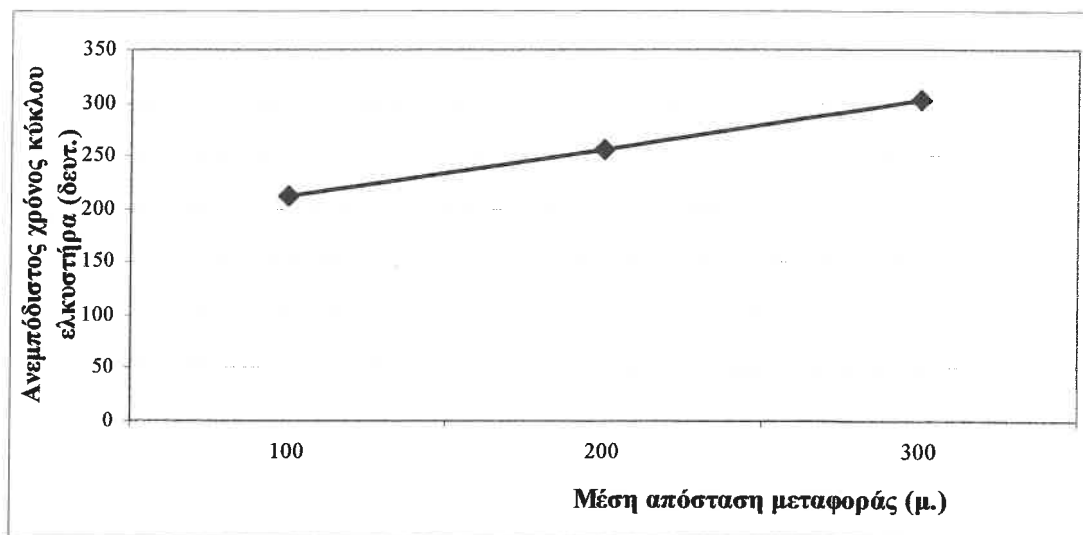
4.1.1 Σταθερός Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Γερανογέφυρας και Σταθερός Χρόνος Εκφόρτωσης Ελκυστήρα από Όχημα Πλαίσιο

Η πρώτη ομάδα σεναρίων περιλαμβάνει περιπτώσεις με τυπική απόκλιση στον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας και στον χρόνο εκφόρτωσης του ελκυστήρα ίσο με μηδέν. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του λιμενικού σταθμού μηδενικές τυπικές αποκλίσεις δεν είναι εφικτές. Ο λόγος σχηματισμού και επίλυσης αυτών των σεναρίων είναι η δημιουργία τιμών αναφοράς για τα υπόλοιπα σενάρια.

Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με σταθερό ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 120 δευτερόλεπτα. Τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβασίας. Οι ελκυστήρες μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα 20 χλμ/ώρα. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Στα δάπεδα εναπόθεσης υπάρχουν Οχήματα Πλαίσια που εκφορτώνουν τα Ε/Κ από τους ελκυστήρες και στην συνέχεια τα τοποθετούν στις θέσεις εναπόθεσης. Ο χρόνος εκφόρτωσης του Ε/Κ έχει σταθερή τιμή 60 δευτερόλεπτα. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ. Από τον Πίνακα 4.1 συμπεραίνεται ότι ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου είναι 155 δευτερόλεπτα για το Όχημα Πλαίσιο. Για τον ελκυστήρα ο ανεμπόδιστος

χρόνος του κύκλου του εξαρτιέται από την μέση απόσταση μεταφοράς και είναι 212, 256 και 303 δευτερόλεπτα για αποστάσεις 100, 200 και 300 μέτρα αντίστοιχα. Στο Γράφημα 4.1 φαίνεται η γραμμική σχέση που συνδέει αυτές τις δύο ποσότητες.



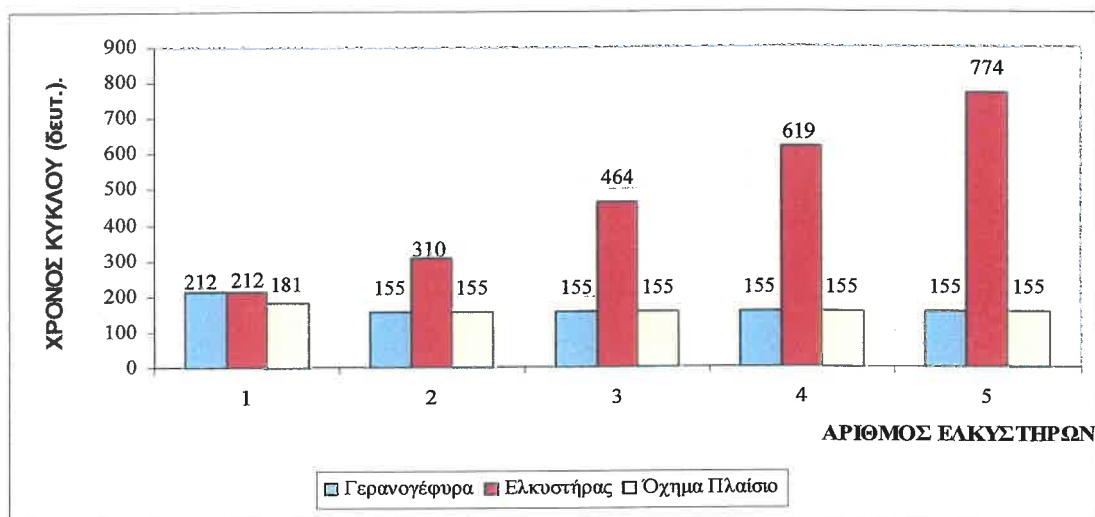
Γράφημα 4.1: Συσχέτιση ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου ελκυστήρα και μέσης απόστασης μεταφοράς

Πίνακας 4.1 Χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ

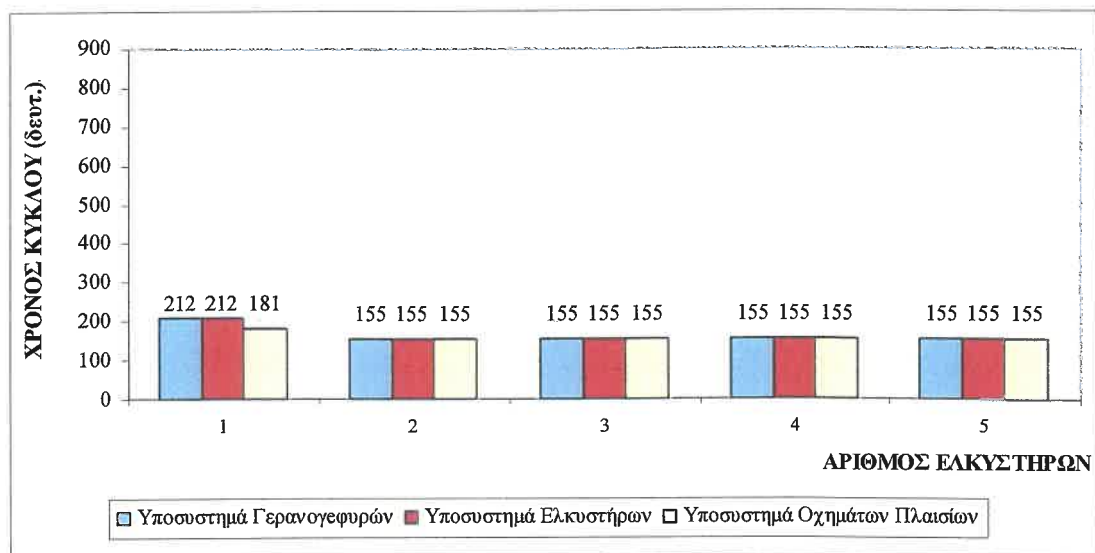
1		120																
		100					200					300						
Αριθμός Γερανογεφυρών	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Γερανογέφυρας (δευτ.)	Μέση Απόσταση Μεταφοράς μ.	Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων	Αριθμός Ελκυστήρων	Χρόνος Αναμονής Γερανογέφυρας Λόγω Μη Εγκαιρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Γερανογέφυρας (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Γερανογεφυρών (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Οχήματος Πλαισίου Λόγω Μη Έγκαιρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Οχημάτων Πλαισίων (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαιρης Εκφόρτωσης Ε/Κ από την Γερανογέφυρα (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαιρης Έλευσης Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Ελκυστήρων (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Διαδικασίας (δευτ.)	
120	100	1	1	92	212	212	155	26	181	181	212	0	0	212	212	212		
			2	35	155	155	155	0	155	155	212	0	98	310	155	155		
			3	35	155	155	155	0	155	155	212	1	251	464	155	155		
			4	35	155	155	155	0	155	155	212	3	404	619	155	155		
			5	35	155	155	155	0	155	155	212	6	556	774	155	155		
		2	2	0	120	120	155	26	181	91	212	27	0	239	120	120		
			3	0	120	120	155	26	181	91	212	147	0	359	120	120		
			4	0	120	120	155	26	181	91	212	267	0	479	120	120		
	200	1	1	136	256	256	155	47	202	202	256	0	0	256	256	256		
			2	35	155	155	155	0	155	155	256	0	54	310	155	155		
			3	35	155	155	155	0	155	155	256	1	209	466	155	155		
			4	35	155	155	155	0	155	155	256	3	361	620	155	155		
			5	35	155	155	155	0	155	155	256	5	514	775	155	155		
		2	2	11	131	131	155	47	202	101	256	6	0	262	131	131		
			3	0	120	120	155	47	202	101	256	104	0	360	120	120		
			4	0	120	120	155	47	202	101	256	224	0	480	120	120		
	300	1	1	183	303	303	155	72	227	227	303	0	0	303	303	303		
			2	41	161	161	155	5	160	160	303	0	18	321	161	161		
			3	35	155	155	155	0	155	155	303	1	162	466	155	155		
			4	35	155	155	155	0	155	155	303	2	316	621	155	155		
			5	35	155	155	155	0	155	155	303	5	469	777	155	155		
		2	2	35	155	155	155	72	227	114	303	6	0	309	155	155		
			3	0	120	120	155	72	227	114	303	57	0	360	120	120		
			4	0	120	120	155	72	227	114	303	177	0	480	120	120		

Από τα Γραφήματα 4.2 έως 4.4 που παρουσιάζουν τους χρόνους κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους όταν στην λιμενική εγκατάσταση απασχολείται ένα Όχημα Πλαίσιο συμπεραίνονται τα εξής. Όταν αυξάνεται ο αριθμός των ελκυστήρων αυξάνεται ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται ο “νεκρός” χρόνος που περιμένει ο ελκυστήρας για να παραλάβει Ε/Κ από την γερανογέφυρα. Ο χρόνος κύκλου του υποσυστήματος των ελκυστήρων με την προσθήκη ελκυστήρων αρχικά μειώνεται και στην συνέχεια σταθεροποιείται στα 155 δευτερόλεπτα που είναι και ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου. Το ίδιο συμβαίνει και για την γερανογέφυρα και το υποσύστημα της.

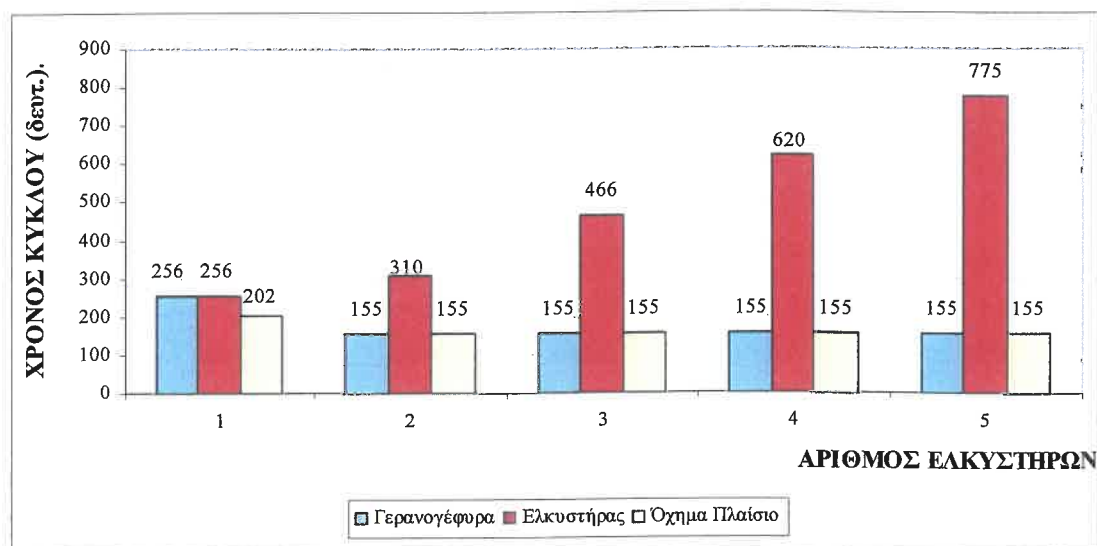
Συμπεραίνεται ότι όταν ο αριθμός των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην εκφόρτωση του πλοίου είναι ένα η διαδικασία καθυστερεί από αυτό τον ελκυστήρα και για αυτό ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας, άρα και ο χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας, είναι όσο και ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου του ελκυστήρα (212, 256 και 303 δευτερόλεπτα για μέση απόσταση μεταφοράς 100, 200 και 300 μέτρα αντίστοιχα). Όταν γίνεται προσθήκη ελκυστήρων το όχημα πλαίσιο είναι αυτό που καθυστερεί την διαδικασία και έτσι ο χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας μειώνεται μέχρι τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου του Οχήματος Πλαισίου (155 δευτερόλεπτα) και σταθεροποιείται εκεί ανεξάρτητα με την περαιτέρω προσθήκη ελκυστήρων.



