



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**Προσομοίωση Λειτουργιών Διακίνησης Μοναδοποιημένων  
Φορτίων σε Σιδηροδρομικούς και Λιμενικούς Σταθμούς**

Διπλωματική Εργασία



**Σπανάκης Εμμ. Ελευθέριος**

Επιβλέπων: Αθανάσιος Θ. Μπαλλής, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Μπαλλή, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την καθοδήγηση και υποστήριξη του στην εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, θέλω να διατυπώσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη που οφείλω στην οικογένεια μου, για την υπομονή τους και την υποστήριξη που μου παρείχαν στην διάρκεια των σπουδών μου.

Σπανάκης Εμμ. Ελευθέριος

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η τεχνική της προσομοίωσης αποτελεί μια καθιερωμένη τεχνική για την κατασκευή μοντέλων που αναπαριστούν τις συνθήκες λειτουργίας πραγματικών συστημάτων. Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η παρουσίαση των λειτουργιών διακίνησης φορτίων σε σιδηροδρομικούς και λιμενικούς τερματικούς σταθμούς (μοναδοποιημένα φορτία, μηχανολογικός εξοπλισμός, τρόποι οργάνωσης κλπ), καθώς και των μοντέλων προσομοίωσης που έχουν αναπτυχτεί για την διερεύνηση τους. Τέλος, γίνεται μια εφαρμογή προσομοίωσης του πιλοτικού συστήματος διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων ISU, με το ειδικό λογισμικό προσομοίωσης ARENA, με την βοήθεια του οποίου εξετάστηκαν οι επιπτώσεις στους χρόνους αναμονής των φορτηγών εντός σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού για τρία διαφορετικά σενάρια μηχανολογικού εξοπλισμού.

Λέξεις – κλειδιά: Μοναδοποιημένα φορτία, ημι-ρυμουλκούμενα, προσομοίωση, τερματικοί σταθμοί, συστήματα διακίνησης φορτίων

**ABSTRACT**

The technique of simulation forms a part of an established technique for the development of models that represent the operational conditions of systems in real time. The purpose of the present Diploma Thesis is the presentation of the cargo handling operations in rail and maritime terminals (terminal units, handling equipment, modes of organizing terminals etc.) and of simulation models that have been developed for their investigation. Finally, a simulation application of the semi-trailer handling pilot system ISU is being held, using the specially designed simulation software ARENA, with the help of which the impact on the waiting time of the trucks in rail terminals for three different scenarios of handling equipment is examined.

Keywords: Terminal units, semi-trailers, simulation, terminals, cargo handling systems

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>   | <b>2</b>         |
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>  | <b>3</b>         |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</u></b>  | <b><u>9</u></b>  |
| 1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....  | 9                |
| 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....   | 10               |
| 1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....   | 11               |
| 1.3.1 Σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις.....   | 11               |
| 1.3.2 Λιμενικές εγκαταστάσεις και σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις εντός λιμενικών εγκαταστάσεων.....               | 15               |
| 1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....   | 18               |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥΣ.....</u></b>                             | <b><u>20</u></b> |
| 2.1 ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ.....  | 20               |
| 2.1.1 Εμπορευματοκιβώτια.....   | 20               |
| 2.1.2 Κινητά αμαξώματα.....   | 22               |
| 2.1.3 Ημι-ρυμουλκούμενα.....  | 23               |
| 2.2 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....  | 26               |
| 2.2.1 Εξοπλισμός θαλάσσιας πλευράς λιμενικών εγκαταστάσεων.....   | 26               |
| 2.2.2 Εξοπλισμός μεταφοράς.....   | 27               |
| 2.2.3 Εξοπλισμός στοιβασίας.....  | 29               |
| 2.2.4 Εξοπλισμός μεταφοράς και στοιβασίας.....  | 33               |
| 2.2.5 Τεχνολογίες μεταφόρτωσης σε τραίνο – συμβατικά και καινοτόμα συστήματα διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων..... | 39               |
| 2.2.5.1 “Μεταφερόμενα με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενα (Cranable Semi-trailers).....                                | 39               |
| 2.2.5.2 Κατακόρυφοι χειρισμοί με χρήση αρπάγης.....   | 40               |
| 2.2.5.3 Οριζόντιοι χειρισμοί με χρήση περιστρεφόμενων ή παράλληλων ανυψωτικών μηχανισμών.....                   | 43               |
| 2.2.5.4 Συστήματα – Bimodal.....  | 49               |
| 2.3 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....   | 50               |
| 2.3.1 Γενικά στοιχεία τερματικών σταθμών.....   | 50               |
| 2.3.2 Κατηγορίες τερματικών σταθμών.....  | 52               |
| 2.3.3 Σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί.....  | 56               |
| 2.3.3.1 Γενικά στοιχεία σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών.....  | 56               |
| 2.3.3.2 Σιδηροδρομικοί Σταθμοί διαλογής.....  | 57               |
| 2.3.3.3 Σιδηροδρομικοί Σταθμοί μεταφόρτωσης.....  | 61               |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....67**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....                                      | 67 |
| 3.2 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....                                   | 69 |
| 3.2.1 Γενικά.....   | 69 |
| 3.2.2 Μοντέλα προσομοίωσης.....                                       | 70 |
| 3.2.3 Συνήθεις εφαρμογές μοντέλων προσομοίωσης.....                   | 72 |
| 3.2.4 Μέθοδοι βελτιστοποίησης προσομοίωσης.....                       | 74 |
| 3.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ..... | 75 |
| 3.3.1 Σε σιδηροδρομικούς τερματικούς σταθμούς.....                    | 75 |
| 3.3.2 Σε λιμενικούς τερματικούς σταθμούς.....                         | 77 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΗΜΙ-ΡΥΜΟΥΛΚΟΥΜΕΝΩΝ.....80**

|   |     |
|---|-----|
| 4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....  | 80  |
| 4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ISU.....   | 82  |
| 4.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ.....   | 87  |
| 4.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARENA.....   | 90  |
| 4.4.1 Διάγραμμα ροής του μοντέλου.....  | 90  |
| 4.4.2 Το μοντέλο προσομοίωσης – Σενάριο 1 <sup>ο</sup> .....  | 95  |
| 4.4.2.1 Μέρος πρώτο – Αφίξεις και δρομολογήσεις φορτηγών.....   | 96  |
| 4.4.2.2 Μέρος δεύτερο – περιπτώσεις LU και LL.....  | 102 |
| 4.4.2.2.1 Άδεια φορτηγά – Περίπτωση LU.....   | 104 |
| 4.4.2.2.2 Φορτωμένα φορτηγά – Περίπτωση LL.....   | 111 |
| 4.4.2.3 Μέρος τρίτο – Περίπτωση UL.....   | 117 |
| 4.4.2.4 Μέρος τέταρτο – Πύλη εξόδου.....  | 130 |
| 4.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ.....  | 133 |
| 4.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....   | 139 |
| 4.6.1 Σενάριο 2 <sup>ο</sup> : Υποβοήθηση των λειτουργιών της πρώτης ράμπας από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας..... | 139 |
| 4.6.2 Σενάριο 3 <sup>ο</sup> : Προσθήκη 2 <sup>ου</sup> οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας στην περιοχή της ράμπας 1.....       | 144 |
| 4.6.3 Σενάριο 4 <sup>ο</sup> : Κοινή χρήση των δυο οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας στις δυο ράμπες ISU.....                  | 149 |
| 4.7 ΔΟΚΙΜΕΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....   | 154 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ....158**

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ..... | 158 |
| 5.2 ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....                                | 159 |

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....161**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α** - Οδηγός χρήσης του λογισμικού - ROCKWELL SOFTWARE ARENA.....170

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β** - Συνοπτικοί πίνακες δεδομένων και αποτελεσμάτων δοκιμών στα τρία σενάρια.....178

**ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 4.1: Στοιχεία εισόδου σε φύλλο Excel, προς διάβαση από την μονάδα ανάγνωσης δεδομένων του λογισμικού Arena.....88

Πίνακας 4.2: Στοιχεία εξόδου σε φύλλο Excel, από την μονάδα εκτύπωσης του λογισμικού Arena.....134

Πίνακας 4.3: Συνοπτικά αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής του 1<sup>ου</sup> σεναρίου του μοντέλου.....138

Πίνακας 4.4: Μέσος και μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για τα 3 σενάρια, μετά από 30 δοκιμές ρυθμών αφίξεων φορτηγών.....156

**ΕΙΚΟΝΕΣ**

Εικόνα 1.1: Διαδικασίες εκφόρτωσης/φόρτωσης σε σταθμό ε/κ.....16

Εικόνα 2.1: Εμπορευματοκιβώτιο υδατοστεγές 40ft μήκος 9.6ft ύψος.....20

Εικόνα 2.2: Εμπορευματοκιβώτιο ψυγείο 40ft μήκος 8.6ft ύψος.....21

Εικόνα 2.3: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής 40ft μήκος 8.6ft ύψος .....21

Εικόνα 2.4: Κινητά αμαξώματα .....22

Εικόνα 2.5: Κινητό αμάξωμα .....23

Εικόνα 2.6: Ημι-ρυμουλκούμενο με θύρες στο πλάι .....24

Εικόνα 2.7: Φορτηγό έλκει ημι-ρυμουλκούμενο .....24

Εικόνα 2.8: Μεταφορείς εμπορευματοκιβωτίων τύπου πλατφόρμας.....25

Εικόνα 2.9: Γερανογέφυρες κρηπιδώματος .....26

Εικόνα 2.10: Ελκυστήρας με συρομένη βάση.....27

Εικόνα 2.11: Ελκυστήρας μεταφοράς συρόμενων βάσεων.....28

Εικόνα 2.12: Αυτόματο όχημα μεταφοράς AGV .....29

Εικόνα 2.13: Γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών .....30

Εικόνα 2.14: Γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών .....31

Εικόνα 2.15: Απευθείας φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων σε συρμό με γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών .....32