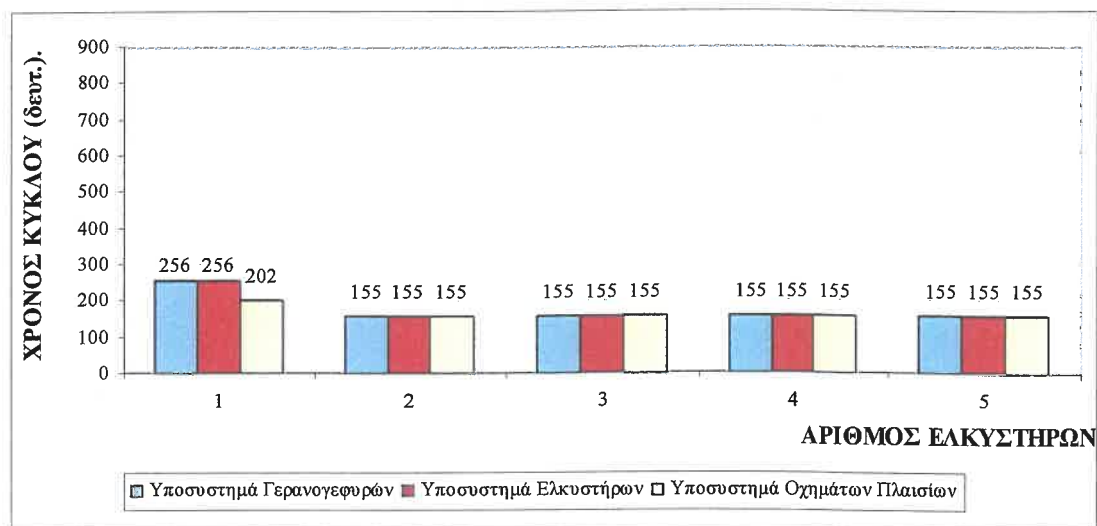
Γράφημα 4.2α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 100μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1.



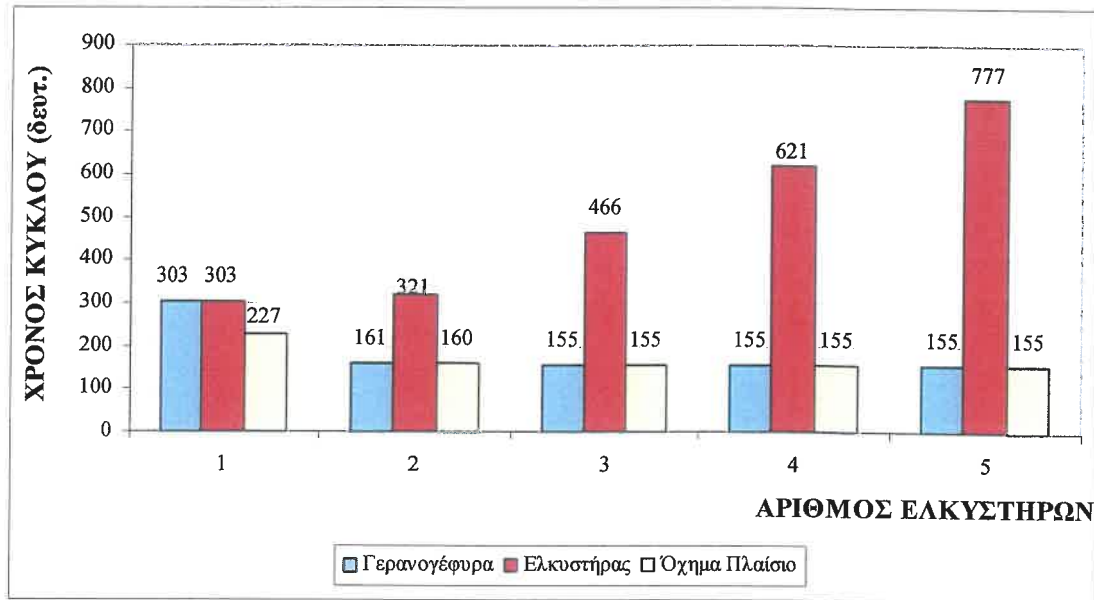
Γράφημα 4.2β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 100μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1.



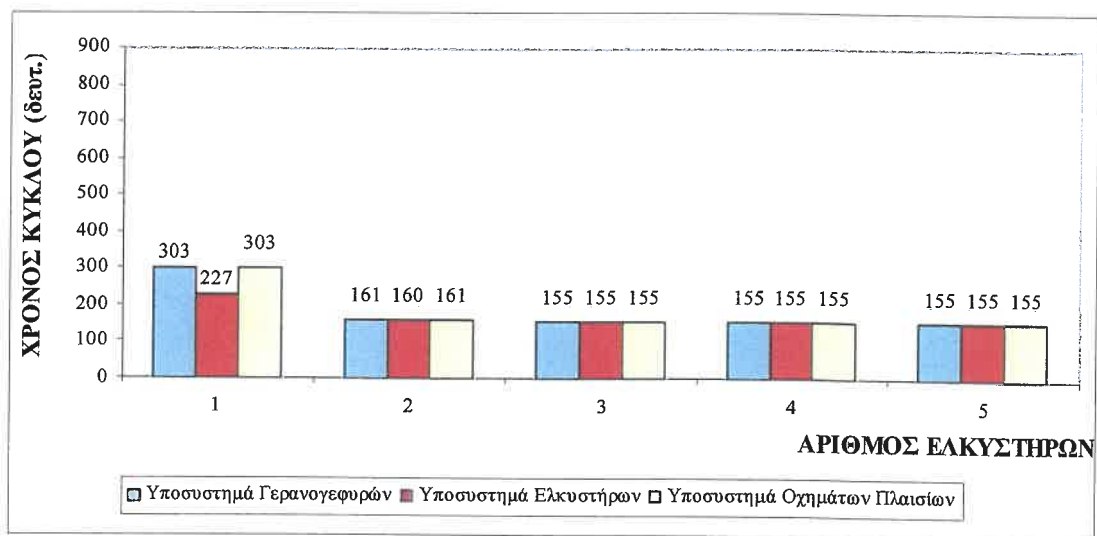
Γράφημα 4.3α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 200μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1



Γράφημα 4.3β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 200μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1



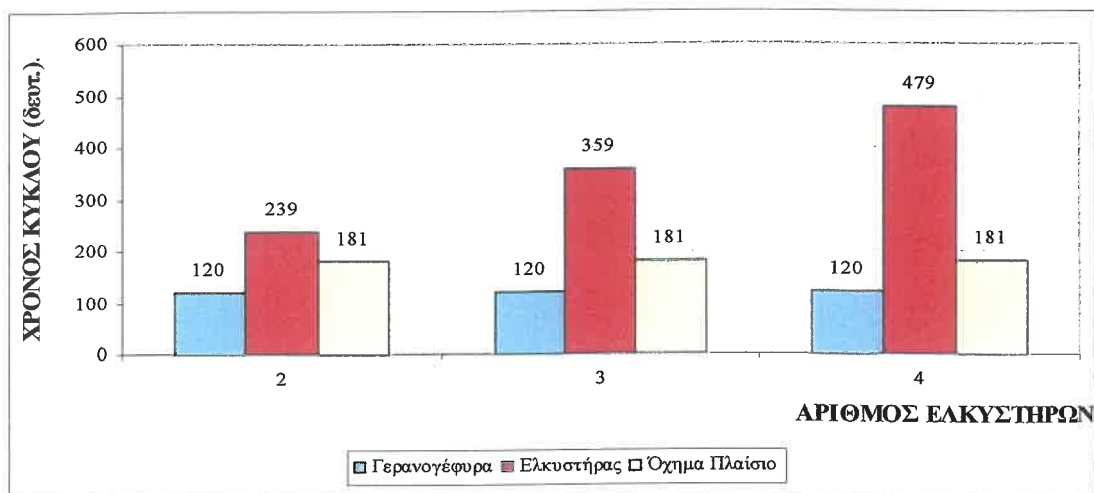
Γράφημα 4.4α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 300μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1



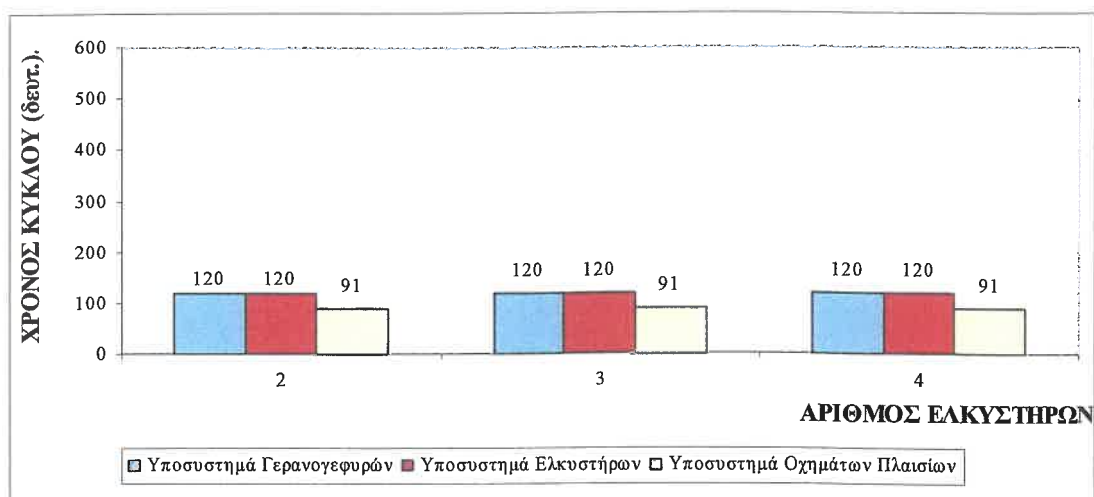
Γράφημα 4.4β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 300μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 1

Η διαπίστωση ότι ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου (155 δευτερόλεπτα) είναι μεγαλύτερος από τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας (120 δευτερόλεπτα) μας οδηγεί στην προσθήκη δεύτερου Οχήματος Πλαισίου.

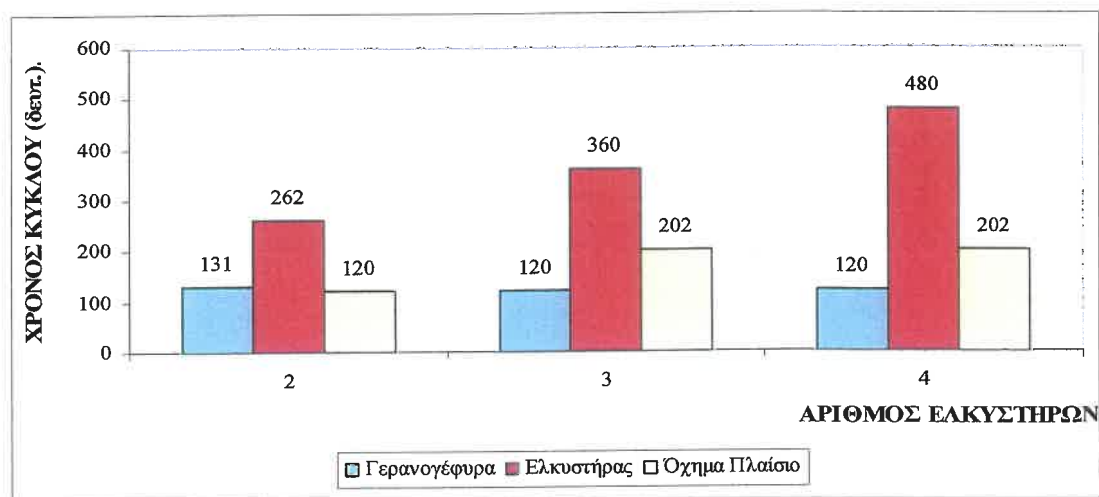
Από τα Γραφήματα 4.5 έως 4.7 τα οποία παρουσιάζουν τους χρόνους κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους όταν στην λιμενική εγκατάσταση απασχολούνται δύο Οχήματα Πλαίσια συμπεραίνονται τα εξής. Όταν η μέση απόσταση μεταφοράς είναι 100 μέτρα το υποσύστημα των ελκυστήρων και το υποσύστημα της γερανογέφυρας επιτυγχάνουν τον ελάχιστο χρόνο που μπορούν να επιτύχουν, δηλαδή τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας (120 δευτερόλεπτα), όταν στην λιμενική εγκατάσταση απασχολούνται δύο ελκυστήρες ενώ όταν η μέση απόσταση μεταφοράς αυξάνει αυτός ο ελάχιστος χρόνος επιτυγχάνεται με τρεις ελκυστήρες.



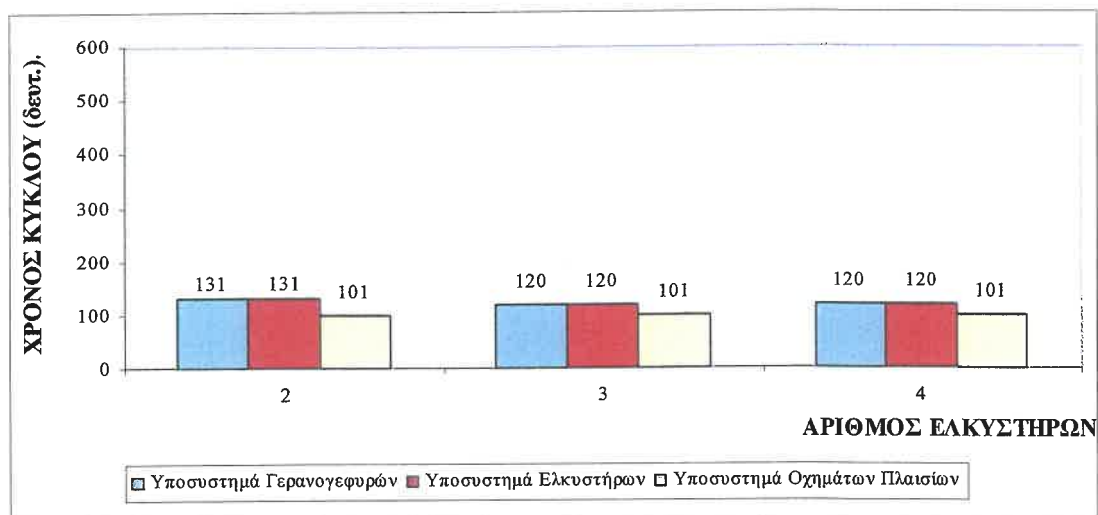
Γράφημα 4.5α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 100μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2



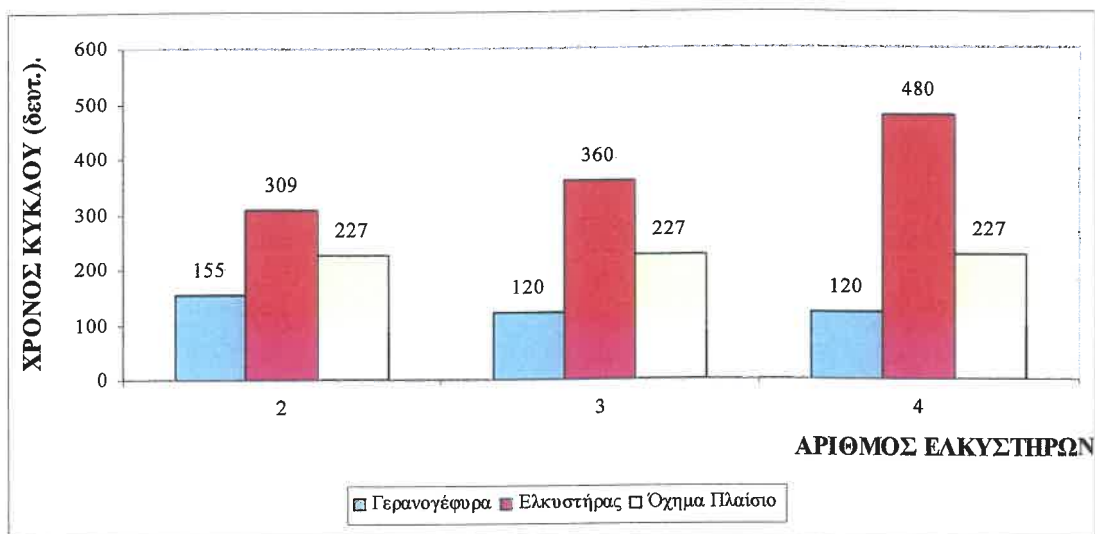
Γράφημα 4.5β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 100μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2



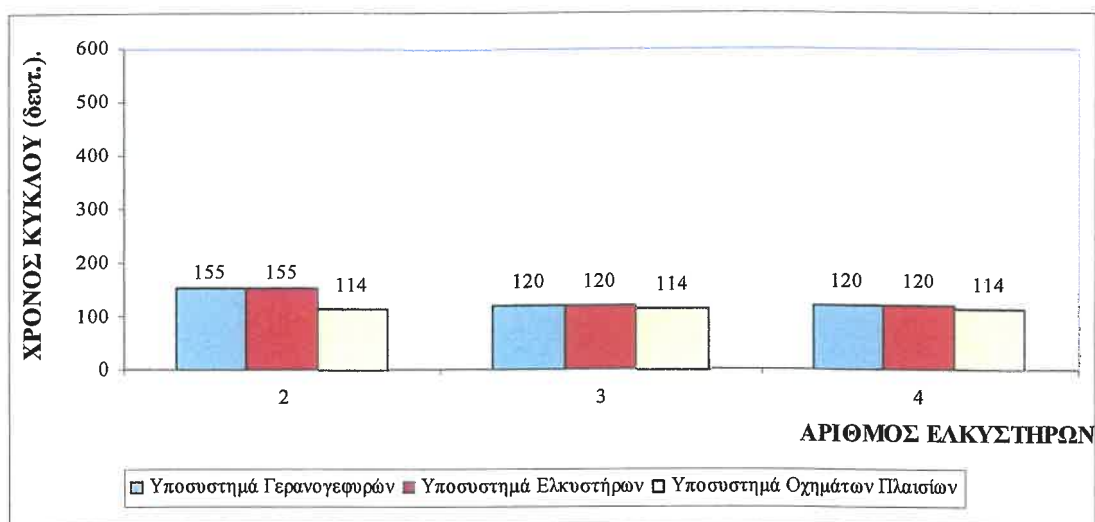
Γράφημα 4.6α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 200μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2



Γράφημα 4.6β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 200μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2

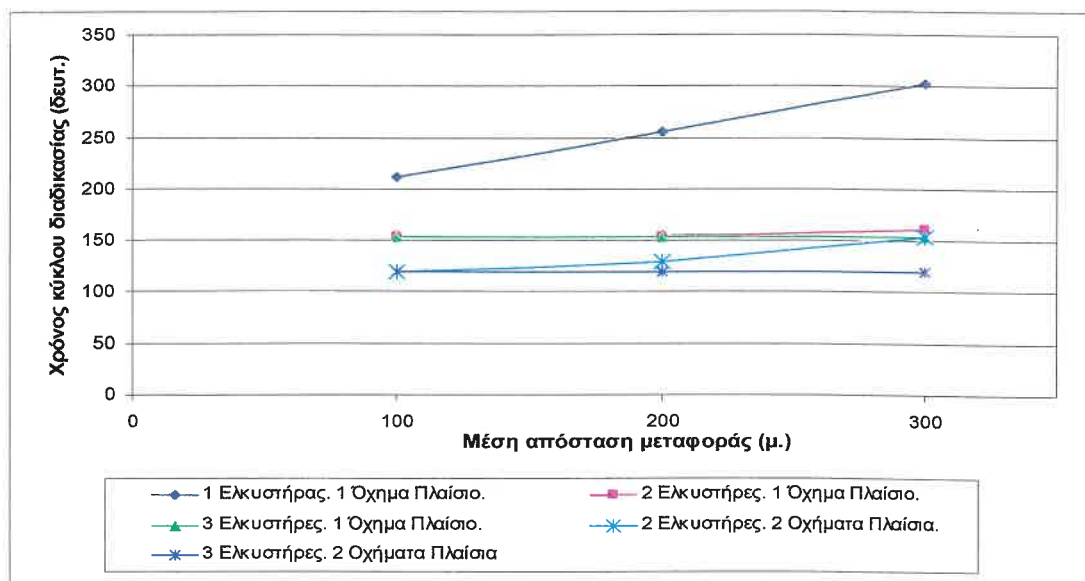


Γράφημα 4.7α: Χρόνος κύκλου μηχανημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 300μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2



Γράφημα 4.7β: Χρόνος κύκλου των υποσυστημάτων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου σε συνάρτηση με τον αριθμό ελκυστήρων που απασχολούνται. Μέση απόσταση μεταφοράς 300μ. Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων 2

Στο Γράφημα 4.8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι χρόνοι κύκλου της διαδικασίας για διαφορετική σύνθεση εξοπλισμού εξυπηρέτησης γερανογέφυρας και εξάγονται τα εξής συμπεράσματα. Όταν ο εξοπλισμός της εγκατάστασης είναι ένας ελκυστήρας και ένα Όχημα Πλαίσιο ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας συνεχώς αυξάνει. Με την προσθήκη δεύτερου ελκυστήρα ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας είναι όσο ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου (155 δευτερόλεπτα) για μέσο μήκος μεταφοράς μέχρι 250 μέτρα. Όταν το μήκος αυτό αυξάνει αρχίζει να αυξάνει και ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας. Με την προσθήκη τρίτου ελκυστήρα ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας είναι σταθερός και όσο ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου (155 δευτερόλεπτα) για μέσο μήκος μεταφοράς μέχρι 300 μέτρα. Όταν ο εξοπλισμός της εγκατάστασης είναι δύο ελκυστήρες και δύο Οχήματα Πλαίσια ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας είναι όσο ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας (120 δευτερόλεπτα) για μέσο μήκος μεταφοράς 100 μέτρα και συνεχώς αυξάνει καθώς αυξάνει το μήκος. Με την προσθήκη τρίτου ελκυστήρα ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας είναι σταθερός και ίσος με τον ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου της γερανογέφυρας (120 δευτερόλεπτα) για μέσο μήκος μεταφοράς μέχρι 300 μέτρα.



Γράφημα 4.8: Χρόνοι κύκλου διαδικασίας εκφόρτωσης πλοίου σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς για διαφορετική σύνθεση εξοπλισμού υποστήριξης γερανογέφυρας

4.1.2 Μεταβαλλόμενος Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Γερανογέφυρας και Μεταβαλλόμενος Χρόνος Εκφόρτωσης Ελκυστήρα από Όχημα Πλαίσιο

Στα προηγούμενα σενάρια θεωρήσαμε ότι η γερανογέφυρα έχει σταθερή τιμή ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου και ότι το Όχημα Πλαίσιο εκφορτώνει το Ε/Κ από τον ελκυστήρα σε χρόνο σταθερό. Στην συνέχεια εξετάζονται οι επιδράσεις που προκαλούνται στο σύστημα όταν ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας αλλά και ο χρόνος εκφόρτωσης του ελκυστήρα δεν είναι σταθεροί αλλά μεταβάλλονται. Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέση τιμή ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου 120 δευτερόλεπτα. Ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας έχει τυπική απόκλιση που μπορεί να παίρνει τιμές από 0 δευτερόλεπτα έως και το 50% της μέσης τιμής του χρόνου του κύκλου της.

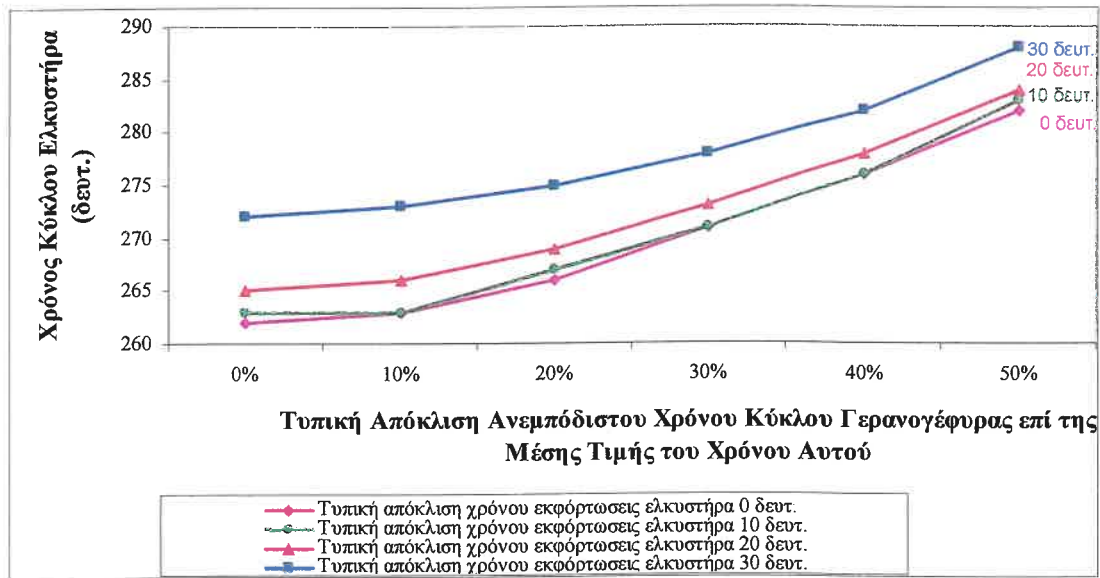
Τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβασίας. Οι ελκυστήρες μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα 20 χλμ/ώρα. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Στο τέλος της διαδρομής υπάρχουν Οχήματα Πλαίσια που εκφορτώνουν τα Ε/Κ από τους ελκυστήρες και στην συνέχεια τα τοποθετούν στις θέσεις εναπόθεσης. Ο χρόνος εκφόρτωσης του Ε/Κ έχει μέση τιμή 60 δευτερόλεπτα και τυπική απόκλιση που παίρνει τιμές 0, 10, 20, και 30 δευτερόλεπτα Αρχικά επιλέχτηκε για εξοπλισμός δύο Οχήματα Πλαίσια και δύο ελκυστήρες και μέση απόσταση μεταφοράς 200 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.2 καταγράφεται ο χρόνος κύκλου ελκυστήρα και η τυπική απόκλιση του για διάφορες τιμές τυπικής απόκλισης χρόνου εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα μέσω του Οχήματος Πλαισίου και τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας.

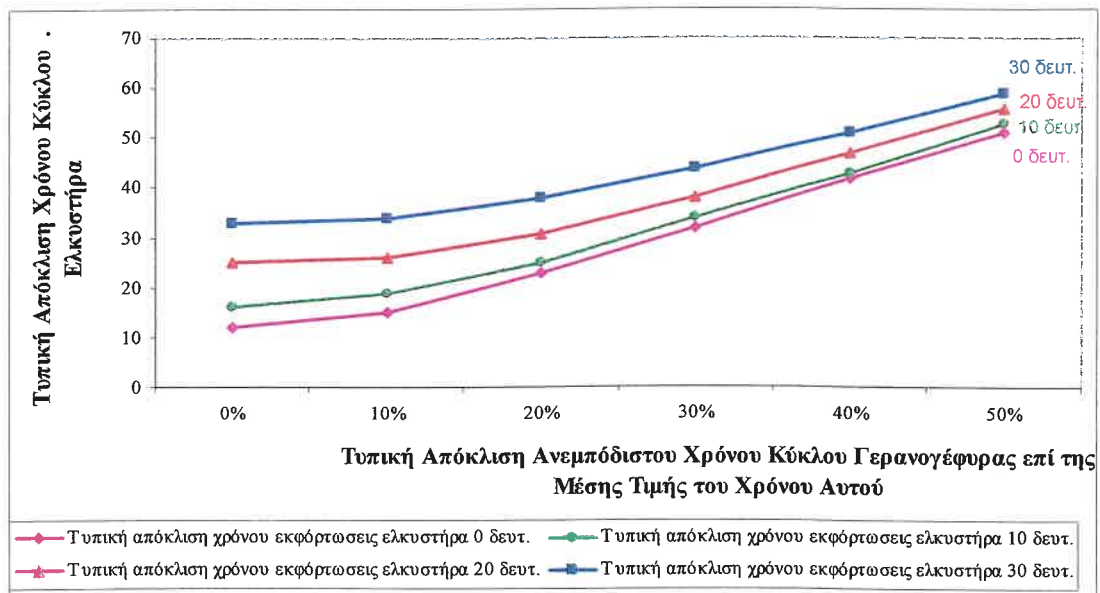
Πίνακας 4.2: Χρόνος κύκλου ελκυστήρα και τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού για μεταβολή στην τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας και στην τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του ελκυστήρα

Τυπική απόκλιση χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα από το Όχημα Πλαίσιο	Τυπική απόκλιση ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου γερανογέφυρας επί της μέσης τιμής του χρόνου αυτού											
	0%		10%		20%		30%		40%		50%	
	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)
0	262	12	263	15	266	23	271	32	276	42	282	51
10	263	16	263	19	267	25	271	34	276	43	283	53
20	265	25	266	26	269	31	273	38	278	47	284	56
30	272	33	273	34	275	38	278	44	282	51	288	59

Στα Γραφήματα 4.9 και 4.10 φαίνεται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας αυξάνεται ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα. Η μεταβολή αυτή του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας. Επίσης, παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα.