Εικόνα 2.16: Όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.....33

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 2.17: Διάταξη στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων για φορτοεκφόρτωση με οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας. ....   | 34 |
| Εικόνα 2.18: Περονοφόρο ανυψωτικό όχημα.....  | 35 |
| Εικόνα 2.19: Όχημα χειρισμού κενών ε/κ .....  | 36 |
| Εικόνα 2.20: Όχημα πλαίσιο φορτώνει ένα ε/κ των 20ft σε ένα φορτηγό .....                                       | 37 |
| Εικόνα 2.21: Διάταξη στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων για φορτοεκφόρτωση με οχήματα πλαίσια.....                  | 38 |
| Εικόνα 2.22: Χειρισμοί ενισχυμένων “μεταφερόμενων με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενων.....                            | 40 |
| Εικόνα 2.23: Το σύστημα ISU για τον χειρισμό συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων.....                                 | 42 |
| Εικόνα 2.24: Βαγόνια με εσοχή (rocket wagon) για εμπορευματοκιβώτια και ημι-ρυμουλκούμενα.....                  | 42 |
| Εικόνα 2.25: Βαγόني Tiphook .....   | 44 |
| Εικόνα 2.26: Το σύστημα Modalohr σε μακέτα.....   | 45 |
| Εικόνα 2.27: Το σύστημα Modalohr .....  | 45 |
| Εικόνα 2.28: Πειραματική επίδειξη του συστήματος CargoSpeed .....   | 46 |
| Εικόνα 2.29: Το σύστημα CargoRoo.....   | 47 |
| Εικόνα 2.30: Το σύστημα Flexiwaggon .....   | 48 |
| Εικόνα 2.31: Το σύστημα Cargo Beamer .....  | 49 |
| Εικόνα 2.32: Σχέδιο τερματικού σταθμού μεταφόρτωσης ε/κ .....   | 51 |
| Εικόνα 2.33: Σχέδιο του λιμενικού τερματικού σταθμού Braní στην Σιγκαπούρη.....                                 | 53 |
| Εικόνα 2.34: Σχέδιο λιμενικών και σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών ε/κ .....                                   | 53 |
| Εικόνα 2.35: Διατομή σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού .....  | 56 |
| Εικόνα 2.36: Σταθμός διαλογής .....   | 57 |
| Εικόνα 2.37: Γραμμολογία σταθμού διαλογής .....   | 58 |
| Εικόνα 2.38: Γραμμές διαλογής .....   | 58 |
| Εικόνα 2.39: Εγκαταστάσεις ύβωσης .....   | 60 |
| Εικόνα 2.40: Ο σιδηροδρομικός τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης Vallaradam εντός του λιμένα Karmakerala .....     | 61 |
| Εικόνα 2.41: Σιδηροδρομικός τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης στην Κόστα Ρίκα .....                               | 62 |
| Εικόνα 2.42: Σχέδιο σιδηροδρομικού σταθμού μεταφόρτωσης.....  | 62 |
| Εικόνα 2.43: Η διάταξη και η διατομή σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού εξοπλισμένου με τρεις γερανογέφυρες..... | 64 |
| Εικόνα 2.44: Μεταφόρτωση χύδην φορτίου από βαγόني τρένου σε φορτηγό .....                                       | 65 |
| Εικόνα 2.45: Μεταφόρτωση από βαγόني τρένου σε χώρο αποθήκευσης με ανυψωτικό όχημα .....                         | 66 |
| Εικόνα 2.46: Μεταφόρτωση από χώρο αποθήκευσης σε φορτηγό .....  | 66 |
| Εικόνα 3.1: Μοντέλο προσομοίωσης.....   | 70 |
| Εικόνα 3.2: Πραγματικότητα.....   | 70 |

Εικόνα 4.1: Σύστημα ISU.....82

**ΣΧΗΜΑΤΑ**

Σχήμα 3.1 : Μοντέλο προσομοίωσης.....75

Σχήμα 4.1: Περίπτωση LL.....83

Σχήμα 4.2: Περίπτωση LU.....84

Σχήμα 4.3: Περίπτωση UL.....85

Σχήμα 4.4: Περίπτωση UU.....86

Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροής, πρώτο μέρος.....90

Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ροής, δεύτερο μέρος.....92

Σχήμα 4.7: Διάγραμμα ροής, τρίτο μέρος.....93

Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ροής, τέταρτο μέρος.....94

Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ροής διαδικασιών εντός του τερματικού.....94

Σχήμα 4.10: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 1<sup>ο</sup> σενάριο.....95

Σχήμα 4.11: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 2<sup>ο</sup> σενάριο.....140

Σχήμα 4.12: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 3<sup>ο</sup> σενάριο.....145

Σχήμα 4.13: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 4<sup>ο</sup> σενάριο.....150

**ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ**

Γράφημα 3.1: Κατανομή Erlang.....68

Γράφημα 4.1: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 1, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.....155

Γράφημα 4.2: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 2, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.....155

Γράφημα 4.3: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 3, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.....156



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι τα μοναδοποιημένα φορτία και τα συστήματα λειτουργιών διακίνησης τους εντός σιδηροδρομικών και λιμενικών τερματικών σταθμών. Στην διερεύνηση των λειτουργιών διακίνησης των μοναδοποιημένων φορτίων έχει καθιερωθεί ως αξιόπιστη τεχνική, η τεχνική της προσομοίωσης.

Στα μοναδοποιημένα φορτία περιλαμβάνονται τα εμπορευματοκιβώτια ISO (international standardization organization), τα κινητά αμαξώματα (swap bodies) και τα ημι-ρυμουλκούμενα (semi-trailers). Είναι τυποποιημένες μονάδες που χρησιμοποιούνται για ευέλικτη και γρήγορη μεταφορά φορτίων μεταξύ τερματικών σταθμών.

Στα μηχανήματα και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για τις λειτουργίες φορτοεκφόρτωσης, στοιβασίας και μεταφοράς τους συμπεριλαμβάνονται γερανογέφυρες, οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας, οχήματα πλαίσια, κινητοί διαδρόμοι, ράμπες ISU κλπ. Συγκεκριμένα οι ράμπες ISU είναι ένα πιλοτικό σύστημα διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων για το οποίο συλλέχτηκαν στοιχεία στο Γουέλς της Αυστρίας και χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Μελετάται επίσης η τεχνική της προσομοίωσης και συμπεριλαμβάνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση πάνω στα μοντέλα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχθεί στο παρελθόν και έχουν συμβάλει στην διερεύνηση των λειτουργιών διακίνησης συστημάτων μοναδοποιημένων φορτίων εντός τερματικών σταθμών.

Για την ανάπτυξη και την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης που διερευνά τις λειτουργίες διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων εντός σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού που περιλαμβάνει ράμπες ISU, χρησιμοποιείται το ειδικό λογισμικό προσομοίωσης Arena Rockwell Software. Στο συγκεκριμένο μοντέλο προσομοίωσης εξετάζονται οι επιπτώσεις στους χρόνους παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για τρία διαφορετικά σενάρια μηχανολογικού εξοπλισμού.

## 1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η παρουσίαση των λειτουργιών διακίνησης φορτίων σε σιδηροδρομικούς και λιμενικούς σταθμούς καθώς και των μοντέλων προσομοίωσης που έχουν αναπτυχτεί για την διερεύνηση τους. Επίσης γίνεται μια εφαρμογή προσομοίωσης του πιλοτικού συστήματος διακίνησης ημιρυμουλκούμενων, ISU, με το ειδικό λογισμικό προσομοίωσης σε Η/Υ, Arena, με την βοήθεια του οποίου εξετάστηκαν οι επιπτώσεις στους χρόνους αναμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού.

Έτσι με βάση μια εκτενή βιβλιογραφική επισκόπηση πάνω στα μοναδοποιημένα φορτία, στα συστήματα διακίνησης τους και στην τεχνική της προσομοίωσης, μπορεί να κατανοηθεί ποιός είναι ο σκοπός τους και πως λειτουργούν, καθώς και πως μπορούν οι λειτουργίες τους να προσομοιωθούν με το κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης για την διερεύνηση τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την εφαρμογή αυτών των σεναρίων, που εξετάζονται με την τεχνική της προσομοίωσης, στην πραγματικότητα.

Θα αναπτυχτεί και θα εξεταστεί ένα μοντέλο προσομοίωσης για την διερεύνηση των λειτουργιών ενός συστήματος διακίνησης μοναδοποιημένων φορτίων, του συστήματος ISU, με βάση το οποίο θα βγουν χρήσιμα συμπεράσματα και θα γίνουν οι ανάλογες εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα στο μέλλον. Για την όσο το δυνατόν πιο εύστοχη εφαρμογή του μοντέλου, θα δοκιμαστούν τρία σενάρια και θα γίνουν τριάντα διαφορετικές δοκιμές στους ρυθμούς αφίξεων φορτηγών στον τερματικό για το κάθε σενάριο, έτσι ώστε τα στοιχεία εξόδου να βασίζονται όσο το δυνατόν λιγότερο στην τύχη και να καλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό πιθανών περιπτώσεων.

Τελικά, ο σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας είναι η κατανόηση των συστημάτων διακίνησης μοναδοποιημένων φορτίων, η δυνατότητα εφαρμογής μοντέλων πάνω σε αυτά τα συστήματα, η αξιόλογη εξαγωγή συμπερασμάτων και η χρησιμοποίηση της για περαιτέρω έρευνα στο θέμα της προσομοίωσης λειτουργιών διακίνησης μοναδοποιημένων φορτίων σε σιδηροδρομικούς και λιμενικούς τερματικούς σταθμούς.

### 1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Γενικά υπάρχουν τρία είδη μεταφορών φορτίων ανάμεσα σε λιμενικές και σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις και πόλεις: οδική μεταφορά με φορτηγά, σιδηροδρομική μεταφορά και θαλάσσια μεταφορά. Οδικές μεταφορές χρησιμοποιούνται για κοντινές αποστάσεις και από πόρτα σε πόρτα μεταφορές “door to door”. Οι σιδηροδρομικές μεταφορές χρησιμοποιούνται για μακρινές αποστάσεις και για βαρέα φορτία. Οι θαλάσσιες μεταφορές για μεγάλες αποστάσεις και μεγάλο αριθμό φορτίων (Lee et al., 2006).

Η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη των Υπουργών Μεταφορών έδωσε ως ορισμό των συνδυασμένων μεταφορών (Μπατσαράς, 2005):

- Πολυτροπικές μεταφορές (Multimodal transport) : Μεταφορά εμπορευμάτων με τουλάχιστον δυο διαφορετικά μέσα μεταφοράς.
- Διατροπικές μεταφορές (Intermodal transport) : Η μεταφορά φορτίου υπό μια και μόνη μεταφορική μονάδα ή όχημα, όπου το κύριο τμήμα της διαδρομής γίνεται με πλοίο, ενώ η διανομή/ συλλογή φορτίων με άλλα μέσα μεταφοράς, ενώ το πραγματικό φορτίο δεν υπόκειται σε χειρισμό κατά την διάρκεια της μεταφοράς.
- Συνδυασμένες μεταφορές (Combined transport) : Είναι η διατροπική μεταφορά όπου όμως το μεγαλύτερο τμήμα της μεταφοράς γίνεται σιδηροδρομικώς ή μέσω ποτάμιας οδού και κάθε αρχικό ή τελικό τμήμα του που γίνεται με οδικά μέσα είναι όσο το δυνατό μικρότερο.