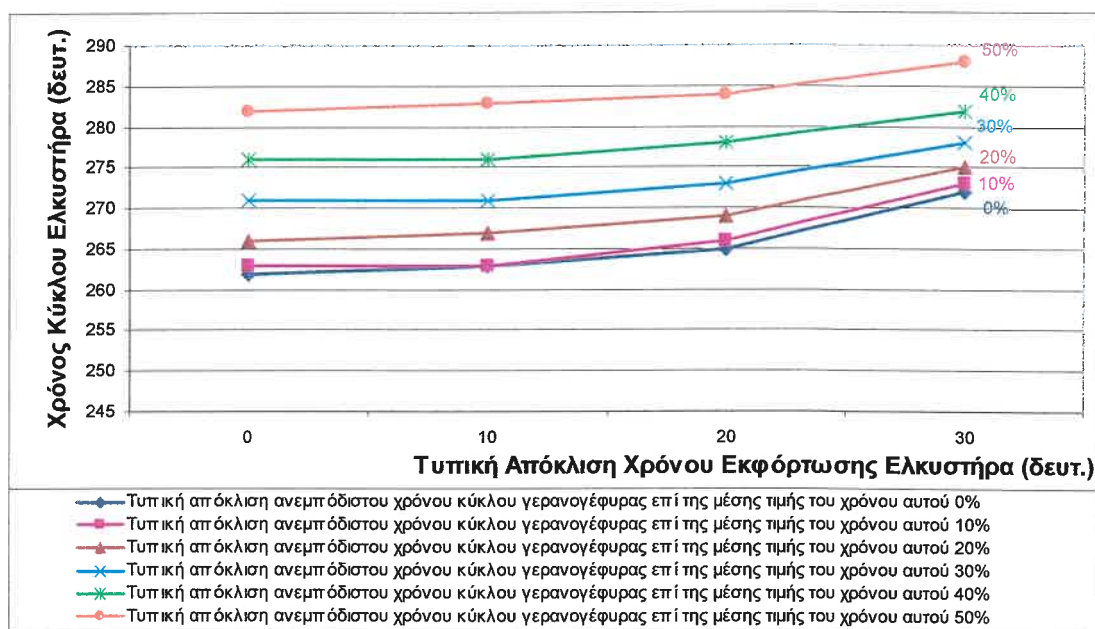


Γράφημα 4.9: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας στον χρόνο κύκλου του ελκυστήρα για εναλλακτικές τιμές τυπικής απόκλισης χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα

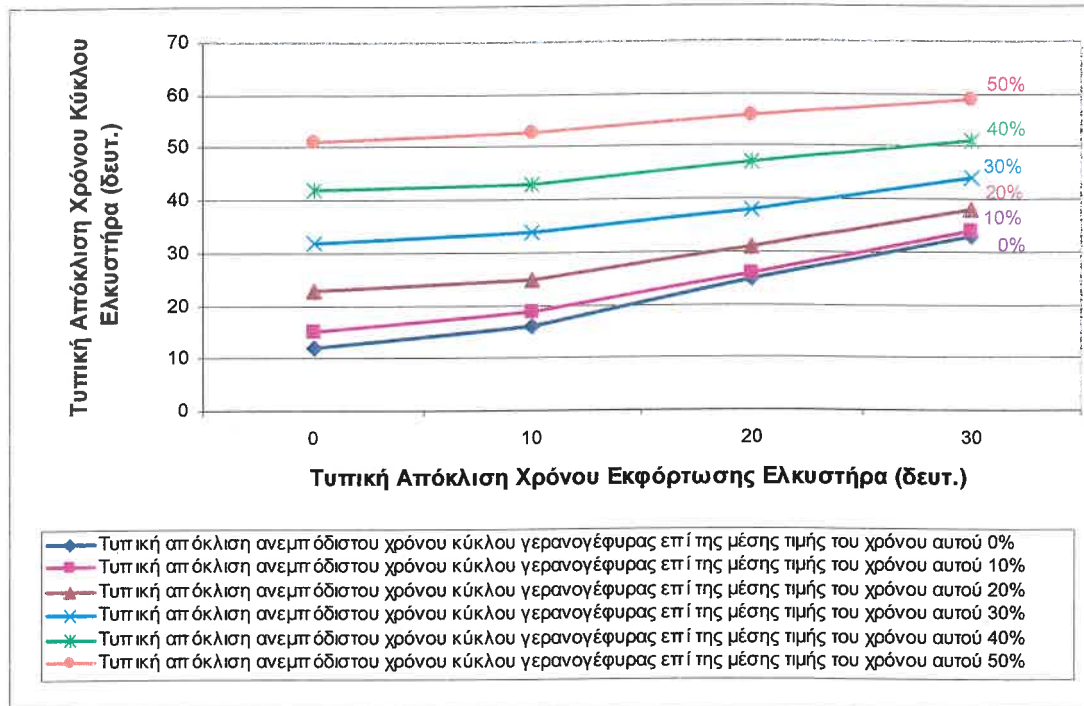


Γράφημα 4.10: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας στην τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα για εναλλακτικές τιμές τυπικής απόκλισης χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα.

Στα Γραφήματα 4.11 και 4.12 φαίνεται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα μέσω του Οχήματος Πλαισίου αυξάνεται ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα. Η μεταβολή αυτή του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα. Επίσης παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα.



Γράφημα 4.11 Επίδραση της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα στον χρόνο κύκλου του για εναλλακτικές τιμές τυπικής απόκλισης ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου γερανογέφυρας.



Γράφημα 4.12: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα στην τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του για εναλλακτικές τιμές τυπικής απόκλισης ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου γερανογέφυρας.

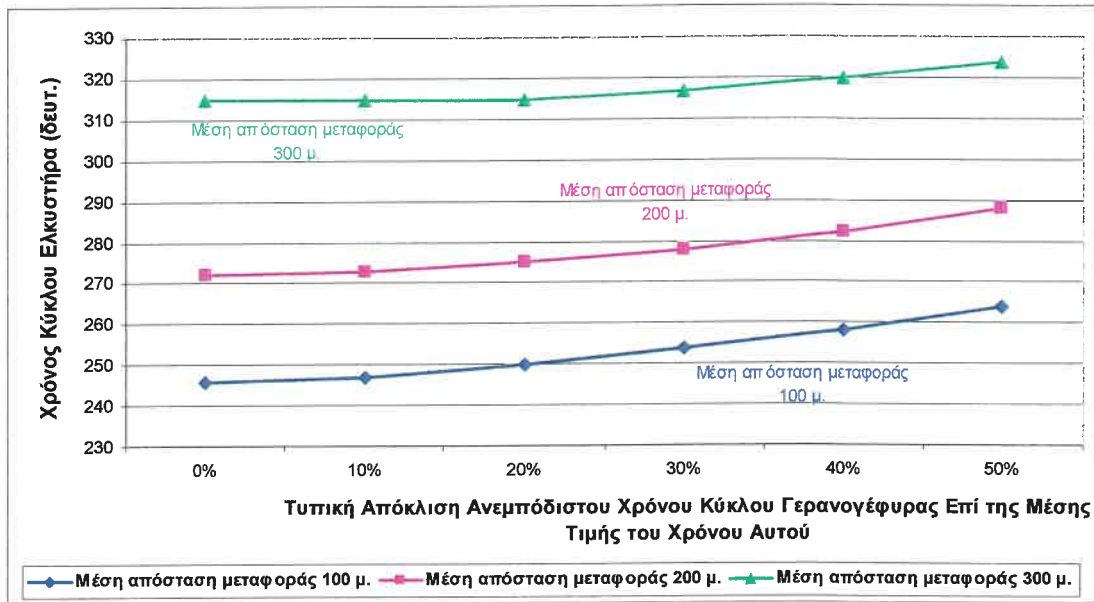
Στην συνέχεια εξετάζεται αν η μεταβολή στην τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας επιδρά στον χρόνο κύκλου του ελκυστήρα όταν η μέση απόσταση μεταφοράς μεταβάλλεται. Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέση τιμή ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου 120 δευτερόλεπτα. Ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας έχει τυπική απόκλιση που μπορεί να παίρνει τιμές από 0 δευτερόλεπτα έως και το 50% της μέσης τιμής του χρόνου του κύκλου της. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.3 καταγράφεται ο χρόνος κύκλου ελκυστήρα και η τυπική απόκλιση του για διάφορες τιμές τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας για διάφορα μήκη μεταφοράς.

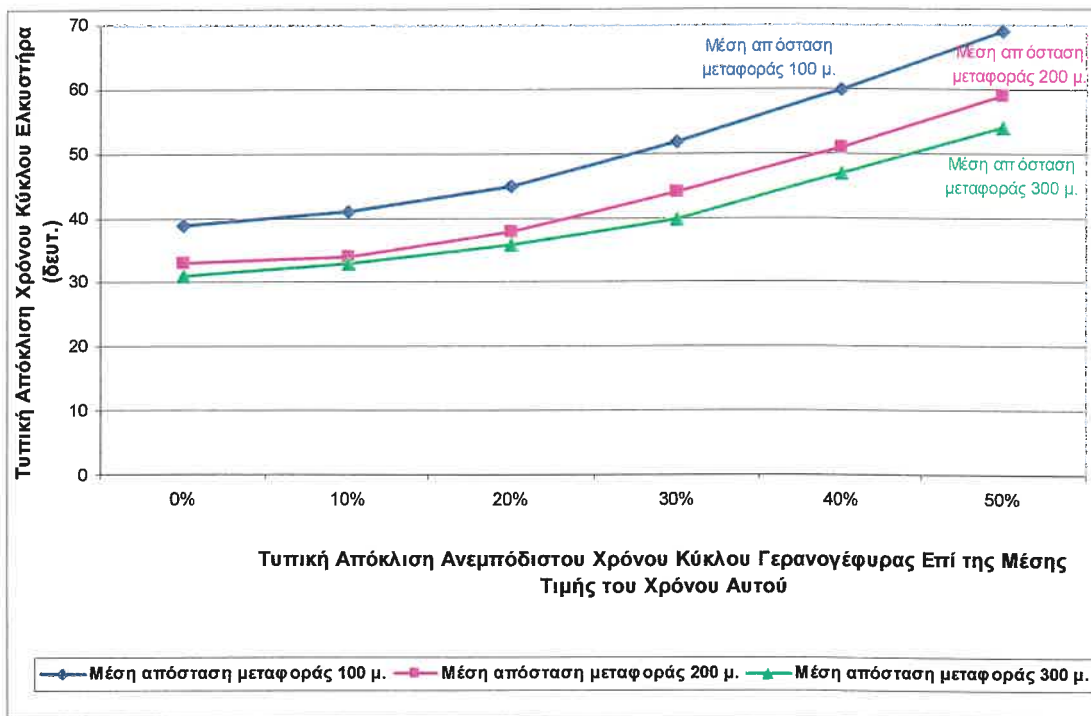
Πίνακας 4.3: Χρόνος κύκλου ελκυστήρα και τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού για μεταβολή στην τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας και της απόστασης μεταφοράς

Μέση απόσταση μεταφοράς μ.	Τυπική απόκλιση ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου γερανογέφυρας επί της μέσης τιμής του χρόνου αυτού											
	0%		10%		20%		30%		40%		50%	
	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)
100	246	39	247	41	250	45	254	52	258	60	264	69
200	272	33	273	34	275	38	278	44	282	51	288	59
300	315	31	315	33	315	36	317	40	320	47	324	54

Από τα Γραφήματα 4.13 και 4.14 παρατηρείται ότι οι κλίσεις των γραμμών είναι ανεξάρτητες του μήκους μεταφοράς. Συμπεραίνεται ότι η συμπεριφορά του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα και της τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού όταν μεταβάλλεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας είναι ανεξάρτητη του μήκους μεταφοράς.



Γράφημα 4.13: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας στον χρόνο κύκλου του ελκυστήρα για διαφορετικές τιμές μέσης απόστασης μεταφοράς



Γράφημα 4.14: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας στην τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα για διαφορετικές τιμές μέσης απόστασης μεταφοράς

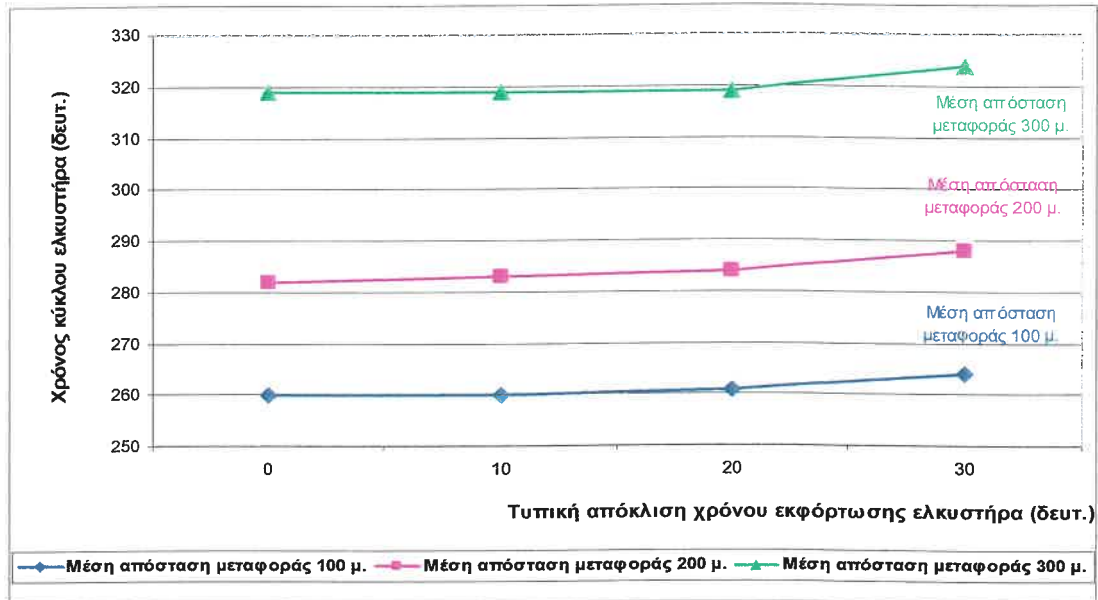
Στην συνέχεια εξετάζεται αν η μεταβολή στο χρόνο εκφόρτωσης του ελκυστήρα επιδρά στον χρόνο κύκλου του ελκυστήρα όταν η μέση απόσταση μεταφοράς μεταβάλλεται. Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέση τιμή ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου 120 δευτερόλεπτα. Ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας έχει τυπική απόκλιση ίση με το 50% της μέσης τιμής του χρόνου του κύκλου της. Ο χρόνος εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα μέσω Οχήματος Πλαισίου έχει μέση τιμή 60 δευτερόλεπτα και τυπική απόκλιση που παίρνει τιμές από 0 έως 30 δευτερόλεπτα. Επιλέχθηκε για εξοπλισμό δύο Οχήματα Πλαίσια και δύο ελκυστήρες. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.4 καταγράφεται ο χρόνος κύκλου ελκυστήρα και η τυπική απόκλιση του για διάφορες τιμές τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσής του για διάφορα μήκη μεταφοράς.

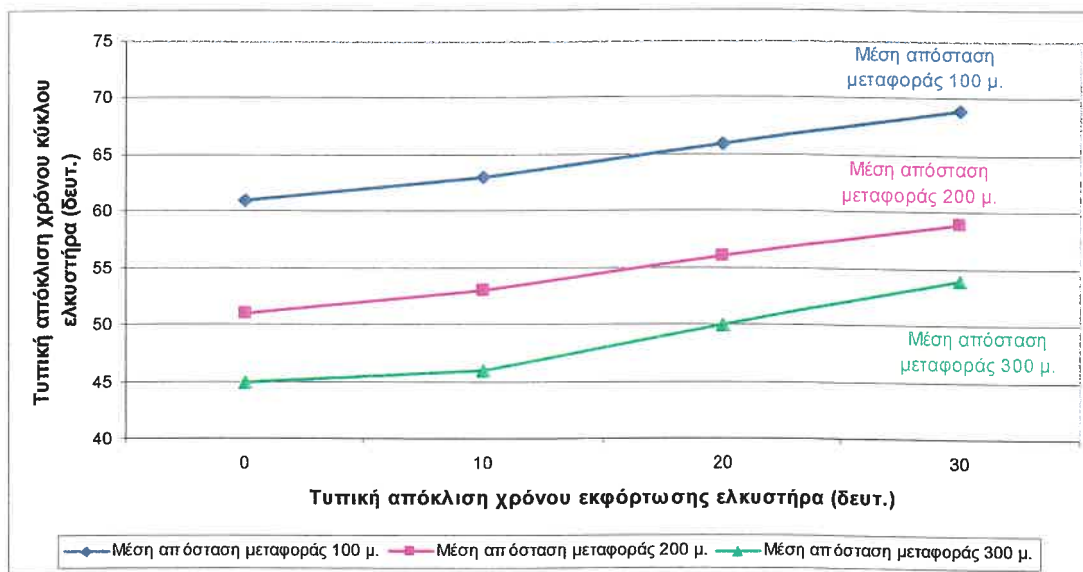
Πίνακας 4.4: Χρόνος κύκλου ελκυστήρα και τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού για μεταβολή στην τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης και της μέσης απόστασης μεταφοράς

Μέση απόσταση μεταφοράς μ.	Τυπική απόκλιση χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα (δευτ.)							
	0		10		20		30	
	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)	Τυπική απόκλιση χρόνου κύκλου ελκυστήρα (δευτ.)
100	260	61	260	63	261	66	264	69
200	282	51	283	53	284	56	288	59
300	319	45	319	46	319	50	324	54

Από τα Γραφήματα 4.15 και 4.16 παρατηρείται ότι οι κλίσεις των γραμμών είναι ανεξάρτητες του μήκους μεταφοράς. Συμπεραίνεται ότι η συμπεριφορά του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα και της τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού όταν μεταβάλλεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του ελκυστήρα είναι ανεξάρτητη του μήκους μεταφοράς.



Γράφημα 4.15: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα στον χρόνο κύκλου του για διαφορετικές τιμές μέσης απόστασης μεταφοράς



Γράφημα 4.16: Επίδραση της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης ελκυστήρα στην τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του για διαφορετικές τιμές μέσης απόστασης μεταφοράς

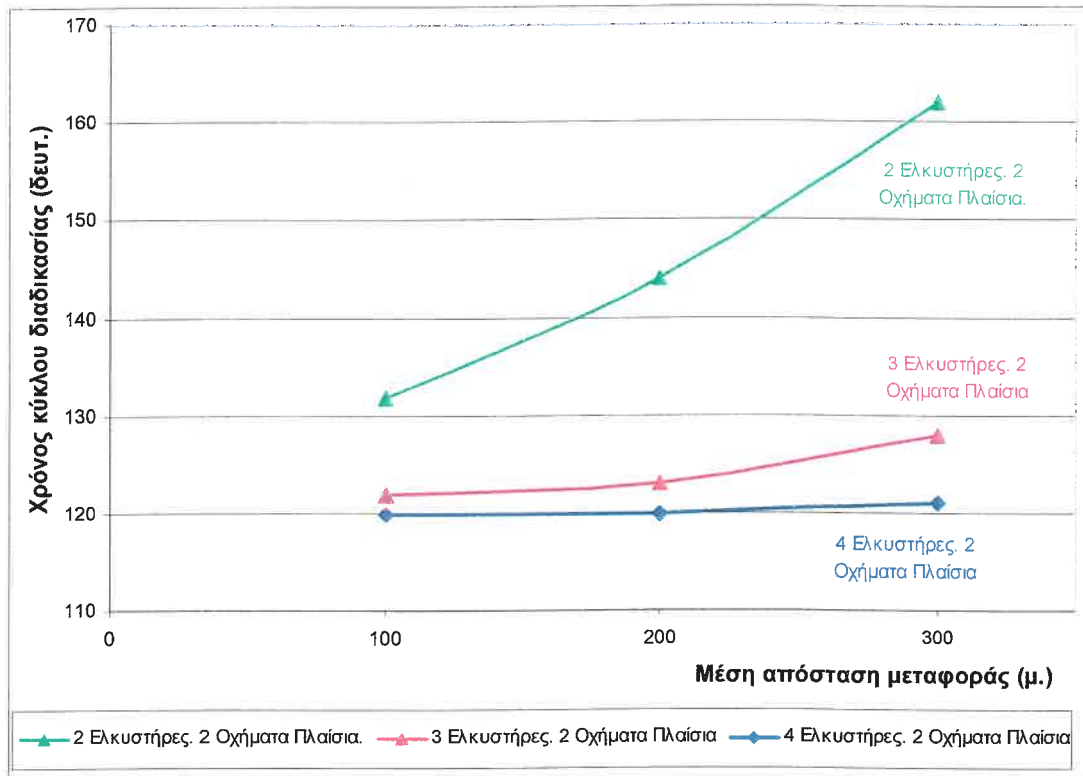
4.1.3 Μεταβολή στο Πλήθος των Ελκυστήρων που Συμμετέχουν στην Διαδικασία Εκφόρτωσης Πλοίου

Στην συνέχεια εξετάζεται αν η προσθήκη στον μηχανολογικό εξοπλισμό ενός ελκυστήρα θα επιφέρει αλλαγές στο σύστημα. Η εκφόρτωση των Ε/Κ από το πλοίο γίνεται από γερανογέφυρα με μέση τιμή ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου 120 δευτερολέπτων και τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού 60 δευτερολέπτων. Τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβασίας. Οι ελκυστήρες μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα 20 χλμ/ώρα. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Στο τέλος της διαδρομής υπάρχουν δύο Οχήματα Πλαίσια που εκφορτώνουν τα Ε/Κ από τους ελκυστήρες και στην συνέχεια τα τοποθετούν στις θέσεις εναπόθεσης. Έχει επιλεχθεί η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του Ε/Κ από τον ελκυστήρα να είναι 30 δευτερόλεπτα. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.5 καταγράφονται οι χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ. Από το Γράφημα 4.17 φαίνεται ότι η προσθήκη ελκυστήρα μειώνει τον χρόνο κύκλου της διαδικασίας. Η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη όσο αυξάνει ο αριθμός των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην εκφόρτωση του πλοίου.

Πίνακας 4.5: Χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ

Αριθμός Γερανογεφυρών	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Γερανογεφυρας (δευτ.)	Μέση Απόσταση Μεταφοράς μ.	Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων	Αριθμός Ελκυστήρων	Χρόνος Αναμονής Γερανογεφυρας Λόγω Μη Εγκαιρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Γερανογεφυρας(δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Γερανογεφυρών (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Οχήματος Πλαισίου Λόγω Μη Εγκαιρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Οχημάτων Πλαισίων (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαιρης Εκφόρτωσης Ε/Κ από την Γερανογέφυρα (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαιρης Έλευσης Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Ελκυστήρων (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Διαδικασίας (δευτ.)
1	120	100	2	2	12	132	132	155	21	176	88	212	49	3	264	132	132
				3	2	122	122	155	18	173	87	212	147	6	365	122	122
				4	0	120	120	155	18	173	87	212	262	6	480	120	120
		200	2	2	24	144	144	155	43	198	99	256	30	2	288	144	144
				3	3	123	123	155	37	192	96	256	111	2	369	123	123
				4	0	120	120	155	35	190	95	256	220	4	480	120	120
	300	2	2	2	42	162	162	155	70	225	113	303	18	3	324	162	162
				3	8	128	128	155	58	213	107	303	78	2	383	128	128
				4	1	121	121	155	51	206	103	303	177	5	485	121	121



Γράφημα 4.17: Μεταβολή στον χρόνο κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς κατά την προσθήκη τρίτου και τέταρτου ελκυστήρα

4.1.4 Μεταβολή στην Μέγιστη Ταχύτητα του Ελκυστήρα

Στα μέχρι τώρα σενάρια έχει θεωρηθεί ότι η μέγιστη ταχύτητα ελκυστήρα είναι 20 χλμ/ώρα. Στην επόμενη ομάδα σεναρίων που εξετάζονται η μέγιστη αυτή ταχύτητα ορίζεται στα 40 χλμ/ώρα. Επίσης ως μηχανολογικός εξοπλισμός ορίζονται δύο ελκυστήρες και δύο Οχήματα Πλαίσια. Τα Ε/Κ εκφορτώνονται μέσω μίας γερανογέφυρας με μέση τιμή κύκλου 120 δευτερόλεπτα και τυπική απόκλιση 60 δευτερόλεπτα.

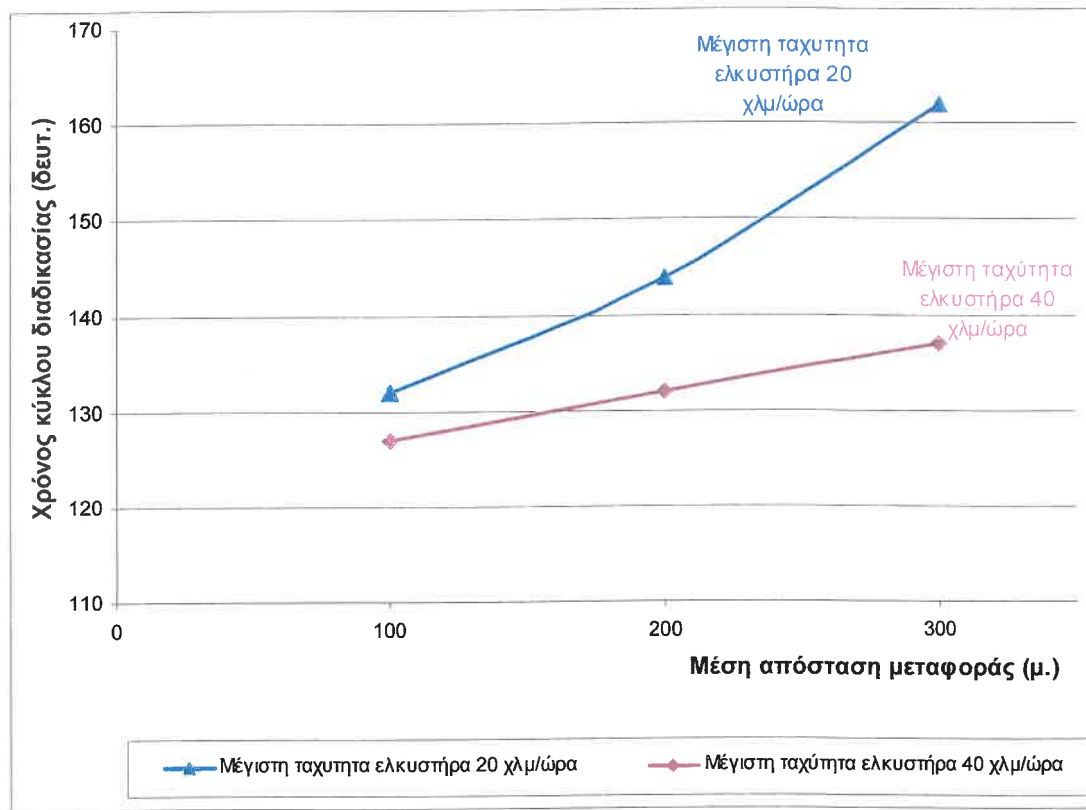
Τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβασίας. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Τα Ε/Κ εκφορτώνονται από τους ελκυστήρες μέσω των Οχημάτων Πλαισίων σε μέσο χρόνο 60

δευτερολέπτων με τυπική απόκλιση 30 δευτερόλεπτα. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.6 καταγράφονται οι χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ. Παρατηρείται ότι η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας ελκυστήρα μειώνει τον χρόνο κύκλου της διαδικασίας (Γραφημα 4.18). Η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη όταν αυξάνεται η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ο ελκυστήρας.