Με την συνδυασμένη μεταφορά μπορούν να απομονωθούν τα μειονεκτήματα του κάθε μεταφορικού μέσου ξεχωριστά. Έτσι το πλεονέκτημα των συνδυασμένων μεταφορών είναι η αθροιστική συμβολή των πλεονεκτημάτων του κάθε μεταφορικού μέσου σε μια “door to door” (από πόρτα σε πόρτα) μεταφορά. Ο συνδυασμός των μεταφορικών μέσων λοιπόν μπορεί να προσφέρει (Μπατσαράς, 2005):

- Ανταγωνιστικές τιμές και ποιοτικές υπηρεσίες
- Ελαχιστοποιημένους και ακριβείς χρόνους μεταφοράς
- Αξιόπιστο επίπεδο ασφάλειας κατά την μεταφορά και μείωση των ζημιών
- Μείωση του κόστους φόρτωσης και του χρόνου φορτοεκφόρτωσης φορτίων
- Φιλική προς το περιβάλλον μεταφορά
- Έλεγχο σε οποιοδήποτε σημείο της μεταφοράς
- Παρόμοιες μεταφορικές μονάδες

#### 1.3.1 Σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις

Τα παγκόσμια δίκτυα μεταφοράς φορτίων υποστηρίζονται κυρίως από θαλάσσιες μεταφορές και έχουν γίνει πολύ αποτελεσματικά σε όρους κόστους, χωρητικότητας και

αξιοπιστίας. Όμως, η υψηλή ανάπτυξη των τυποποιημένων θαλάσσιων μεταφορών έχει επιφέρει έντονη πίεση στα συστήματα μεταφοράς φορτίου στην ενδοχώρα, κυρίως στον σιδηρόδρομο. Έτσι υπάρχει μια ευρεία αναγνώριση ότι το φορτίο που μεταφέρεται με σιδηρόδρομο είναι κρίσιμο και υπάρχουν προσδοκίες ότι τα σιδηροδρομικά συστήματα μεταφοράς θα υποστηρίξουν τους μεγάλους αριθμούς φορτίων στην ξηρά που δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν αποτελεσματικά τα οδικά μεταφορικά συστήματα. Η ερώτηση παραμένει για το πόσο πολύ μπορούν να επεκταθούν αυτές οι προσδοκίες σε όρους χωρητικότητας αλλά και εξυπηρέτησης. Ακόμα και αν θεωρηθεί ότι ο σιδηρόδρομος δεν θα μπορούσε να ακολουθήσει αποτελεσματικά αυτές τις απαιτήσεις, αυτή η προοπτική έχει αλλάξει με την παγκοσμιοποίηση, την τυποποίηση φορτίου και την ιδιωτικοποίηση. Έτσι, η σιδηροδρομική μεταφορά βρίσκεται σε ανοδική τροχιά, που ενεργοποιείται από την αυξανόμενη ζήτηση, όπως επίσης και από ένα σύνολο συνθηκών που επηρεάζουν την βιομηχανία, απαιτώντας να γίνει ευέλικτη και να ανταποκρίνεται στους χρονικούς περιορισμούς (Rodrigue, 2008).

Σύμφωνα με τον Kozan (2006) οι μεταφορές μεγάλων αποστάσεων συχνά πραγματοποιούνται με έναν συνδυασμό οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου. Η αποδοτικότητα της μεταφοράς μεταξύ των δυο μεθόδων μπορεί να έχει πολύ σημαντική επιρροή στο κόστος μεταφοράς και στους χρόνους εξυπηρέτησης. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα, οι μεγάλοι σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί στην ενδοχώρα έχουν σημαντικό αριθμό παράλληλων γραμμών, που επιτρέπουν σε πολλά τρένα να φορτώνονται και να εκφορτώνονται ταυτόχρονα. Ο συνηθισμένος σχηματισμός έχει τρένα παραταγμένα το ένα δίπλα (εικόνα 2.40), με έναν ή περισσότερους γερανούς (κινητές γερανογέφυρες επί τροχών ή επί σιδηροτροχιάς) να φορτώνουν/εκφορτώνουν τα τρένα σε οποιαδήποτε γραμμή και περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα (forklifts) να φορτώνουν και να εκφορτώνουν τρένα που είναι στην πλησιέστερη γραμμή (πρώτη γραμμή) προς των χώρο αποθήκευσης εμπορευματοκιβωτίων (ε/κ). Επίσης μπορεί να υπάρχουν και οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reach stackers), ικανά να φορτώνουν και να εκφορτώνουν τρένα στις δυο πιο κοντινές γραμμές. Η αύξηση του επιπέδου εξυπηρέτησης για τα τρένα σε όλες τις γραμμές εκτός της πρώτης είναι συνήθως αντιοικονομική, επειδή οι γερανοί έχουν μεγαλύτερο κόστος από τα άλλα ανυψωτικά μηχανήματα και τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας από τα περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα.

Η διάταξη σε έναν τερματικό σταθμό επηρεάζεται από τις τεχνικές μεταφοράς που ισχύουν και από τον αριθμό των διακινούμενων ε/κ. Ο εξοπλισμός που είναι διαθέσιμος να φορτοεκφορτώνει ε/κ πάνω σε/από βαγόνια σε σιδηροτροχιά είναι δυο κυρίων τύπων, κινητές γερανογέφυρες και μηχανήματα που στοιβάζουν από το πλάι (side-loaders, forklifts και/ή reach stackers). Οι περισσότεροι σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό αυτών των δυο τύπων μηχανολογικού

εξοπλισμού. Η επιλογή του εξοπλισμού βασίζεται στον χρόνο παραμονής των ε/κ, στην στρατηγική λειτουργία, στον χώρο που διατίθεται για τις λειτουργίες, στην διάταξη των γραμμών, στον αριθμό των παράλληλων γραμμών και στον βαθμό τυποποίησης των τύπων και των μεγεθών των ε/κ.

Τα ε/κ πρέπει να στοιβάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο χώρος που χρειάζεται για τους χειρισμούς που πραγματοποιούνται για να τοποθετηθούν τα ε/κ στον χώρο αποθήκευσης και για να απομακρυνθούν όταν πρέπει.

Ο χρόνος παραμονής των ε/κ για κάθε τρένο θεωρείται ίσος με τον χρόνο που παραμένει το τρένο στον τερματικό. Ο χρόνος παραμονής των εισερχομένων ε/κ για κάθε τρένο ορίζεται μετρώντας την διαφορά χρόνου μεταξύ της άφιξης του τρένου στο σύστημα μέχρι το τελευταίο ε/κ να εκφορτωθεί από το τρένο. Ο χρόνος παραμονής των εξερχομένων ε/κ για κάθε τρένο ορίζεται μετρώντας την διαφορά χρόνου μεταξύ της άφιξης του τρένου στον τερματικό μέχρι την φόρτωση του τελευταίου ε/κ στο τρένο. Αυτή η διαφορά χρόνου περιλαμβάνει τους χρόνους χειρισμών των ε/κ και τους χρόνους αναμονής των τρένων, και έχει σημαντική επιρροή στις καθυστερήσεις των τρένων.

Για την επίτευξη επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών πρέπει να μειωθούν οι καθυστερήσεις των τρένων. Επιπλέον, οι καθυστερήσεις αυτές μπορεί να προκαλέσουν συμφόρηση στον τερματικό σταθμό. Οπότε, το πρώτο πρόβλημα σε έναν σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό (Kozan, 2006) είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής μέσης καθυστέρησης των τρένων.

Η χωρητικότητα ενός διατροπικού σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι οι εξής (Woodburn, 2008):

- Ο αριθμός και το μήκος των σιδηροτροχιών
- Το μήκος των τρένων, ο αριθμός των μονάδων φορτίων που μεταφέρονται και όλοι οι ελιγμοί κινήσεων που απαιτούνται για να τοποθετηθεί το τρένο στον τερματικό σταθμό (πχ να χωριστεί το τρένο σε δυο μέρη ώστε να μην είναι αρκετά μεγάλο για μια μεμονωμένη τροχιά)
- Το είδος του εξοπλισμού ελιγμών που μεταφέρει τις μονάδες φορτίων από και προς τα βαγόνια του τρένου
- Η χωρητικότητα αποθήκευσης και η ζήτηση για μονάδες φορτίου μέσα στην περιοχή του τερματικού, καθώς και η ικανότητα του εξοπλισμού που αναλαμβάνει τις μεταφορές από και προς τις αποθήκες. Αντίθετα με τα εμπορευματοκιβώτια, τα κινητά αμαξώματα τείνουν να μην στοιβάζονται, αλλά γενικά δεν είναι συνηθισμένα να απαιτούν επί τόπου αποθήκευση.

- Οι ώρες λειτουργίας του τερματικού σταθμού, οι οποίες επηρεάζονται από την ζήτηση ή τους περιορισμούς σχεδιασμού (πχ αν είναι κοντά σε κατοικημένες περιοχές)
- Η διαθεσιμότητα των σιδηροδρομικών διαδρομών στο δίκτυο
- Οι περιορισμοί στο τοπικό οδικό δίκτυο που μπορεί να επηρεάζουν τον αριθμό ή τα χαρακτηριστικά των κινήσεων για την συλλογή ή διανομή διατροφικών μονάδων
- Τα πρότυπα εργασίας και η παραγωγικότητα των εργαζομένων εντός του σιδηροδρομικού σταθμού και η λειτουργία της σιδηροδρομικής υπηρεσίας

Τα βασικά κριτήρια που προτείνονται για έναν σιδηροδρομικό σταθμό εναλλαγής φορτίων, ώστε να είναι ικανοποιητικής κλίμακας και σημαντικότητας (ώστε να συμφωνεί με τους όρους της Ανεξάρτητης Επιτροπής Σχεδιασμού – Independent Planning Commission) είναι τα εξής (Woodburn, 2008):

- Τουλάχιστον 60 εκτάρια κάλυψη γης
- Ικανότητα χειρισμού αγαθών από περισσότερους από έναν προμηθευτές σε περισσότερους από έναν πελάτες
- Ικανότητα εξυπηρέτησης τουλάχιστον τεσσάρων τρένων εμπορευματοκιβωτίων ανά μέρα και
- Ανάπτυξη που περιλαμβάνει εγκαταστάσεις διανομής που μπορούν να εξυπηρετηθούν είτε απευθείας με τρένο ή με την χρήση ενός επιπλέον τρόπου μεταφοράς (House of Commons, 2008)

Τα παρακάτω παραδείγματα είναι συνηθισμένα προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό σχετικά με τον σχεδιασμό και τις κινήσεις μέσα σε αυτόν (Adamko and Klima, 2008).

- Οι σταθμοί διαλογής (marshalling yards) συνήθως περιέχουν μόνο σιδηροδρομικές γραμμές και οι επικρατούσες δραστηριότητες είναι λειτουργίες σχηματισμού σιδηροδρομικών συρμών (συνδέσεις, αποσυνδέσεις, διαλογή, διάφορα είδη ελιγμών κλπ).
- Οι σιδηροδρομικοί σταθμοί επιβατών (passenger railway stations) είναι επίσης εξοπλισμένοι με σιδηροδρομικές γραμμές αλλά οι επικρατούσες δραστηριότητες είναι υπηρεσιακές λειτουργίες (μετακινήσεις επιβατών, καθαρισμοί κλπ). Δηλαδή παρέχονται υπηρεσίες σε μεταφορές επιβατών και σε επιβάτες που εισέρχονται και παραμένουν στον σταθμό.
- Οι βιομηχανικοί σιδηρόδρομοι (industrial railways) συνδυάζονται συχνά με οδικό δίκτυο, έτσι περιέχουν υποδομή, υπηρεσίες και στοιχεία που εξυπηρετούν και τους δυο τύπους (οδικό και σιδηροδρομικό). Σε μεγάλες βιομηχανίες, η σιδηροτροχιά μπορεί να είναι υπερβολικά εκτενής και ακόμα να περιέχει και ένα ανεξάρτητο μέρος για ελιγμούς και συνδέσεις τρένων. Σε αυτή την περίπτωση, πολύπλοκες

λειτουργίες είναι χαρακτηριστικές, όπως περίπλοκοι χειρισμοί και φόρτωση / εκφόρτωση διάφορων ουσιών.

- Τα εξειδικευμένα σιδηροδρομικά λογιστικά κέντρα (specialized railway logistics centers) συνήθως παρέχουν υπηρεσίες για συντήρηση, επιδιορθώσεις, καθαρισμό κλπ. Επίσης εξυπηρετούν και ως σιδηροδρομικές αποθήκες.
- Οι τερματικοί σταθμοί πολυτροπικών μεταφορών, πχ τερματικοί σταθμοί ε/κ (terminals for multimodal transport e.g container terminals) περιέχουν μια ετερογενή υποδομή και διάφορα στοιχεία (σιδηρόδρομο, δρόμους, στοιχεία θαλάσσιων μεταφορών).

Η διαχείριση των σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών έχει να κάνει με ένα μεγάλο αριθμό περίπλοκων προβλημάτων κατά την διάρκεια του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας τους. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δυο κύριες κατηγορίες: σχεδιασμός υποδομής και λειτουργικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένης και της διαχείρισης πόρων.

Τα παραπάνω προβλήματα όμως δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η υποδομή βασίζεται στην αποτελεσματικότητα των λειτουργιών που εκτελούνται μέσα στην υπάρχουσα υποδομή. Για την ανάλυση και την αξιολόγηση τέτοιων περίπλοκων και στοχαστικών συστημάτων, η προσομοίωση θεωρείται η πιο κατάλληλη μέθοδος (Adamko and Klima, 2008).

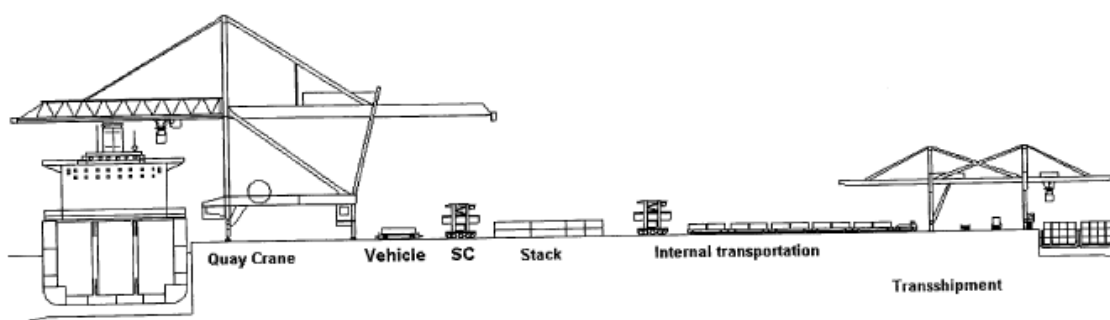
### **1.3.2 Λιμενικές εγκαταστάσεις και σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις εντός λιμενικών εγκαταστάσεων**

Η θαλάσσια μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Την περίοδο 1985-2005 υπήρξε μια αύξηση της τάξης του 7-9% ανά χρόνο, όταν η αύξηση των θαλάσσιων μεταφορών ήταν της τάξης του 2% (Crainic and Kim, 2007).

Σύμφωνα με τους Vacca et al., (2007) ένας σταθμός εμπορευματοκιβωτίων είναι μια ζώνη ενός λιμανιού όπου πλοία προσεγγίζουν τις θέσεις παραβολής τους και φορτώνουν/εκφορτώνουν ε/κ που στοιβάζονται στον χώρο εναπόθεσης ε/κ. Ο τερματικός σταθμός λοιπόν αποτελείται από 2 κύριες περιοχές. Εκεί που παραβάλουν τα πλοία και τον χώρο εναπόθεσης ε/κ ή αλλιώς την θαλάσσια πλευρά και την χερσαία πλευρά (εικόνα 1.1). Η θαλάσσια πλευρά αποτελείται από τις θέσεις παραβολής των πλοίων στο κρηπίδωμα και από τις γερανογέφυρες που φορτώνουν και εκφορτώνουν τα ε/κ σε έναν προσωρινό χώρο εναπόθεσης ε/κ μέχρι να μεταφερθούν στην χερσαία πλευρά. Η χερσαία πλευρά είναι μια περιοχή που πραγματοποιούνται όλες οι άλλες μετακινήσεις ε/κ δηλαδή η στοίβαξη τους για όσον καιρό παραμείνουν στον τερματικό, η μεταφορά τους στην θαλάσσια πλευρά για να φορτωθούν σε πλοία και η μεταφορά τους και φόρτωση τους σε σιδηροτροχιά ή σε φορτηγά και είναι τυπικά χωρισμένη σε

τετράγωνα (blocks). Οι μεταφορές εντός της χερσαίας πλευράς γίνονται με κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό όπως οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reach stackers) , οχήματα πλαίσια (straddle carriers) και από κινητές γερανογέφυρες επί τροχών ή επί σιδηροτροχιάς (rtg – rubber tyred gantry or rmg – rail mounted gantry). Ανάλογα με τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, αλλάζει το μέγιστο ύψος στοιβασίας καθώς και οι αποστάσεις ανάμεσα στις σειρές των ε/κ που χρησιμοποιούνται σαν δρόμοι ή σαν χώροι για ελιγμούς.

Εικόνα 1.1: Διαδικασίες εκφόρτωσης/φόρτωσης σε σταθμό ε/κ (Πηγή Vis and Koster, 2002).



Τα πιο βασικά προβλήματα στον λειτουργικό σχεδιασμό (operative planning) που αντιμετωπίζονται σε έναν σταθμό ε/κ είναι τα εξής (Vacca et al., 2007):

- **Πρόβλημα κατανομής αγκυροβολιών** (berth allocation problem - BAP), δηλαδή σε ποιά θέση θα παραβάλει το κάθε πλοίο και πόσες γερανογέφυρες θα το εξυπηρετήσουν. Οι μεταβλητές που προσδιορίζουν το πρόβλημα είναι το μήκος του πλοίου , το βάθος παρά το κρηπίδωμα (draft), οι χρόνοι ανάμεσα στις αφίξεις , η σειρά προτεραιότητας κλπ. Οι Imai et al., (2003,2005,2008) και οι Imai, Nishimura, Hattori and Paradimitriou, (2007) ερεύνησαν το πρόβλημα για διάφορα σενάρια. Οι Tahar και Hussain (2000) θεωρούν ότι η διάθεση θέσεων παραβολής είναι το πρώτο επίπεδο στον σχεδιασμό ενός λιμενικού σταθμού και οι δραστηριότητες που συμβαίνουν σε αυτή τη φάση είναι πολύ σημαντικές και επηρεάζουν και τις υπόλοιπες λειτουργίες.
- **Πρόβλημα προγραμματισμού γερανογεφυρών** (quay crane scheduling problem – QCSP) που επικεντρώνει ουσιαστικά στη διάθεση συγκεκριμένου αριθμού γερανογεφυρών σε διάφορες δραστηριότητες καθώς και στον προγραμματισμό κινήσεων φόρτωσης / εκφόρτωσης. Παρεμβολές μεταξύ των γερανών, προτεραιότητες και λειτουργικές ανάγκες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι Moccia et al., (2006) και οι Sammarra et al., (2007) ειδικεύονται στο πρόβλημα προγραμματισμού γερανογεφυρών.



- **Εργασίες στην χερσαία πλευρά** (yard operations). Στην διαχείριση των εργασιών στην χερσαία πλευρά θέτονται διάφορα προβλήματα επιλογής : Ο σχεδιασμός των χώρων αποθήκευσης σύμφωνα με τα ειδικά χαρακτηριστικά των ε/κ (μέγεθος , βάρος , προορισμός , εισαγωγή/ εξαγωγή κλπ) , η διάθεση, οι διαδρομές και ο προγραμματισμός των κινητών γερανογεφυρών , ο σχεδιασμός των πολιτικών επαναταξινόμησης των εξαγόμενων ε/κ. Οι Kim and Bae, (1998), Kim and Kim, (1999), Kim and Kim, (2002), Kim and Park, (2003), Kim and Hong, (2006), Kim and Lee, (2006), Kang et al., (2006) και Yang and Kim, (2006) έχουν αναπτύξει μοντέλα για όλες τις πιθανές εργασίες στην χερσαία πλευρά.
- **Εργασίες μεταφοράς** (transfer operations). Τα ε/κ συχνά μεταφέρονται από την θαλάσσια πλευρά στην χερσαία και από την χερσαία στην πύλη και αντιστρόφως από φορτηγά (internal trucks), οχήματα πλαίσια η και αυτόματα οχήματα μεταφοράς (automated guided vehicles – AGVs). Ο στόχος για την βελτιστοποίηση των εργασιών μεταφοράς είναι συνήθως να ελαχιστοποιηθεί ο στόλος των οχημάτων μεταφοράς.
- **Σχεδιασμός στοιβασίας στα πλοία** (ship stowage planning). Οι μέθοδοι στοιβασίας ενός πλοίου μεταφοράς ε/κ (container ship) είναι ένα πρόβλημα με μεγάλες ανάγκες στο οποίο οι διαχειριστές του τερματικού δεν έχουν την απόλυτη δύναμη επιλογής κινήσεων. Πλάνα φόρτωσης πρέπει να ακολουθούνται σύμφωνα με συγκεκριμένο πρότυπο και να γίνονται δεκτά από τον καπετάνιο του πλοίου.

Πολλοί συγγραφείς με μεγάλη εμπειρία σε μεμονωμένα προβλήματα βελτιστοποίησης όπως τα παραπάνω προσπαθούν να συνδυάσουν τα προβλήματα και τους τρόπους λύσης σε μια μοναδική προσέγγιση.

Οι Park and Kim, (2003), οι Meisel and Bierwirth, (2006) και οι Imai, Chen, Nishimura and Paradimitriou, (2007) δουλεύουν πάνω στην ενοποίηση της διάθεσης θέσεων παραβολής και του προγραμματισμού των γερανογεφυρών.

Οι Bish et al., (2001) και οι Kozan and Preston, (2006) προτείνουν κάποια ενοποίηση μεταξύ της διάθεσης τετραγώνων (blocks) στην χερσαία πλευρά και στις μεταφορές ε/κ.

Οι Goodchild and Daganzo, (2006) και Goodchild and Daganzo, (2007) λαμβάνουν υπόψη τις διπλές κυκλικές κινήσεις των γερανογεφυρών και την επιρροή τους στις εργασίες φόρτωσης / εκφόρτωσης.

Οι Chen et al., (2007) και οι Lau and Zhao (2007) μελετούν τον ενοποιημένο προγραμματισμό του εξοπλισμού χειρισμών (handling equipment) σε έναν τερματικό σταθμό.

#### 1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το κεφάλαιο 1 είναι εισαγωγικό και έχει ως σκοπό να δώσει στον αναγνώστη την δυνατότητα να σχηματίσει μια εικόνα για το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Στο υποκεφάλαιο 1.1 παρουσιάζει τις βασικές γνώσεις για το αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας. Στο υποκεφάλαιο 1.2 παρουσιάζεται ο σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας. Στο επόμενο υποκεφάλαιο 1.3 δίνονται κάποια γενικά στοιχεία για λιμενικές και σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις που αναλύονται περαιτέρω στα υποκεφάλαια 1.3.1 και 1.3.2. Τέλος το εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση της δομής της διπλωματικής εργασίας (υποκεφάλαιο 1.4).

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα μοναδοποιημένα φορτία και τα συστήματα διακίνησης τους. Στο υποκεφάλαιο 2.1 γίνεται μια περιγραφή των μοναδοποιημένων φορτίων (εμπορευματοκιβωτίων, κινητών αμαξωμάτων και ημι-ρυμουλκούμενων). Στο υποκεφάλαιο 2.2 παρουσιάζονται τα μηχανήματα και τα συστήματα διακίνησης μοναδοποιημένων φορτίων. Αυτά χωρίζονται σε εξοπλισμό θαλάσσιας πλευράς λιμενικών εγκαταστάσεων, εξοπλισμό μεταφοράς, εξοπλισμό στοιβασίας, εξοπλισμό μεταφοράς και στοιβασίας και τεχνολογίες μεταφορτώσεις σε τρένο. Τέλος στο υποκεφάλαιο 2.3 γίνεται μια παρουσίαση των τερματικών σταθμών και αναλυτικότερα των σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών (διαλογής και μεταφόρτωσης).