Πίνακας 4.6: Χρόνοι κύκλου των μηχανημάτων και των υποσυστημάτων τους που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ. Μέγιστη ταχύτητα ελκυστήρα 20 και 40 χλμ/ώρα

Αριθμός Γερανογεφυρών	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Γερανογεφυράς (δευτ.)	Μέση Απόσταση Μεταφοράς μ.	Αριθμός Οχημάτων Πλαισίων	Αριθμός Ελκυστήρων	Μέγιστη ταχύτητα ελκυστήρα (χλμ/ώρα)	Χρόνος Αναμονής Γερανογεφυράς Λόγω Μη Εγκαίρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Γερανογεφυράς (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Γερανογεφυρών (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Οχήματος Πλαισίου Λόγω Μη Εγκαίρης Έλευσης Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Οχημάτων Πλαισίων (δευτ.)	Ανεμπόδιστος Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαίρης Εκφόρτωσης Ε/Κ από την Γερανογεφυρά (δευτ.)	Χρόνος Αναμονής Ελκυστήρα Λόγω Μη Εγκαίρης Έλευσης Οχήματος Πλαισίου (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Ελκυστήρα (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Υποσυστήματος Ελκυστήρων (δευτ.)	Χρόνος Κύκλου Διαδικασίας (δευτ.)
1	120	100	2	2	20	12	132	132	155	21	176	88	212	49	3	264	132	132
				2	40	7	127	127	155	11	166	83	186	62	6	254	127	127
		200	2	2	20	24	144	144	155	43	198	99	256	30	2	288	144	144
				2	40	12	132	132	155	28	183	92	210	50	4	264	132	132
		300	2	2	20	42	162	162	155	70	225	113	303	18	3	324	162	162
				2	40	17	137	137	155	37	192	96	230	40	3	273	137	137



Γράφημα 4.18: Επίδραση της μέσης απόστασης μεταφοράς στο χρόνο κύκλου της διαδικασίας για εναλλακτικές μέγιστες ταχύτητες ελκυστήρα

4.1.5 Μεταβολή στον Αριθμό Γερανογεφυρών

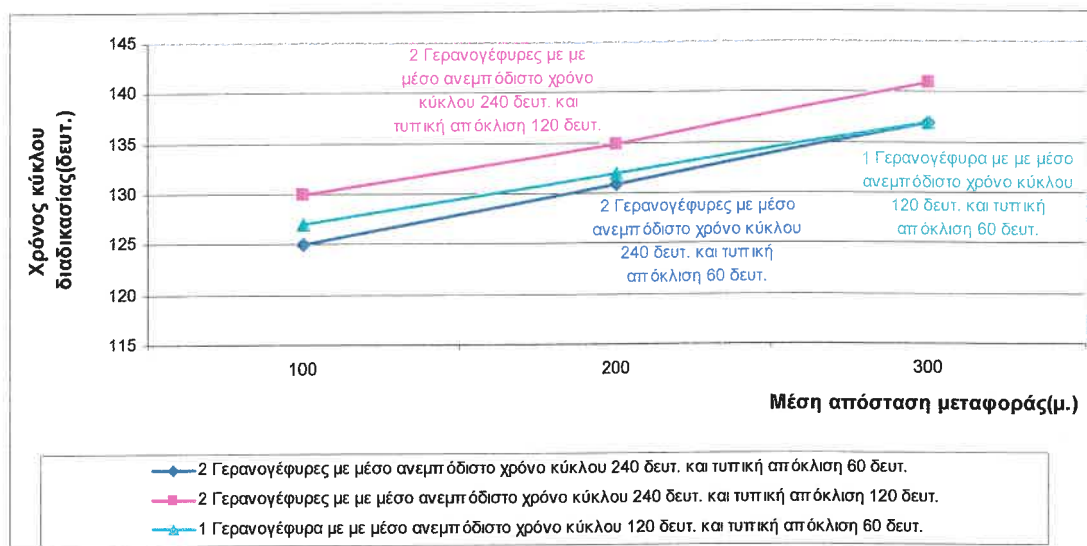
Στα μέχρι τώρα σενάρια έχει θεωρηθεί ότι η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 120 δευτερόλεπτα. Στην επόμενη ομάδα σεναρίων εξετάζεται η συμπεριφορά του συστήματος όταν η εκφόρτωση γίνεται από δύο γερανογέφυρες με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτερόλεπτα. Επίσης ως μηχανολογικός εξοπλισμός ορίζονται δύο ελκυστήρες και δύο Οχήματα Πλαίσια. Τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβάσεως. Οι ελκυστήρες μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα 40 χλμ/ώρα. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Τα Ε/Κ εκφορτώνονται από τους ελκυστήρες μέσω των Οχημάτων Πλαισίων σε μέσο χρόνο 60 δευτερολέπτων με τυπική απόκλιση 30

δευτερόλεπτα. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.7 καταγράφονται οι χρόνοι κύκλου της διαδικασία εκφόρτωσης Ε/Κ. Από το Γράφημα 4.19 συμπεραίνεται ότι η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας καθώς αυξάνεται η μέση απόσταση μεταφοράς είναι μεγαλύτερη όταν η εκφόρτωση γίνεται με δύο αργές γερανογέφυρες (μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτερόλεπτα) από όταν γίνεται με μία γρήγορη γερανογέφυρα με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου τον μισό από τον αντίστοιχο της αργής (120 δευτερόλεπτα).

Πίνακας 4.7: Χρόνοι κύκλου διαδικασίας (δευτ.) για εκφόρτωση πλοίου με μία ή δύο γερανογέφυρες για διαφορετικές τιμές μέσης απόστασης μεταφοράς

Μέση απόσταση μεταφοράς	Μηχανολογικός Εξοπλισμός					
	2 Ελκυστήρες & 2 Οχήματα Πλαίσια			2 Ελκυστήρες & 3 Οχήματα Πλαίσια		
	2	2	1	2	2	1
	Γερανογέφυρες με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτ. και τυπική απόκλιση 60 δευτ.	Γερανογέφυρες με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτ. και τυπική απόκλιση 120 δευτ.	Γερανογέφυρα με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 120 δευτ. και τυπική απόκλιση 60 δευτ.	Γερανογέφυρες με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτ. και τυπική απόκλιση 60 δευτ.	Γερανογέφυρες με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτ. και τυπική απόκλιση 120 δευτ.	Γερανογέφυρα με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 120 δευτ. και τυπική απόκλιση 60 δευτ.
100	125	130	127	120	121	121
200	131	135	132	120	122	122
300	137	141	137	120	123	122



Γράφημα 4.19: Επίδραση της μέσης απόστασης μεταφοράς στο χρόνο κύκλου της διαδικασίας για εκφόρτωση πλοίου ή με μία γρήγορη γερανογέφυρα ή με δύο αργές γερανογέφυρες.

4.2 ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΑ ΜΕ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

4.2.1 Μεταβολή στο Πλήθος των Οχημάτων Πλαισίων που Συμμετέχουν στην Διαδικασία Εκφόρτωσης Πλοίου

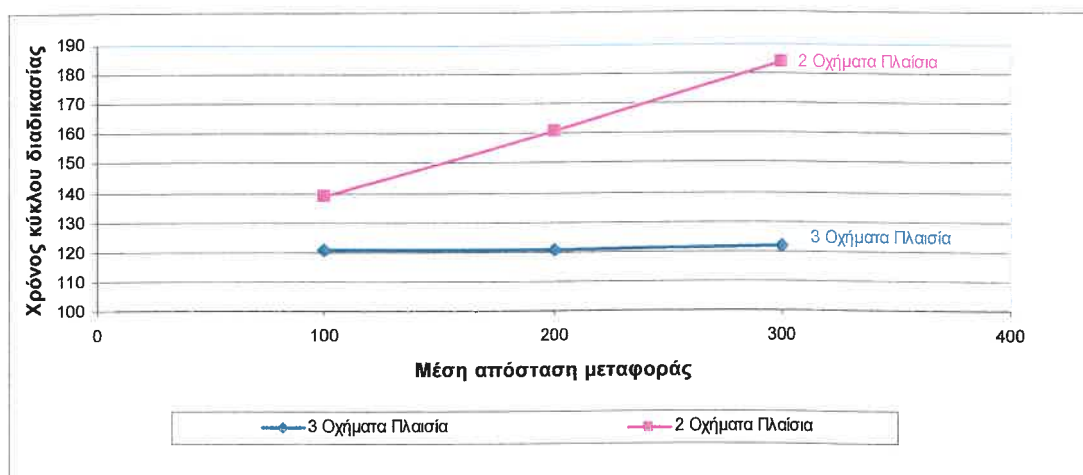
Η επόμενη ομάδα σεναρίων εξετάζει τις επιδράσεις που προκαλεί στο σύστημα μεταβολή του πλήθους των Οχημάτων Πλαισίων που συμμετέχουν στην διαδικασία εκφόρτωσης πλοίου. Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέση τιμή κύκλου 120 δευτερόλεπτα και τυπική απόκλιση 60 δευτερόλεπτα. Τα Ε/Κ εναποτίθενται από την γερανογέφυρα στο δάπεδο ανάμεσα στα σκέλη της και από εκεί παραλαμβάνονται και μεταφέρονται από Οχήματα Πλαίσια και τοποθετούνται στις θέσεις στοιβασίας. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι χρόνοι κύκλου διαδικασίας ανάλογα με την μέση απόσταση μεταφοράς για εναλλακτικό πλήθος Οχημάτων Πλαισίων.

Πίνακας 4.8: Χρόνοι κύκλου διαδικασίας (δευτ.) ανάλογα με την μέση απόσταση μεταφοράς για εναλλακτικό πλήθος Οχημάτων Πλαισίων

Μέση απόσταση μεταφοράς μ.	Μηχανολογικός Εξοπλισμός	
	2 Οχήματα Πλαίσια	3 Οχήματα Πλαίσια
100	139	121
200	161	121
300	184	122

Από το Γράφημα 4.20 συμπεραίνεται ότι ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας μειώνεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των Οχημάτων Πλαισίων. Επίσης η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς μειώνεται με την προσθήκη Οχήματος Πλαισίου.



Γράφημα 4.20: Επίδραση της μέσης απόστασης μεταφοράς στο χρόνο κύκλου της διαδικασίας για διαφορετικό πλήθος Οχημάτων Πλαισίων

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΩΝ

Στις προηγούμενες παραγράφους εξετάστηκαν δύο βασικά συστήματα εξυπηρέτησης γερανογεφυρών (συστήματα που χρησιμοποιούν ελκυστήρες και για την μεταφορά και Οχήματα Πλαίσια για την στοιβασία των Ε/Κ και συστήματα που χρησιμοποιούν αποκλειστικά Οχήματα πλαίσια). Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι χρόνοι κύκλου της διαδικασίας που επιτυγχάνουν τα αυτά τα δύο συστήματα.

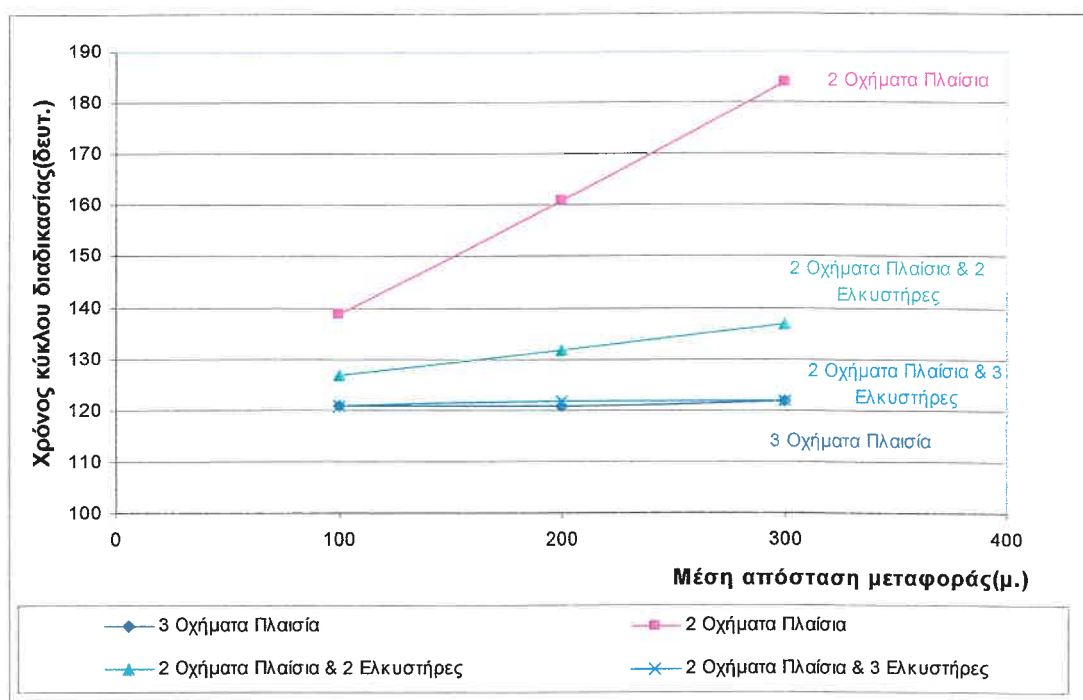
Πίνακας 4.9: Χρόνοι κύκλου διαδικασίας (δευτ.) ανάλογα με την μέση απόσταση μεταφοράς για εναλλακτικό μηχανολογικό εξοπλισμό

Μέση απόσταση μεταφοράς μ.	Μηχανολογικός Εξοπλισμός			
	2 Οχήματα Πλαίσια	3 Οχήματα Πλαίσια	2 Οχήματα Πλαίσια και 2 Ελκυστήρες	2 Οχήματα Πλαίσια και 3 Ελκυστήρες
100	139	121	127	121
200	161	121	132	122
300	184	122	137	122

Η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γερανογέφυρα με μέση τιμή κύκλου 120 δευτερόλεπτα και τυπική απόκλιση 60 δευτερόλεπτα. Τα Ε/Κ εναποτίθενται από την γερανογέφυρα στο δάπεδο ανάμεσα στα σκέλη της και από εκεί παραλαμβάνονται και μεταφέρονται από Οχήματα Πλαίσια και τοποθετούνται στις θέσεις στοιβασίας. Τα Ε/Κ τοποθετούνται με τριάντα διαφορετικούς συνδυασμούς σάρωσης των είκοσι σειρών του δαπέδου μεταφοράς. Για την διερεύνηση του συστήματος έχουν δημιουργηθεί ομάδες σεναρίων με μέση απόσταση μεταφοράς των Ε/Κ 100, 200 και 300 μέτρα.

Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα σεναρίων στα οποία τα Ε/Κ φορτώνονται σε ελκυστήρες για να μεταφερθούν στα δάπεδα στοιβασίας. Οι ελκυστήρες μπορούν να αναπτύξουν μέγιστη ταχύτητα 40 χλμ/ώρα και τα Ε/Κ εκφορτώνονται από τους ελκυστήρες μέσω των Οχημάτων Πλαισίων σε μέσο χρόνο 60 δευτερολέπτων με τυπική απόκλιση 30 δευτερόλεπτα.

Από το Γράφημα 4.21 συμπεραίνεται ότι όταν ο μηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από τρία Οχήματα Πλαίσια πετυχαίνονται χρόνοι κύκλου διαδικασίας σχεδόν ίδιοι με τους χρόνους που επιτυγχάνονται όταν ο μηχανολογικός εξοπλισμός είναι δύο Οχήματα Πλαίσια και τρεις ελκυστήρες. Επίσης όταν ο μηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από δύο Οχήματα Πλαίσια η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας όταν αυξάνεται η μέση απόσταση μεταφοράς είναι μεγαλύτερος από την μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας όταν ο μηχανολογικός εξοπλισμός είναι δύο ελκυστήρες και δύο Οχήματα Πλαίσια.



Γράφημα 4.21: Επίδραση της μέσης απόστασης μεταφοράς στο χρόνο κύκλου της διαδικασίας για εναλλακτικό μηχανολογικό εξοπλισμό

4.3.1 Σύγκριση των Δύο Συνθέσεων Εξοπλισμού ως προς το Λειτουργικό Κόστος

Για την σύγκριση των παραπάνω συστημάτων γίνεται έλεγχος ωριαίου λειτουργικού κόστους. Θεωρείται ότι το κόστος αγοράς ενός ελκυστήρα 100.000 € και ενός Οχήματος Πλαισίου 600.000 €. Ορίζεται διάρκεια ζωής και για τα δύο μηχανήματα / οχήματα 20.000 εργάσιμες ώρες, κόστος συντήρησης για ένα έτος(2500 εργάσιμες ώρες) το 10 % του ποσού αγοράς του μηχανήματος και κόστος προσωπικού (μισθός χειριστών) 45.000 € τον χρόνο.^[11,16]

Το ωριαίο κόστος αγοράς είναι ο λόγος του κόστους αγοράς του μηχανήματος προς την διάρκειας ζωής του μηχανήματος. Για το Όχημα Πλαίσιο ο λόγος αυτός είναι ίσος με

$$600.000 \text{ €} / 20.000 \text{ ώρες} = 30 \text{ €/ώρα}$$

και για τον ελκυστήρα

$$100.000 \text{ €} / 20.000 \text{ ώρες} = 5 \text{ €/ώρα}$$

Το ωριαίο κόστος συντήρησης είναι ο λόγος του κόστους συντήρησης προς τις ώρες λειτουργίας του μηχανήματος.

Για το Όχημα Πλαίσιο ο λόγος αυτός είναι ίσος με

$$0.1 \times 600.000 \text{ €} / 2.500 \text{ ώρες} = 24 \text{ €/ώρα}$$

και για τον ελκυστήρα

$$0.1 \times 100.000 \text{ €} / 2.500 \text{ ώρες} = 4 \text{ €/ώρα}$$

Το ωριαίο κόστος προσωπικού είναι ο λόγος του κόστους προσωπικού προς τις ώρες λειτουργίας του μηχανήματος.

Ο λόγος αυτός είναι ίσος με

$$45.000 \text{ €} / 2.500 \text{ ώρες} = 18 \text{ €/ώρα}$$

Το ωριαίο κόστος λειτουργίας περιλαμβάνει έξοδα για καύσιμα και λιπαντικά. Η κατανάλωση των καυσίμων σχετίζεται με τον τρόπο χρήσης του μηχανήματος στο σύστημα π.χ. άλλη κατανάλωση έχει το Όχημα Πλαίσιο αν χρησιμοποιείται για την μεταφορά και την στοιβασία των Ε/Κ και άλλη αν χρησιμοποιείται μόνο για την στοιβασία. Για τον λόγο αυτό τα ωριαία κόστη πολλαπλασιάζονται κάθε φορά με ένα συντελεστή. Θεωρείται ωριαίο κόστος λειτουργίας για το Όχημα Πλαίσιο 23 €/ώρα και για τον ελκυστήρα 12 €/ώρα. Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται αποκλειστικά από δύο Οχήματα Πλαίσια το ωριαίο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται ως:

$$(2 \times 23\text{€} / \text{ώρα}) \times 1 = 46 \text{ €/ώρα}$$

Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται αποκλειστικά από τρία Οχήματα Πλαίσια το ωριαίο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται ως:

$$(3 \times 23\text{€/ώρα}) \times 0,85 = 58,65 \text{ €/ώρα}$$

Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται από δύο Οχήματα Πλαίσια και δύο ελκυστήρες το ωριαίο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται ως:

$$(2 \times 23\text{€} / \text{ώρα}) \times 0,35 + (2 \times 12 \text{ €} / \text{ώρα}) \times 0,8 = 35,3 \text{ €/ώρα}$$

Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται από δύο Οχήματα Πλαίσια και τρεις ελκυστήρες το ωριαίο κόστος λειτουργίας υπολογίζεται ως:

$$(2 \times 23\text{€} / \text{ώρα}) \times 0,31 + (3 \times 12 \text{ €} / \text{ώρα}) \times 0,6 = 35,86 \text{ €/ώρα}$$

Το άθροισμα των τεσσάρων ωριαίων κοστών αντιπροσωπεύει το ωριαίο λειτουργικό κόστος και ισούται για το κάθε σύστημα:

1) Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται αποκλειστικά από δύο Οχήματα Πλαίσια :

$$2 \times 30 \text{ €} / \text{ώρα} + 2 \times 24 \text{ €} / \text{ώρα} + 2 \times 18 \text{ €} / \text{ώρα} + 46 \text{ €} / \text{ώρα} = 190 \text{ €} / \text{ώρα}$$

2) Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται αποκλειστικά από τρία Οχήματα Πλαίσια :

$$3 \times 30 \text{ €/ώρα} + 3 \times 24 \text{ €/ώρα} + 3 \times 18 \text{ €/ώρα} + 58,65 \text{ €/ώρα} = 274,65 \text{ €/ώρα}$$

3) Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται από δύο Οχήματα Πλαίσια και δύο ελκυστήρες :

$$2 \times 30 \text{ €/ώρα} + 2 \times 24 \text{ €/ώρα} + 2 \times 18 \text{ €/ώρα} + 2 \times 5 \text{ €/ώρα} + 2 \times 4 \text{ €/ώρα} + 2 \times 18 \text{ €/ώρα} + 35,3 \text{ €/ώρα} = 233,3 \text{ €/ώρα}$$

4) Για το σύστημα που η γερανογέφυρα εξυπηρετείται από δύο Οχήματα Πλαίσια και τρεις ελκυστήρες :

$$2 \times 30 \text{ €/ώρα} + 2 \times 24 \text{ €/ώρα} + 2 \times 18 \text{ €/ώρα} + 3 \times 5 \text{ €/ώρα} + 3 \times 4 \text{ €/ώρα} + 3 \times 18 \text{ €/ώρα} + 35,86 \text{ €/ώρα} = 260,86 \text{ €/ώρα}$$

Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται τα ωριαία λειτουργικά κόστη για της εναλλακτικές συνθέσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.10: Ωριαία λειτουργικά κόστη μηχανολογικού εξοπλισμού

Μηχανολογικός εξοπλισμός	2 Οχήματα Πλαίσια	3 Οχήματα Πλαίσια	2 Οχήματα Πλαίσια & 2 Ελκυστήρες	2 Οχήματα Πλαίσια & 3 Ελκυστήρες
Ωριαίο λειτουργικό κόστος € ανά Ώρα	190	274,65	233,3	260,86

Παρατηρείται ότι ανάμεσα στα δύο συστήματα που επιτυγχάνουν σχεδόν ίδιους χρόνους εκφόρτωσης πλοίου δηλαδή ανάμεσα στο σύστημα με τα τρία Οχήματα Πλαίσια και το σύστημα με τα δύο Οχήματα Πλαίσια και τους τρεις ελκυστήρες το σύστημα με τα δύο Οχήματα Πλαίσια και τους τρεις ελκυστήρες είναι οικονομικότερο κατά 13,79 € ανά ώρα. Επίσης παρατηρείται ότι το σύστημα που χρησιμοποιεί δύο Οχήματα Πλαίσια για μεταφορά και στοιβάση Ε/Κ είναι πολύ οικονομικότερο από όλα τα άλλα συστήματα και για μέση απόσταση μεταφοράς Ε/Κ 100 μέτρα επιτυγχάνει χρόνους όχι πολύ μεγαλύτερους από τους χρόνους που επιτυγχάνουν τα άλλα συστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία της διακίνησης των φορτίων με την βοήθεια τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) αποτελεί ένα δυναμικό κλάδο των θαλάσσιων μεταφορών που προοδευτικά καθιερώθηκε διεθνώς, οδηγώντας στην ανάπτυξη εξειδικευμένων λιμενικών εγκαταστάσεων. Οι λιμενικές εγκαταστάσεις παρέχουν το χώρο, το μηχανικό εξοπλισμό και το επιχειρησιακό περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιούνται οι διαδικασίες σύνθεσης / αποσύνθεσης των φορτίων ή / και μόνο η εναλλαγή του μέσου μεταφοράς.^[1,3]

Τα σημαντικά κεφάλαια που απαιτούνται για την κατασκευή των έργων υποδομής και την προμήθεια του εξοπλισμού, σε συνδυασμό με τις μεγάλες χρονικές περιόδους που μεσολαβούν από την λήψη των αποφάσεων έως την ολοκλήρωση των έργων οδηγούν στην συστηματική μελέτη των θεμάτων που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την οργάνωση του χερσαίου και του θαλάσσιου τμήματος της λιμενικής εγκατάστασης καθώς και στην παρακολούθηση των σχετικών τάσεων και τεχνολογικών εξελίξεων.^[2,3]

Κακή διευθέτηση των χώρων, ανεπαρκής αριθμός μηχανημάτων και κακός συντονισμός είναι μερικές από τις δυσλειτουργίες που προκαλούνται από σφάλματα στον σχεδιασμό ή / και στην οργάνωση των εγκαταστάσεων. Κακή τιμολογιακή πολιτική μπορεί να επιτρέψει την παραμονή των Ε/Κ στην τερματική εγκατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα μεταβάλλοντας την

έτσι σε αποθηκευτική, μειώνοντας την ικανότητα διακίνησης και σωστής λειτουργίας των υπόλοιπων τμημάτων της.

Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών / μελετητών έχει αναπτύξει ή / και χρησιμοποιήσει αναλυτικές και προσομοιωτικές τεχνικές για να αυξήσει την γνώση και να εμβαθύνει στα ανωτέρω θέματα σχεδιασμού. Κατά κανόνα, τα πρότυπα σχεδιασμού λιμενικών εγκαταστάσεων δεν αντιμετωπίζουν το σύνολο αλλά ένα ή περισσότερα από τα υποσυστήματα της λιμενικής εγκατάστασης. Το βασικό πλεονέκτημα των τεχνικών που χρησιμοποιούν πρότυπα προσομοίωσης είναι ότι επιτρέπει την λεπτομερή αναπαράσταση των συνθηκών λειτουργίας και των ιδιομορφιών κάθε τερματικής εγκατάστασης, ενώ στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η σημαντική απασχόληση που απαιτείται για την συλλογή στοιχείων, τη δημιουργία του πρότυπου και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει την κατάλληλη σύνθεση ομάδας μηχανημάτων για την υποστήριξη / τροφοδοσία της γερανογέφυρας ενός σταθμού διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση όταν μεταβάλλεται η μέση απόσταση του χώρου στοιβασίας / εναπόθεσης καθώς και τα χαρακτηριστικά κάποιων ενεργειών (τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας κ.α.).

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός προτύπου προσομοίωσης των λειτουργιών του παραπάνω σταθμού ώστε μετά από συνεχείς επαναλήψεις μεταβάλλοντας κάθε φορά κάποια μεταβλητή να εξάγουμε αποτελέσματα τα οποία να επιτρέπουν την σύνδεση των παραπάνω μεταβλητών.

Στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση του προτύπου Visual Interactive Simulation Of Container Terminal (V.I.S.O.C.T.). Δύο είναι τα είδη των μετατροπών που έγιναν στο αρχικό πρότυπο.

- (α) Μετατροπή της γλώσσας ανάπτυξης του προτύπου από Microsoft Quick Basic 4.5 σε Microsoft Visual Basic 6.0. Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού επιλέχθηκε γιατί έχει πολλά κοινά σημεία με την Microsoft Quick Basic 4.5 είναι επίσης σύγχρονη, ευρέως διαδεδομένη, με σημαντικές δυνατότητες στον τομέα των γραφικών και αποτελεί ένα πλήρες εργαλείο προγραμματισμού.^[4, 5]
- (β) Προσαρμογή του αρχικού προτύπου για την διερεύνηση της θαλάσσιας πλευράς τερματικής εγκατάστασης.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προτύπου για δύο βασικά συστήματα εξυπηρέτησης γερανογεφυρών. Συστήματα που χρησιμοποιούν ελκυστήρες για την μεταφορά και Οχήματα Πλαίσια για την στοιβάδα των Ε/Κ και συστήματα που χρησιμοποιούν αποκλειστικά Οχήματα πλαίσια.

Για το πρώτο σύστημα εξετάστηκαν οι επιδράσεις που προκαλεί η μεταβολή στην τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας και η μεταβολή της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκφόρτωσης του ελκυστήρα από το Όχημα Πλαίσιο στο χρόνο κύκλου του ελκυστήρα. Επίσης εξετάστηκαν οι επιδράσεις που προκαλούνται στην διαδικασία από μεταβολή στο πλήθος των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην εκφόρτωση του πλοίου αλλά και από μεταβολή στην μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν οι ελκυστήρες αυτοί. Εξετάστηκαν ακόμα οι διαφορές που υπάρχουν όταν η εκφόρτωση του πλοίου γίνεται με μία γρήγορη γερανογέφυρα από όταν η εκφόρτωση γίνεται με δύο αργές γερανογέφυρες (με διπλάσιο μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου).

Για το άλλο σύστημα εξετάστηκαν οι επιδράσεις που προκαλούνται από μεταβολή στον αριθμό των Οχημάτων Πλαισίων που συμμετέχουν στην

διαδικασία. Τέλος, συγκρίθηκαν τα δύο αυτά συστήματα ως προς τον χρόνο που επιτυγχάνουν αλλά και ως προς το ωριαίο λειτουργικό κόστος.

Τα συμπεράσματα της ανάλυσης των αποτελεσμάτων είναι:

- Όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας αυξάνεται ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα. Η μεταβολή αυτή του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας. Επίσης παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα.
- Όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του E/K από τον ελκυστήρα μέσω του Οχήματος Πλαισίου αυξάνεται ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα. Η μεταβολή αυτή του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του E/K από τον ελκυστήρα. Επίσης παρατηρείται ότι όταν αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του E/K από τον ελκυστήρα αυξάνεται η τυπική απόκλιση του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα.
- Η συμπεριφορά του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα και της τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού όταν μεταβάλλεται η τυπική απόκλιση του ανεμπόδιστου χρόνου κύκλου της γερανογέφυρας είναι ανεξάρτητη του μήκους μεταφοράς.
- Η συμπεριφορά του χρόνου κύκλου του ελκυστήρα και της τυπική απόκλιση του χρόνου αυτού όταν μεταβάλλεται η τυπική απόκλιση του χρόνου εκφόρτωσης του ελκυστήρα είναι ανεξάρτητη του μήκους μεταφοράς.
- Η προσθήκη ελκυστήρα μειώνει τον χρόνο κύκλου της διαδικασίας. Η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη όσο αυξάνει ο αριθμός των ελκυστήρων που συμμετέχουν στην εκφόρτωση του πλοίου.