Στο κεφάλαιο 3 λαμβάνει μέρος η βιβλιογραφική επισκόπηση πάνω σε μοντέλα προσομοίωσης. Στο υποκεφάλαιο 3.1 αναφέρονται διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης όπως η θεωρία αναμονής και η προσομοίωση. Στο υποκεφάλαιο 3.2 γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά στην τεχνική της προσομοίωσης, στα μοντέλα προσομοίωσης που αναπτύσσονται, στις συνήθεις εφαρμογές τους καθώς και στις μεθόδους βελτιστοποίησης των μοντέλων προσομοίωσης. Τέλος στο υποκεφάλαιο 3.3 γίνεται μια επισκόπηση πάνω σε έρευνες που έχουν γίνει, με εφαρμογή μοντέλων προσομοίωσης σε σιδηροδρομικούς και λιμενικούς τερματικούς σταθμούς.

Το κεφάλαιο 4 που είναι το κυρίως θέμα της Διπλωματικής Εργασίας έχει ως σκοπό την παρουσίαση των σεναρίων του μοντέλου, των στοιχείων εισόδου και την διερεύνηση του συστήματος ISU, καθώς και των στοιχείων εξόδου που προκύπτουν από τα παραπάνω. Στο υποκεφάλαιο 4.1 γίνεται μια γενική περιγραφή του αρχικού μοντέλου. Στο υποκεφάλαιο 4.2 παρουσιάζονται οι περιπτώσεις που προσομοιώνονται σε συστήματα ISU. Στο υποκεφάλαιο 4.3 παρουσιάζονται τα στοιχεία εισόδου που χρησιμοποιούνται για το πρώτο σενάριο του μοντέλου προσομοίωσης. Στο υποκεφάλαιο 4.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του μοντέλου καθώς και το πρώτο σενάριο του μοντέλου σε τέσσερα μέρη για διευκόλυνση της κατανόησης αλλά και της παρουσίασης του. Στο υποκεφάλαιο 4.5 παρουσιάζονται τα στοιχεία εξόδου που εξάγονται από το λογισμικό Arena. Στο υποκεφάλαιο 4.6 παρουσιάζονται άλλα τρία

σενάρια, από τα οποία, τα δυο μπορούν να εφαρμοστούν στην φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena. Τέλος στο υποκεφάλαιο 4.7 γίνονται δοκιμές πάνω στα πρώτα τρία σενάρια για τυχαίους ρυθμούς αφίξεων φορτηγών και γίνεται μια σύγκριση των μέσων και των μέγιστων χρόνων παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού των τριών σεναρίων.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η εξαγωγή των συμπερασμάτων της Διπλωματικής Εργασίας και οι εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα με βάση την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Τέλος παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν από την ελληνική και την ξενόγλωσση βιβλιογραφία.

Στο παράρτημα Α γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του λογισμικού Arena (Rockwell Software Arena), του οποίου η φοιτητική έκδοση, χρησιμοποιήθηκε στην δημιουργία των μοντέλων προσομοίωσης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Στο παράρτημα Β παρουσιάζονται οι πίνακες δεδομένων και αποτελεσμάτων των δοκιμών (του υποκεφαλαίου 4.7) των τριών σεναρίων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥΣ**

### **2.1 ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΑ**

Οι συνδυασμένες μεταφορές στην Ευρώπη πραγματοποιούνται με την χρήση τεσσάρων συστημάτων μεταφοράς φορτίων: το σύστημα εμπορευματοκιβωτίων ISO (ISO = International Organization for Standardization, διεθνής οργανισμός τυποποίησης), το σύστημα των χερσαίων εμπορευματοκιβωτίων (inland containers), το σύστημα των κινητών αμαξωμάτων (swap bodies) και το σύστημα μεταφοράς με ημι-ρυμουλκούμενα (semi-trailers).

#### **2.1.1 Εμπορευματοκιβώτια**

Τα εμπορευματοκιβώτια ISO (Εικόνες 2.1,2.2,2.3) είναι η κυρίαρχη μονάδα των θαλάσσιων μεταφορών στον κόσμο. Τα πιο συνηθισμένα μεγέθη είναι τα εμπορευματοκιβώτια των 20ft και των 40ft (1ft = 33cm) (Mahoney, 1985). Ένα μειονέκτημα των ISO εμπορευματοκιβωτίων είναι ότι αυτοί οι τύποι ε/κ δεν επιτρέπουν την αποδοτική φόρτωση τους με παλέτες των 800x1200mm, οι οποίες έχουν ευρεία χρήση στο Ευρωπαϊκό σύστημα μεταφορών (Hood, 1981). Έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και είναι ανθεκτικά για πολύχρονη χρήση. Είναι σχεδιασμένα για την διευκόλυνση της μεταφοράς αγαθών, με ένα ή περισσότερα μέσα μεταφοράς, χωρίς ενδιάμεση μεταφόρτωση των προϊόντων. Είναι κατάλληλα για φορτοεκφόρτωση με μηχανικά μέσα.

Εικόνα 2.1: Εμπορευματοκιβώτιο υδατοστεγές 40ft μήκος 9.6ft ύψος (Πηγή <http://www.isocontainers.com/specs.htm>)



Οι τύποι εμπορευματοκιβωτίων όπως ορίζονται στο ISO Standards Handbook on Freight Containers είναι οι εξής: 1) Εμπορευματοκιβώτια γενικού σκοπού, 2) εμπορευματοκιβώτια ειδικού σκοπού (ανοικτής οροφής, κλειστά αεριζόμενα, πλατφόρμας κλπ) και 3) εμπορευματοκιβώτια ειδικού φορτίου (θερμικά, ψυγεία, υγρού χύδην φορτίου κλπ).

Τα ε/κ ενδοχώρας (inland containers) δεν ακολουθούν τα ίδια πρότυπα με τα ε/κ ISO, αλλά έχουν πλάτος 2500mm για την εξυπηρέτηση των διαστάσεων των Ευρωπαϊκών παλετών.

Εικόνα 2.2: Εμπορευματοκιβώτιο ψυγείο 40ft μήκος 8.6ft ύψος (Πηγή <http://www.isocontainers.com/specs.htm>)



Εικόνα 2.3: Εμπορευματοκιβώτιο ανοικτής οροφής 40ft μήκος 8.6ft ύψος (Πηγή <http://www.isocontainers.com/specs.htm>)



### 2.1.2 Κινητά αμαξώματα

Τα κινητά αμαξώματα (εικόνες 2.4,2.5) είναι μονάδες φόρτωσης που αναπτύχθηκαν για το Ευρωπαϊκό εσωτερικό οδικό δίκτυο μεταφορών, επιτρέποντας τις εργασίες φορτοεκφόρτωσης των μονάδων στις ράμπες φόρτωσης ανεξάρτητα από την παρουσία αρθρωτών οχημάτων (articulated vehicles) και συγκεκριμένα επιτρέποντας την μετατόπιση των έμφορτων μονάδων μεταξύ φορτηγών χωρίς την εκφόρτωση των φορτίων. Αυτές οι μονάδες είναι πιο εύχρηστες (σε σχέση με τα ε/κ ISO) στην φόρτωση με παλέτες και γενικώς προσφέρουν περισσότερες επιλογές στην φόρτωση τους (από πάνω ή από τις πλευρές). Μια τυπική μονάδα έχει πλάτος 2500mm και σκελετό στον οποίο μπορούν να συνδεθούν διαφορετικά αμαξώματα. Όλα τα κινητά αμαξώματα είναι σχεδιασμένα για να σηκώνονται από την βάση τους. Υπάρχουν δυο κύριες ομάδες κινητών αμαξωμάτων, η ομάδα Α (περίπου 12m μήκος) και η ομάδα C (7.15 – 7.82m μήκος). Κάποια κινητά αμαξώματα έχουν ικανότητα στοίβαξης μέχρι και 3 μονάδες καθ' ύψος, αλλά η πλειοψηφία τους δεν είναι κατασκευασμένη για να στοιβάζονται καθ' ύψος.

Εικόνα 2.4: Κινητά αμαξώματα (Πηγή <http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier>)



Εικόνα 2.5: Κινητό αμάξωμα (Πηγή <http://www.terbergtechniek.nl/uk/new-vehicles/swap-body-carriers.php>)



### 2.1.3 Ημι-ρυμουλκούμενα

Οι διάφοροι τύποι ημι-ρυμουλκούμενων (εικόνες 2.6,2.7,2.8) που λειτουργούν στην Ευρώπη περιλαμβάνουν κλειστά ημι-ρυμουλκούμενα, ανοιχτά ημι-ρυμουλκούμενα, ημι-ρυμουλκούμενα βυτία και ημι-ρυμουλκούμενα σιλό. Επίσης ταξινομούνται σε flat-bed και step-deck ημι-ρυμουλκούμενα που έχουν μικρότερους τροχούς και προσφέρουν μεγαλύτερο εσωτερικό ύψος (εκτός από το μέρος της πλατφόρμας πάνω από τον ελκυστήρα, όπου το επίπεδο της πλατφόρμας καθορίζεται ανάλογα με το επίπεδο του πεύρου). Τα Step-deck ρυμουλκούμενα δεν είναι πολύ δημοφιλή στην Ευρώπη καθώς το “σκαλί” στο πάτωμα δεν επιτρέπει την κυκλοφορία των περονοφόρων μηχανημάτων σε όλο το μήκος της πλατφόρμας, επιβάλλοντας την ανάγκη για τοποθέτηση φορτίου χειροκίνητα (με μη αυτόματο τρόπο) στο ανώτερο επίπεδο της πλατφόρμας. Η βιομηχανία φορτηγών δημιούργησε φορτηγά με μικρότερες διαμέτρους τροχών που επιτρέπουν ένα ύψος του πόλου στήριξης του ελκυστήρα (kingpin) στα 860mm και έτσι ένα επιπλέον ύψος πλατφόρμας, με εσωτερικό ύψος 3000mm και με σεβασμό προς το συνολικό ύψος των 4000mm. Αυτά τα νέα “μέγα ημι-ρυμουλκούμενα” εκτιμάται ότι μπορεί να γίνουν στο μέλλον η επικρατούσα μονάδα επειδή είναι εύχρηστα στην μεταφορά μεγάλου όγκου και βάρους φορτίων.

Εικόνα 2.6: Ημι-ρυμουλκούμενο με θύρες στο πλάι (with side doors) (Πηγή <http://www.ozgul.com.tr/en/products>)



Εικόνα 2.7: Φορτηγό έλκει ημι-ρυμουλκούμενο (tractor unit pulls semi-trailer) (Πηγή <http://en.wikipedia.org/wiki/Semi-trailer>)





Εικόνα 2.8: Μεταφορείς εμπορευματοκιβωτίων τύπου πλατφόρμας (Πηγή <http://www.ozgul.com.tr/en/products>)



Σε αντίθεση με τις Ηνωμένες Πολιτείες όπου οι συνδυασμοί μακρινών φορτηγών-ρυμουλκούμενων κυκλοφορούν στο οδικό δίκτυο, στην Ευρώπη, περιορίζονται οι τύποι φορτηγών και ημι-ρυμουλκούμενων και οι συνδυασμοί τους στους παρακάτω τύπους:

- Αρθρωτά οχήματα, όπως ένα φορτηγό συνδυασμένο με ένα ημι-ρυμουλκούμενο. Το μέγιστο μήκος ενός αρθρωτού οχήματος να είναι 16.5 μέτρα και μια πλατφόρμα φόρτωσης στην οποία μπορούν να μεταφερθούν ένα τυπικό ε/κ ISO των 40ft ή δυο τυπικά ε/κ ISO των 20ft ή ένα κινητό αμάξωμα (των 7.15, 7.45, 7.82, 12.12, 13.6 μέτρων) ή ένα ε/κ των 45ft.
- Οδικό τρένο – road train (ρυμουλκούμενο με ρυμό έλξης οχήματος - drawbar vehicle). Ένα οδικό όχημα αγαθών (goods road motor vehicle) ζευγάρι με ένα ρυμουλκούμενο (το οδικό όχημα αγαθών είναι σχεδιασμένο να έλκεται από ένα οδικό όχημα). Το μέγιστο μήκος του οδικού τρένου είναι 18.75 μέτρα και επιτρέπει την μεταφορά δυο (όχι φορτωμένων στο μέγιστο) τυπικών ε/κ ISO των 20ft ή δυο κινητών αμαξωμάτων των 7.15, 7.45 ή 7.82 μέτρων.