- Η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας ελκυστήρα μειώνει τον χρόνο κύκλου της διαδικασίας. Η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς είναι μικρότερη όταν αυξάνεται η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ο ελκυστήρας.
- Η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας καθώς αυξάνεται η μέση απόσταση μεταφοράς είναι μεγαλύτερη όταν η εκφόρτωση γίνεται με δύο αργές γερανογέφυρες (μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου 240 δευτερόλεπτα) από όταν γίνεται με μία γρήγορη γερανογέφυρα με μέσο ανεμπόδιστο χρόνο κύκλου τον μισό από τον αντίστοιχο της αργής (120 δευτερόλεπτα).
- Ο χρόνος κύκλου της διαδικασίας μειώνεται όταν αυξάνεται ο αριθμός των Οχημάτων Πλαισίων. Επίσης η μεταβολή του χρόνου κύκλου της διαδικασίας σε σχέση με την μέση απόσταση μεταφοράς μειώνεται με την προσθήκη Οχήματος Πλαισίου.
- Όταν η μέση απόσταση μεταφοράς είναι μικρή τα συστήματα που χρησιμοποιούν μόνο Οχήματα Πλαίσια για την μεταφορά και τοποθέτηση των Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης κατά την εκφόρτωση πλοίου πλεονεκτούν ως προς το κόστος και τους χρόνους που επιτυγχάνουν έναντι συστημάτων που χρησιμοποιούν ελκυστήρες για την μεταφορά των Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης.
- Όταν η μέση απόσταση μεταφοράς είναι μεγάλη τα συστήματα που χρησιμοποιούν μόνο Οχήματα Πλαίσια για την μεταφορά και τοποθέτηση των Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης κατά την εκφόρτωση πλοίου μειονεκτούν ως προς το κόστος έναντι συστημάτων που χρησιμοποιούν ελκυστήρες για την μεταφορά των Ε/Κ στα δάπεδα εναπόθεσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μπαλλής, Α., *Ανάπτυξη Προτύπου για την Αναπαράσταση Λειτουργιών Τερματικής Εγκατάστασης Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων*, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Απρίλιος 1995
- [2] Σταθόπουλος, Α., Μπαλλής, Α., *Υπολογιστικές Τεχνικές στον Σχεδιασμό Λιμενικών Εγκαταστάσεων Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων*, Πρακτικά Πανελλήνιου Συνεδρίου Λιμενικών Έργων, Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 1997, (σελ. 2.67-2.73)
- [3] Μπαλλής, Α., Αμπακούμκιν, Κ., *Τεχνολογικές Εξελίξεις και Τάσεις Εξέλιξης στις Λιμενικές Εγκαταστάσεις Διακίνησης Εμπορευματοκιβωτίων*, Πρακτικά Πανελλήνιου Συνεδρίου Λιμενικών Έργων, Αθήνα, 24-27 Νοεμβρίου 1997, (σελ. 2.75-2.84)
- [4] Halvorson, M., *Βήμα Βήμα Microsoft Visual Basic 6.0 Professional*, Washington U.S.A., Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Washington U.S.A., 1998
- [5] Πετρούτσος, Ε., *Πλήρες Εγχειρίδιο της Visual Basic 6*, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 1999
- [6] Albrecht, B., Wiegand, W., Brown, D., *Μάθετε Εύκολα την Quick Basic Έκδοση 4.5*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 1992
- [7] Hergert, D., *Προγραμματισμός με την Microsoft Quick Basic*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, U.S.A. 1992
- [8] Τσουπάκης, Ε., *Εισαγωγικά Μαθήματα Στατιστικής*, Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 1994
- [9] Αμπακούμκιν, Κ., *Μοναδοποιημένα Φορτία – Συνδυασμένες Μεταφορές Εμπορευμάτων*, Αθήνα, 1990
- [10] Ξηροκώστας, Δ., *Επιχειρησιακή Έρευνα – Εφαρμοσμένη Θεωρία Αναμονής*, Αθήνα, 1990
- [11] Μπαλλής, Α., Γκόλιας, Γ., Αμπακούμκιν, Κ., *A Comparison Between Conventional and Advanced Handling Systems for Low Volume Container Maritime Terminals*, Αθήνα, 1997
- [12] Frankel, E., *Container Systems Selection*, Massachusetts Institute of Technology, U.S.A., 1980
- [13] Hillier, F., Lieberman, G., *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα*, Τόμος Α, Τεύχος Γ, Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 1985
- [14] Soriguera, F., *Optimization of Operations in the Container Terminal of the Port of Barcelona*, Technical University of Catalonia, Barcelona Spain, 2004
- [15] Λουκάς, Δ., *Διπλωματική Εργασία - Μέθοδοι Πρόβλεψης Μελλοντικών Ροών Εμπορευματοκιβωτίων που Διακινούνται Διαμέσου Τερματικής Εγκατάστασης*, Αθήνα, Οκτώβριος 2003
- [16] E.C.D.G. for Transport, *Present Optimum Transfer Technologies*, DOC EURET/409/95, SIMET, Brussels, January 1995
- [17] International Container Terminal Services, Inc., www.ictsi.com
- [18] Noell Crane and Service, Inc., www.noellcrane.com
- [19] Mol Cy., www.molcy.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

A.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΕΣ

Η πρώτη ομάδα αριθμητικών αποτελεσμάτων αφορά τους ελκυστήρες (Πίνακας Α.1).

Πίνακας Α.1: Αριθμητικά αποτελέσματα για τους ελκυστήρες

N	ΑΕΠ	ΑΦΕ	ΤΦΕ	ΚΕΓ	ΚΓΕ	ΑΧΚΓ	ΧΚΓ	ΤΕΕ	ΤΚΕ	ΧΚΕ	ΧΣΕ
1	0	30	90	30	0	120	120	190	229	199	160
2	120	150	210	150	0	120	120	376	413	263	226
1	240	270	330	41	0	120	120	430	469	199	160
2	360	413	473	0	23	120	143	571	611	198	158
1	503	533	593	64	0	120	120	693	732	199	160
2	623	653	713	42	0	120	120	811	851	198	158

οπου:

N: ο κωδικός αριθμός του ελκυστήρα

ΑΕΠ: ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει η εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο

ΑΦΕ: ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει από την γερανογέφυρα η φόρτωση του Ε/Κ στον ελκυστήρα

ΤΦΕ: η χρονική στιγμή κατά την οποία τελειώνει η φόρτωση του ελκυστήρα και αυτός αρχίζει να κινείται προς το δάπεδο εναπόθεσης

ΚΕΓ: ο χρόνος που καθυστερεί ο ελκυστήρας λόγω μη έγκαιρης εκφόρτωσης Ε/Κ από την γερανογέφυρα

ΚΓΕ: ο χρόνος που καθυστερεί η γερανογέφυρα λόγω έλλειψης ελκυστήρα για να φορτωθεί το Ε/Κ

ΑΧΚΓ: ο ανεμπόδιστος χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας, ο χρόνος δηλαδή που θα διαρκούσε η εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο και η φόρτωση αυτού στον ελκυστήρα με την προϋπόθεση ότι δεν έχουμε επιπρόσθετη καθυστέρηση λόγω μη έγκαιρης προσέλευσης του ελκυστήρα

ΧΚΓ: ο χρόνος κύκλου της γερανογέφυρας

ΤΕΕ: η χρονική στιγμή κατά την οποία τελειώνει η εκφόρτωση του ελκυστήρα από το Όχημα Πλαίσιο

ΤΚΕ: η χρονική στιγμή που ο ελκυστήρας ολοκληρώνει τον κύκλο του, βρίσκεται στις θέσεις παραβολής και μπορεί να αρχίσει η φόρτωση νέου Ε/Κ από το πλοίο μέσω της γερανογέφυρας

ΧΚΕ: ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα

ΧΣΕ: ο χρόνος που διανύθηκε από την στιγμή που άρχισε το φόρτωμα του Ε/Κ από το πλοίο στον ελκυστήρα μέσω της γερανογέφυρας μέχρι την ολοκλήρωση της εκφόρτωσης του ελκυστήρα από το Όχημα Πλαίσιο.

A.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Η δεύτερη ομάδα αριθμητικών αποτελεσμάτων αφορά τα Οχήματα Πλαίσια (Πίνακας Α.2).

Πίνακας Α.2: Αριθμητικά αποτελέσματα για τα Οχήματα Πλαίσια.

N	ΑΕ	ΑΚΟΠ	Ε	ΜΟΔ	ΜΔΕ	ΑΤΕ	Ε	ΜΟΔ	ΜΔΕ	ΤΚΟΠ	ΚΟΠΕ	ΚΕΟΠ	ΧΚΟΠ
3	1	237	2	2041	321	320	3	0	115	384	18	0	147
3	2	436	2	855	2125	510	3	0	115	574	5	0	138
4	3	484	2	4691	321	560	3	0	115	624	0	39	140
3	4	638	2	0	115	781	3	0	115	845	61	0	207
4	5	695	2	0	115	826	3	0	230	893	49	0	198
3	6	909	2	0	115	995	3	0	230	1062	61	0	153

οπου:

N: ο κωδικός αριθμός του Οχήματος Πλαισίου

ΑΕ: ο κωδικός αριθμός του Ε/Κ που εκφορτώνεται από το Όχημα Πλαίσιο

ΑΚΟΠ: ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει η κίνηση του Οχήματος Πλαισίου για την εκφόρτωση του ελκυστήρα

Ε: ο κωδικός που δηλώνει τη ενέργεια καλείται να κάνει το Όχημα Πλαίσιο. Είναι 2 για την εκφόρτωση του ελκυστήρα ενώ είναι 3 για την τοποθέτηση του Ε/Κ στην θέση του στο δάπεδο

- ΜΟΔ:** το μήκος της διαδρομής που διάνυσε το Όχημα Πλαίσιο, μέσα στο οδικό δίκτυο, μέχρι να φτάσει στο σημείο που περιμένει ο ελκυστήρας για να εκφορτωθεί το Ε/Κ
- ΜΔΕ:** το μήκος της διαδρομής που διάνυσε το Όχημα Πλαίσιο, μέσα στα δάπεδα εναπόθεσης, μέχρι να φτάσει στο σημείο που περιμένει ο ελκυστήρας για να εκφορτωθεί το Ε/Κ
- ΑΤΕ:** ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει η τοποθέτηση του Ε/Κ στην θέση του στα δάπεδα εναπόθεσης
- ΜΟΔ:** το μήκος της διαδρομής που διάνυσε το Όχημα Πλαίσιο, μέσα στο οδικό δίκτυο, μέχρι να φτάσει στη θέση εναπόθεσης στο δάπεδο εναπόθεσης Ε/Κ
- ΜΔΕ:** το μήκος της διαδρομής που διάνυσε το Όχημα Πλαίσιο, μέσα στα δάπεδα εναπόθεσης, μέχρι να φτάσει στη θέση εναπόθεσης στο δάπεδο εναπόθεσης Ε/Κ
- ΤΚΟΠ:** ο χρόνος κατά τον οποίο τελειώνει η τοποθέτηση του Ε/Κ στην θέση του
- ΚΟΠΕ:** ο χρόνος που περιμένει το Όχημα Πλαίσιο τον ελκυστήρα για να αρχίσει η εκφόρτωση του Ε/Κ
- ΚΕΟΠ:** ο χρόνος που περιμένει ο ελκυστήρας το Όχημα Πλαίσιο για να αρχίσει η εκφόρτωση του Ε/Κ
- ΧΚΟΠ:** ο χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου

Α.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ Ε/Κ

Η τρίτη ομάδα αριθμητικών αποτελεσμάτων αφορά τα Ε/Κ (Πίνακας Α.3).

Πίνακας Α.3: Αριθμητικά αποτελέσματα για τα Ε/Κ.

ΑΕΠ	ΧΣΕ	ΑΟΠ	ΚΟΠΕ	ΧΚΟΠ	ΑΚΟΠ
0	202	3	18	175	90
120	243	4	0	216	210
240	202	3	45	175	330
360	248	4	56	186	485
515	202	3	45	178	605
635	218	4	56	189	730
760	202	3	42	178	850

όπου:

ΑΕΠ: ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει η εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο

ΧΣΕ: ο χρόνος που διανύεται από την στιγμή που αρχίζει η εκφόρτωση του Ε/Κ από το πλοίο μέχρι την τοποθέτηση του Ε/Κ στην θέση εναπόθεσής του

ΑΟΠ: ο κωδικός του Οχήματος Πλαισίου που εξυπηρετεί το Ε/Κ

ΚΟΠΕ: ο χρόνος που περιμένει το Όχημα Πλαίσιο τον ελκυστήρα για να αρχίσει η εκφόρτωση του Ε/Κ

ΧΚΟΠ: ο χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου που εξυπηρετεί το Ε/Κ

ΑΚΟΠ: ο χρόνος κατά τον οποίο αρχίζει η κίνηση του Οχήματος Πλαισίου που εξυπηρετεί το Ε/Κ, για την εκφόρτωση του ελκυστήρα.

A.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η τέταρτη ομάδα αριθμητικών αποτελεσμάτων περιέχει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα (Πίνακας Α.4). Στην ομάδα αυτή των αριθμητικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, ο συνολικός αριθμός των Ε/Κ που εκφορτώνονται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, η συνολικός χρόνος που διήρκεσε η προσομοίωση, ο χρόνος κύκλου του ελκυστήρα, ο χρόνος κύκλου του Οχήματος Πλαισίου, η συνολική καθυστέρηση που περιμένει η γερανογέφυρα τους ελκυστήρες, την συνολική απόσταση που διάνυσαν τα Οχήματα Πλαίσια στο οδικό δίκτυο και στους χώρους εναπόθεσης, ο συνολικός αριθμός των κυκλοφοριακών εμπλοκών των Οχημάτων Πλαισίων και των ελκυστήρων, η καθυστέρηση του Οχήματος Πλαισίου ενώ περιμένει τον ελκυστήρα καθώς και η καθυστέρηση του ελκυστήρα ενώ περιμένει το Όχημα Πλαίσιο.

Πίνακας Α.4: Συγκεντρωτικά αριθμητικά αποτελέσματα.

ΑΡΙΘΜΟΣ Ε/Κ	800
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (δευτ.)	97240
ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	2
ΧΡΟΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ(δευτ.)	241
ΧΡΟΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ(δευτ.)	195
ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑΣ ΛΟΓΩ ΜΗ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ(δευτ.)	34
ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΛΟΓΩ ΜΗ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΡΑΝΟΓΕΦΥΡΑ(δευτ.)	13
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (μ.)	48006
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΣΤΑ ΔΑΠΕΔΑ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ (μ.)	1032375
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΕΜΠΛΟΚΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	14
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΕΜΠΛΟΚΕΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ	34
ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΛΟΓΩ ΜΗ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΑΦΙΞΗΣ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ(δευτ.)	17
ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΛΟΓΩ ΜΗ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΑΦΙΞΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ(δευτ.)	25

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες, για τη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου, στους:

- κ. Α. Μπαλλή, Λέκτορά Ε.Μ.Π., για τις συμβουλές, την παροχή του αρχικού προτύπου, την παροχή πληροφοριών και την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας.
 - κ. Χ. Γρίβα, Πολιτικό Μηχανικό Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη βοήθειά της.
-