## 2.2 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

### 2.2.1 Εξοπλισμός θαλάσσιας πλευράς λιμενικών εγκαταστάσεων

#### Γερανογέφυρες κρηπιδώματος (ship to shore cranes)

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την φορτοεκφόρτωση πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στους λιμενικούς τερματικούς σταθμούς είναι οι ανυψωτικές γερανογέφυρες. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στις γερανογέφυρες καταστρώματος (που λειτουργούν επί του πλοίου) και στις γερανογέφυρες κρηπιδώματος (εικόνα 2.9), οι οποίες βρίσκονται επί του κρηπιδώματος του τερματικού σταθμού (Αντωνοπούλου, 2010).

Εικόνα 2.9: Γερανογέφυρες κρηπιδώματος (Πηγή [www.schoolboard.be](http://www.schoolboard.be))



Τα τελευταία χρόνια οι γερανογέφυρες καταστρώματος εγκαταλείπονται και στην θέση τους περνούν οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος. Τα μεγαλύτερα προβλήματα των γερανογεφυρών καταστρώματος είναι το μεγάλο βάρος που προσθέτουν στα πλοία σε συνδυασμό με μείωση της χωρητικότητας τους και η χαμηλή παραγωγικότητα τους σε σχέση με τις πιο σύγχρονες γερανογέφυρες κρηπιδώματος.

Οι γερανογέφυρες κρηπιδώματος είναι μεταλλικές πλαισιωτές κατασκευές που κινούνται επί σιδηροτροχιών και παρατάσσονται η μια δίπλα στην άλλη κατά μήκος του κρηπιδώματος, εγκάρσια στο πλοίο (συνήθως δυο ανά πλοίο, ανάλογα και με το μήκος του πλοίου). Είναι εξοπλισμένες με αρπάγη που κινείται κατά μήκος του βραχίονα της γερανογέφυρας. Η ανύψωση τους πραγματοποιείται με ειδικό ανυψωτικό μηχανισμό

που είναι ενσωματωμένος στο πλαίσιο της γερανογέφυρας. Κατά την εκφόρτωση η αρπάγη τοποθετείται πάνω από το ε/κ στο πλοίο, το ανυψώνει και το κατεβάζει στον χώρο προσωρινής στοιβάσεως όπου το αναλαμβάνει κάποιο όχημα εσωτερικής μεταφοράς του τερματικού σταθμού. Κατά την φόρτωση ενός ε/κ στο πλοίο από μια γερανογέφυρα ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία.

Το βασικότερο κριτήριο αξιολόγησης των γερανογεφυρών είναι η παραγωγικότητα τους, δηλαδή πόσα εμπορευματοκιβώτια χειρίζεται ανά ώρα λειτουργίας. Η μέγιστη παραγωγικότητα (ανεξάρτητα αν μπορεί να επιτευχθεί λόγω εξωγενών παραγόντων, όπως καθυστερήσεις που δεν οφείλονται στην κίνηση της γερανογέφυρας, για παράδειγμα κάποιος χειριστής όχι πολύ έμπειρος) μιας γερανογέφυρας καθορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μηχανισμών των γερανογεφυρών (όπως ταχύτητα ανύψωσης, ταχύτητα κίνησης ε/κ κατά μήκος του βραχίονα, ισχύς μηχανισμών κίνησης της αρπαγής κλπ). Συνήθως κάνουν περίπου 15-20 κινήσεις την ώρα (συμβατικές), αλλά ανάλογα με τις απαιτήσεις του λιμανιού υπάρχουν και γερανογέφυρες που μπορούν να εξυπηρετήσουν 30 κινήσεις την ώρα ή και παραπάνω (Αντωνοπούλου, 2010).

### 2.2.2 Εξοπλισμός μεταφοράς

#### Ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις (tractors)

Οι ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις είναι οχήματα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων που αποτελούνται από την καμπίνα για τον οδηγό και από την βάση στην οποία τοποθετούνται απευθείας τα εμπορευματοκιβώτια ή συνδέεται με αυτήν το κινητό αμάξωμα ή μια τροχοφόρα βάση που φέρουν τα εμπορευματοκιβώτια (εικόνα 2.10).

Εικόνα 2.10: Ελκυστήρας με συρομένη βάση (Πηγή [www.dimensionsinfo.com](http://www.dimensionsinfo.com))



Χρησιμοποιούνται σε Lo-Lo (Lift on – Lift off) μετακινήσεις εντός των τερματικών σταθμών, δηλαδή από χώρο προσωρινής εναπόθεσης στους χώρους στοιβασίας και από εκεί στις πύλες εισόδου/εξόδου και αντίστροφα. Επίσης χρησιμοποιούνται και για Ro-Ro (roll on – roll off) διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης αφού μπορούν να συνδέσουν στην βάση τους κινητά αμαξώματα. Έχουν πλάτος περίπου 2.5m και μήκος από 4.5 έως 5.7m.

Υπάρχουν επίσης ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις που μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα από ένα εμπορευματοκιβώτια (multi-trailer tractors) (εικόνα 2.11). Ένα τέτοιο τυπικό όχημα μπορεί να μεταφέρει μέχρι και 5 τροχοφόρες βάσεις, με την κάθε βάση να έχει μεταφορική ικανότητα 2 TEUs, με αποτέλεσμα λιγότερες κινήσεις του οχήματος (περισσότερα μεταφερόμενα ε/κ ανά διαδρομή) και μικρότερο κόστος εργατικών και λειτουργικών εξόδων (Αντωνοπούλου, 2010).

Εικόνα 2.11: Ελκυστήρας μεταφοράς συρόμενων βάσεων ( Πηγή <http://www.mafi.eu>)



### **Αυτόματα οχήματα μεταφοράς (AGV – automated guided vehicles)**

Είναι οχήματα οριζόντιας μεταφοράς ε/κ (όπως και οι ελκυστήρες με συρόμενες βάσεις) με την διαφορά ότι κινούνται αυτόματα, χωρίς οδηγούς, με σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα. Τα οχήματα ουσιαστικά είναι πλατφόρμες βάσεις με τροχούς και συνήθως δεν φέρουν καμπίνα οδηγού.

Το σύστημα μεταφοράς ε/κ με αυτόματα οχήματα μεταφοράς AGV (εικόνα 2.12) αποτελείται από ένα όχημα (πλατφόρμα – βάση), μια συσκευή ελέγχου επί του οχήματος (onboard controller), ένα δίκτυο μεταφοράς δεδομένων με κεντρικό σύστημα διαχείρισης και ένα σύστημα πλοήγησης. Συνήθως λειτουργούν με ηλεκτρισμό. Κινούνται με ταχύτητα της τάξεως των 4.5 έως 5.5 m/s όταν είναι κενά και με ταχύτητες από 2.5 έως 5 m/s όταν είναι έμφορτα (Αντωνοπούλου, 2010).

Εικόνα 2.12: Αυτόματο όχημα μεταφοράς AGV (Πηγή <http://mescranes.com/images>)



Τα αυτόματα οχήματα μεταφοράς AGV μπορούν να πραγματοποιήσουν και μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων από και προς το σιδηροδρομικό δίκτυο, αν υπάρχει στον λιμενικό τερματικό σταθμό.

### 2.2.3 Εξοπλισμός στοιβασίας

#### Γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (RTG – rubber tyre gantry cranes)

Οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών (εικόνα 2.13) είναι πλαισιωτές μεταλλικές κατασκευές (μονού ή διπλού πλαισίου) που κινούνται με ελαστικούς τροχούς και χρησιμοποιούνται για την στοιβασία εμπορευματοκιβωτίων, κάθετα ή παράλληλα στο κρηπίδωμα. Η γεωμετρία κατασκευής τους (ύψος, πλάτος κλπ) καθορίζει το μέγιστο ύψος στοιβασίας ε/κ και τον αριθμό των σειρών των blocks (ομάδων) των εμπορευματοκιβωτίων που στοιβάζουν οι γερανογέφυρες. Η φορτοεκφόρτωση των ε/κ από γερανογέφυρες βοηθείται από εξοπλισμό οριζόντιας μεταφοράς (πχ ελκυστήρες) που κινείται εντός των πλαισίων των γερανογεφυρών. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαία η ύπαρξη λωρίδας κίνησης αυτών των μηχανημάτων. Είναι εξοπλισμένες με αρπάγη και μηχανισμό ανύψωσης. Έχουν την δυνατότητα να κινούνται κάθετα ή παράλληλα ή

ακόμα και να περιστρέφονται για να έρθουν στην θέση που χρειάζεται για να αρπάξουν ένα ε/κ.

Εικόνα 2.13: Γερανογέφυρα επί ελαστικών τροχών (RTG – rubber tyre gantry crane)  
(Πηγή <http://www.kalmarind.com/india>)



Λόγο των ελαστικών τροχών μπορούν να μετακινηθούν και να βοηθήσουν τις εργασίες σε άλλη ομάδα εμπορευματοκιβωτίων όπου υπάρχει μεγαλύτερος φόρτος εργασίας. Επίσης μπορούν να φορτώσουν εμπορευματοκιβώτια και σε συρμό όταν υπάρχουν οι σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις μέσα στον τερματικό σταθμό.

Γενικά υπάρχουν γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών με πλάτος από 10 έως 30m περίπου οι οποίες μπορούν να στοιβάζουν ομάδες εμπορευματοκιβωτίων με 2 έως 8 σειρές. Ανάλογα με το πλάτος, έτσι και στο ύψος υπάρχουν γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών που μπορούν να στοιβάζουν από 3 έως 7 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος. Η κατά μήκος ταχύτητα κίνησης τους (Παπανικολάου, 2008) κυμαίνεται από 90m/min έως 140m/min, ενώ η κατά πλάτος κίνηση του φορείου από 50 έως 70m/min σε έμφορτη κατάσταση. Η ταχύτητα ανύψωσης εμπορευματοκιβωτίων κυμαίνεται από 11 έως 26m/min συνήθως. Επίσης οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών έχουν ανυψωτική ικανότητα από 35 έως 51ton (Αντωνοπούλου, 2010).

**Γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (RMG – rail mounted gantry cranes)**

Όπως και οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών, οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (εικόνα 2.14) είναι πλαισιωτές μεταλλικές κατασκευές εξοπλισμένες με ανυψωτικό μηχανισμό και αρπάγη που χρησιμοποιούνται για την στοιβασία εμπορευματοκιβωτίων σε ομάδες (blocks), βοηθούμενες από εξοπλισμό οριζόντιας μεταφοράς. Σε αυτό τον τύπο γερανογεφυρών υπάρχουν συνήθως περισσότερες λωρίδες κίνησης μηχανημάτων οριζόντιας μεταφοράς (ελκυστήρων, AGV). Οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν συχνά προβόλους δεξιά και αριστερά, οι οποίοι χρησιμεύουν είτε σαν λωρίδες κίνησης των ελκυστήρων ή σαν κάλυψη για εργασίες στοιβασίας ε/κ στον χώρο κάτω από αυτούς.

Εικόνα 2.14: Γερανογέφυρα επί σιδηροτροχιών (RMG – rail mounted gantry crane)  
(Πηγή <http://www.craneschina.cn/UploadFiles>)

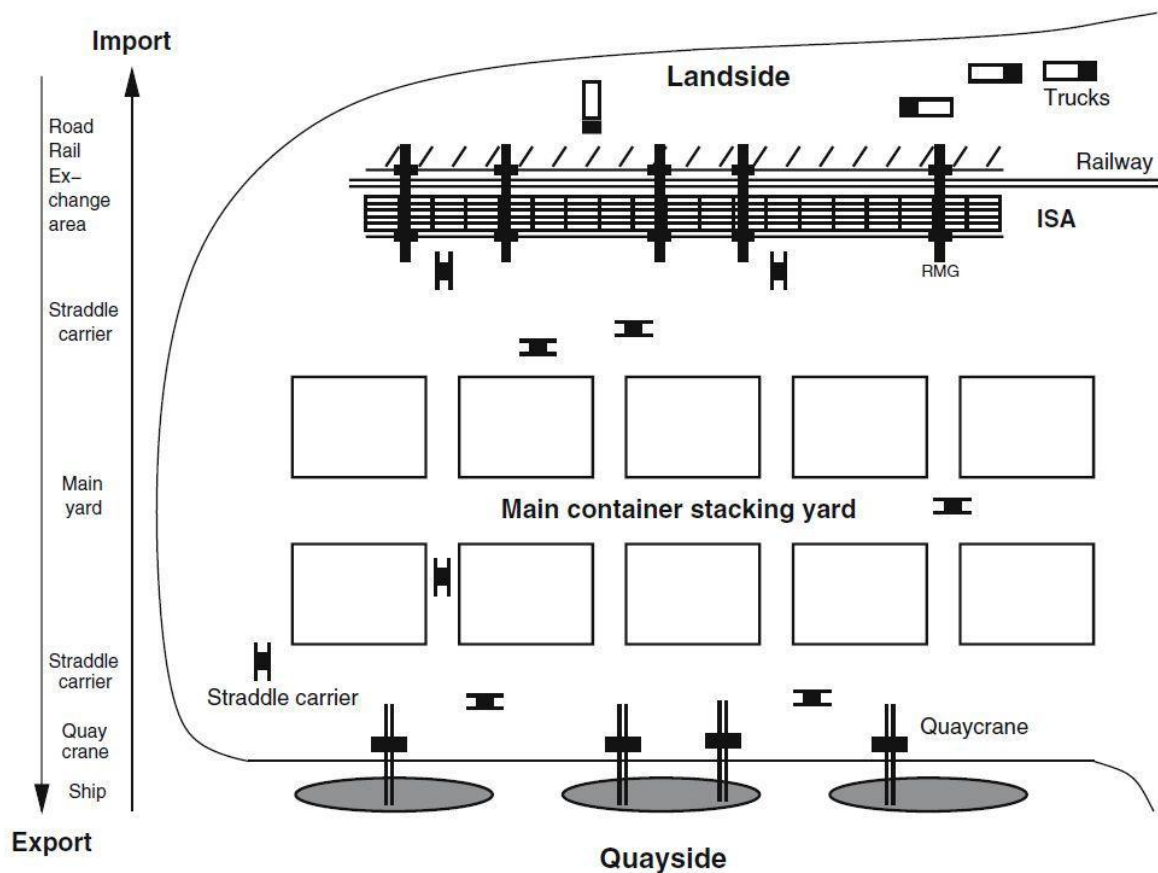


Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει ταυτόχρονη λειτουργία δυο γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών ανά ομάδα ή και παραπάνω όταν υπάρχει διάταξη δυο γερανογεφυρών η μια «μέσα» στην άλλη (cross-over). Στην τελευταία περίπτωση η μια γερανογέφυρα έχει μεγαλύτερο πλάτος και ύψος από την άλλη ώστε έτσι να μπορούν να λειτουργήσουν συγχρόνως. Επίσης οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών μπορούν να

μεταφορτώσουν εμπορευματοκιβώτια και σε χερσαία και οδικά μέσα (Froyland et al., 2007). Τέλος από τον χώρο στοίβασης προς τις γερανογέφυρες, τις μεταφορές μπορούν να τις εξυπηρετούν οχήματα πλαίσια και οχήματα εμπρόσθιας στοίβασης.

Όταν στην εγκατάσταση υπάρχει και σιδηροδρομικός σταθμός, οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών μπορούν απευθείας να πραγματοποιήσουν την φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων στον συρμό (εικόνα 2.15).

Εικόνα 2.15: Απευθείας φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων σε συρμό με γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών (Πηγή Froyland et al., 2007)



Οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν πλάτος που κυμαίνεται συνήθως από 19 έως 45m και μπορούν να στοιβάζουν εμπορευματοκιβώτια μέχρι και σε 10 σειρές κατά τον άξονα τους (συμπεριλαμβάνονται στο πλάτος και οι 2 λωρίδες κίνησης οχημάτων). Υπάρχουν και γερανογέφυρες που φτάνουν και τα 65m πλάτος που εξυπηρετούν σιδηροδρομικά οχήματα που βρίσκονται από κάτω τους. Συνήθως στοιβάζουν από 3 έως 9 εμπορευματοκιβώτια καθ' ύψος. Το μήκος των προβόλων έχει εύρος από 9 έως 14m περίπου, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που μειώνεται στα 4m ή φτάνει και τα 25m. Η κατά μήκος ταχύτητα κίνησης των γερανογεφυρών επί σιδηροτροχιών κυμαίνεται από 60 έως 150m/min περίπου, καθώς σε ίδια επίπεδα κυμαίνεται συνήθως και η ταχύτητα κάθετης κίνησης της αρπάγης. Η ταχύτητα ανύψωσης



εμπορευματοκιβωτίων έχει εύρος από 10 έως 30m/min. Στις συνηθέστερες περιπτώσεις οι γερανογέφυρες επί σιδηροτροχιών έχουν ανυψωτική ικανότητα από 40 έως 50ton (Αντωνοπούλου, 2010).

Γενικά οι γερανογέφυρες επί ελαστικών τροχών και επί σιδηροτροχιών έχουν πολύ καλή στατική λειτουργία λόγω της γεωμετρίας τους (τα ε/κ είναι πολύ κοντά στο κέντρο βάρους τους και το μεγάλο ύψος τους δεν δημιουργεί προβλήματα λόγω του μεγάλου ύψους τους), δεν έχουν προβλήματα ορατότητας όταν απαιτείται χειριστής (υπάρχουν και αυτόματες και με χειριστές) και έχουν πολύ μεγάλες ανυψωτικές ικανότητες (μέχρι και 2 ε/κ των 40ft συγχρόνως). Επίσης ενδιαφέρον είναι ότι το μέγιστο ύψος στοιβασίας τους είναι ουσιαστικά μειωμένο κατά ένα, αφού τα μεταφερόμενα εμπορευματοκιβώτια πρέπει να περνάνε πάνω από τα ήδη στοιβαγμένα.

#### 2.2.4 Εξοπλισμός μεταφοράς και στοιβασίας

##### Οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (reach stackers)

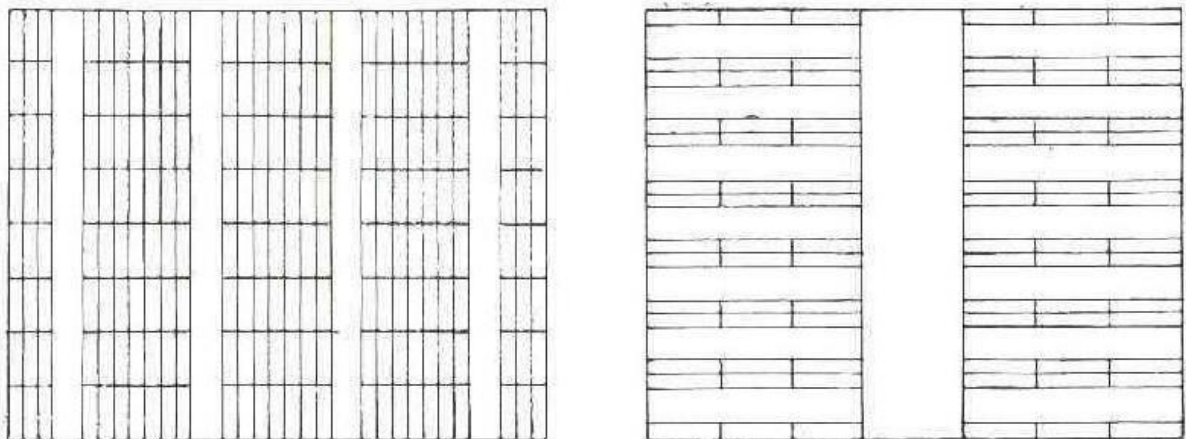
Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας (εικόνα 2.16) είναι τροχοφόρα οχήματα που έχουν ευρεία χρήση στην μεταφορά και στοιβασία εμπορευματοκιβωτίων και είναι ιδανικά για τερματικούς σταθμούς μεσαίου μεγέθους, λόγω ότι μπορούν να εξυπηρετήσουν τις διεργασίες με πολύ μικρό κόστος (αγοράς, υποδομής κλπ) σε σχέση με άλλα μηχανήματα. Σε μεγάλους τερματικούς σταθμούς μπορούν να συνδυαστούν και με άλλα πιο ακριβά και απαιτητικά μηχανήματα ώστε να ανακουφίζουν τον φόρτο εργασίας των άλλων μηχανημάτων. Μπορούν να μεταφέρουν εμπορευματοκιβώτια (συνήθως κενά λόγω γεωμετρικής διάταξης των blocks, αλλά και έμφορτα) σε μικρές αποστάσεις, να τα στοιβάζουν σε ομάδες ή και να φορτοεκφορτώνουν εμπορευματοκιβώτια σε φορτηγά ή σε συρμό.

Εικόνα 2.16: Όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας (Πηγή <http://www.bromma.com>).



Λόγο της γεωμετρίας κατασκευής τους, τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι πολύ ευέλικτα και μπορούν να εξυπηρετήσουν τις περισσότερες διεργασίες σε έναν σταθμό, αλλά συγχρόνως απαιτούν να ισχύουν και κάποιες προϋποθέσεις. Καθώς φορτοεκφορτώνουν εμπορευματοκιβώτια από το πλάι, μπορούν να εξυπηρετήσουν συρμούς ή να στοιβάζουν κενά εμπορευματοκιβώτια σε ομάδες πολλών σειρών στο μέγιστο ύψος στοιβασίας τους. Όμως όταν έχουν να εξυπηρετήσουν έμφορτα εμπορευματοκιβώτια, θα πρέπει ο χώρος εναπόθεσης ε/κ να είναι διατεταγμένος σε δυο σειρές έτσι ώστε το μηχάνημα να μπορεί να μεταφέρει το εμπορευματοκιβώτιο που πρέπει να κινηθεί την εκάστοτε στιγμή (εικόνα 2.17). Όπως είναι προφανές ο χώρος που χρειάζεται για τους ελιγμούς των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας είναι μεγάλος (χρειάζονται φαρδιοί διάδρομοι κυκλοφορίας) και ειδικά όταν πρέπει να εξυπηρετούν έμφορτα ε/κ η πραγματική χωρητικότητα του τερματικού σταθμού μειώνεται δραματικά.

Εικόνα 2.17: Διάταξη στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων για φορτοεκφόρτωση με οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας. Αριστερά: κενά εμπορευματοκιβώτια, δεξιά: έμφορτα εμπορευματοκιβώτια (Πηγή Αμπακούμκιν, 1990).



Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας κινούνται με μια μέση ταχύτητα της τάξης των 10km/h περίπου, μπορούν να στοιβάζουν ε/κ μέχρι και 5 καθ' ύψος συνήθως και χρειάζονται περίπου 1 λεπτό για την φόρτωση ή την εκφόρτωση ενός ε/κ. Κάποια έχουν μεταφορική ικανότητα που μπορεί να καλύψει και τα πιο βαριά ε/κ των 40ft με βάρος 30ton (Αντωνοπούλου, 2010). Δεν χρειάζονται συγκεκριμένη υποδομή (εκτός από το οδόστρωμα) στον σταθμό, αλλά απαιτούν καύσιμα, λιπαντικά και ελαστικά για την χρήση τους και την συντήρησή τους. Η καμπίνα του οδηγού βρίσκεται χαμηλά με αποτέλεσμα να μην έχει πολύ καλή ορατότητα, ειδικά όταν θα πρέπει να στοιβάζει ε/κ πολύ ψηλά, με αποτέλεσμα αυτό να μεγαλώνει πολλές φορές τον χρόνο κύκλου του μηχανήματος (ανάλογα και με την εμπειρία του χειριστή). Τοποθετούν τα ε/κ εγκάρσια γεγονός που τα κάνει να είναι ίσως τα πιο χρήσιμα για φορτοεκφόρτωση κενών ε/κ. Επίσης τους δίνει την δυνατότητα να μπορούν να τοποθετήσουν ε/κ σε σιδηροτροχιά

χωρίς να χρειάζεται ιδιαίτερη υποδομή. Τέλος η στατική τους λειτουργία προϋποθέτει κινδύνους κάποιες φορές, αφού όταν μεταφέρουν πολύ βαριά ε/κ η ροπή ανατροπής τους είναι πολύ μεγάλη.

### **Περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα (forklift trucks)**

Τα περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα (εικόνα 2.18) μοιάζουν με τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας στην γεωμετρία τους. Είναι πολύ ευέλικτα και μπορούν να παραλάβουν εμπορευματοκιβώτια απευθείας από το κρηπίδωμα για να τα μεταφέρουν στον χώρο στοιβασίας και αντίστροφα, παρόλο που δεν χρησιμοποιούνται τόσο πολύ για μεταφορά ε/κ. Γενικά τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σπάνια για την διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και στην θέση τους χρησιμοποιούνται τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας που έχουν πιο ευρεία εφαρμογή.

Εικόνα 2.18: Περονοφόρο ανυψωτικό όχημα (Πηγή <http://img.diytrade.com/china>)



Είναι γρήγορα και εύχρηστα όμως και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά μικρότερων φορτίων σε παλέτες ή συσκευασμένα σε πολύ μικρό χρόνο χωρίς να απαιτείται σημαντικός χώρος για ελιγμούς. Το κόστος χρήσης τους είναι πολύ μικρό σε σχέση με τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό. Έχουν πολύ μικρό βάρος σε σχέση με τα άλλα μηχανήματα οπότε δεν δημιουργούν κανένα πρόβλημα στο οδόστρωμα των τερματικών σταθμών και δεν απαιτούν κάποια συγκεκριμένη υποδομή. Ο χειριστής έχει πολύ καλή εποπτεία του χώρου, κάτι που συνεισφέρει στον ήδη (λόγο της γεωμετρίας του και των χαρακτηριστικών του) μικρό χρόνο κύκλου του μηχανήματος. Το μεγάλο του

μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να τοποθετήσει φορτίο σε μεγάλο ύψος. Πάντως είναι πολύ ασφαλές και χρήσιμο μηχάνημα που μπορεί να εκτελέσει κάποιες μεταφορές μέσα σε έναν τερματικό, που άλλα μηχανήματα δεν μπορούν ή δεν συμφέρει να τις εκτελέσουν.

### **Οχήματα χειρισμού κενών εμπορευματοκιβωτίων (empty container handlers)**

Τα οχήματα χειρισμού κενών εμπορευματοκιβωτίων (εικόνα 2.19) έχουν χαρακτηριστικά ανάλογα με τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας με μόνες διαφορές που οφείλονται στην γεωμετρία και στην μεταφορική τους ικανότητα. Μεταφέρουν μόνο κενά εμπορευματοκιβώτια και έχουν πολύ μικρότερη μεταφορική ικανότητα (τα κενά εμπορευματοκιβώτια ζυγίζουν 2 έως 3 τόνους συνήθως) από τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας. Κινούνται πιο γρήγορα από τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας καθώς είναι κατασκευασμένα για μεταφορά κενών εμπορευματοκιβωτίων μόνο και έχουν καλύτερη στατική συμπεριφορά αφού ο μοχλοβραχίονας της ροπής ανατροπής είναι πιο κοντά στο κέντρο βάρους τους οχήματος. Γενικά δεν έχουν ευρεία εφαρμογή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας μόνο για μεταφορά και στοιβασία κενών ε/κ ως πιο οικονομικά μηχανήματα.

Εικόνα 2.19: Όχημα χειρισμού κενών ε/κ (Πηγή <http://www.portrucks.com>).



### Οχήματα πλαίσια (straddle carriers)

Τα οχήματα πλαίσια (εικόνα 2.20) είναι τροχοφόρα οχήματα πλαισιωτής κατασκευής που μεταφέρουν τυποποιημένα εμπορευματοκιβώτια σε τερματικούς σταθμούς και τα στοιβάζουν σε σειρές κατά τον άξονα τους. Είναι εξοπλισμένα με ανυψωτικό μηχανισμό και αρπάγη για τον χειρισμό των εμπορευματοκιβωτίων και με καμπίνα για τον χειριστή. Παραλαμβάνουν συνήθως εμπορευματοκιβώτια που εκφορτώνονται από γερανογέφυρες παρά του κρηπιδώματος και τα μεταφέρουν στους χώρους στοιβασίας. Μπορούν να μεταφέρουν όλων των ειδών τα τυποποιημένα ε/κ και να τα στοιβάζουν σε απλή συστοιχία κατά τον άξονα τους (εικόνα 2.21). Χρειάζονται αρκετό χώρο για τους ελιγμούς τους καθώς και κενό ανάμεσα στις συστοιχίες εμπορευματοκιβωτίων (περίπου 1,5 μέτρο) αλλά είναι πολύ χρήσιμα στο να παραλάβουν απευθείας το ε/κ που πρέπει χωρίς να χρειαστεί να μετακινήσουν κάποιο άλλο πρώτα.

Εικόνα 2.20: Όχημα πλαίσιο φορτώνει ένα ε/κ των 20ft σε ένα φορτηγό (Πηγή <http://www.jimbo.net/shameless/navis.html>)



Εικόνα 2.21: Διάταξη στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων για φορτοεκφόρτωση με οχήματα πλαίσια (Πηγή Αμπακούμκιν, 1990).



Τα οχήματα πλαίσια δεν χρειάζονται επιπλέον υποδομή εκτός του οδοστρώματος, αλλά χρειάζονται λιπαντικά, ελαστικά και καύσιμα όπως και τα άλλα οχήματα μεταφοράς και στοιβασίας. Η καμπίνα του οδηγού βρίσκεται ψηλά, δίνοντας του έτσι πολύ καλή εποπτεία του χώρου κάνοντας την φόρτωση / εκφόρτωση πολύ πιο εύκολη από ότι με οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας. Τοποθετούν τα ε/κ σε διαμήκη άξονα και για αυτό τον λόγο πρέπει να παρέχεται αρκετός χώρος για τους ελιγμούς τους. Επιπλέον δεν μπορεί η κάθε συστοιχία να έχει πολύ μεγάλο μήκος γιατί θα είναι πολύ δύσκολο για τον οδηγό να την διαβεί όλη, κάτι που σημαίνει ακόμα περισσότερος παρεχόμενος χώρος (μειώνεται η χρησιμότητα τους όταν μεταφέρουν κενά ε/κ). Επίσης δεν είναι εύκολο να τοποθετήσουν ε/κ σε σιδηροτροχιά αφού δεν μπορούν να περάσουν εγκάρσια τις ράγες όποτε χρειάζεται ειδική υποδομή κάτι που είναι εξαιρετικά αντικοινωνικό. Το μέγιστο ύψος στοιβασίας τους μειώνεται κατά ένα , αφού πρέπει να περνά πάνω από άλλα εμπορευματοκιβώτια αυτό που μεταφέρει εκείνη την στιγμή. Συνήθως έχουν μέγιστο ύψος στοιβασίας 4 έως 5 ε/κ καθ' ύψος. Είναι πολύ καλά για σύστημα προτεραιότητας LIFO (last in – first out) , αλλά και για FIFO (first in – first out) αν η στοιβασία γίνεται με τάξη. Τέλος είναι πολύ ασφαλές βάση της γεωμετρίας του και είναι πολύ δύσκολο να ανατραπεί παρά το μεγάλο ύψος του , αφού το βάρος που μεταφέρει βρίσκεται στον άξονα του.

Το ολικό πλάτος των οχημάτων πλαισίων κυμαίνεται από 4.9 έως 5.3m, στο οποίο συμπεριλαμβάνεται το εσωτερικό πλάτος πλαισίου (περίπου 3.5m) και το πλάτος των ποδών του οχήματος (0.6 έως 1m). Ανάλογα με το μέγιστο ύψος στοιβασίας τους κυμαίνεται και το ύψος τους, το οποίο είναι συνήθως από 7 έως 16m. Τα οχήματα

πλαίσια έχουν μήκος περίπου 10m. Τέλος η ελάχιστη ακτίνα στροφής του οχήματος είναι 8 έως 10m (Αντωνοπούλου, 2010).

Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του οχήματος χωρίς φορτίο κυμαίνεται από 6.6 έως 8.3m/s, ενώ με φορτίο από 5.5 έως 6.6m/s. Η ταχύτητα ανύψωσης ε/κ είναι περίπου 0,4m/s και μειώνεται ανάλογα με το βάρος του ε/κ που σηκώνει. Η ανυψωτική τους ικανότητα που επηρεάζεται από τον τύπο της αρπάγης κυρίως, έχει εύρος από 25 έως 60ton (Παπανικολάου, 2008).

### **2.2.5 Τεχνολογίες μεταφόρτωσης σε τρένο – συμβατικά και καινοτόμα συστήματα διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων**

Η εφαρμογή των σιδηροδρομικών μεταφορών φορτηγών και ημι-ρυμουλκούμενων εξαρτάται από το πρόβλημα κατά την διάρκεια της μεταφοράς και στην διάρκεια των εργασιών φορτοεκφορτώσεων στους τερματικούς σταθμούς. Το κρίσιμο πρόβλημα κατά την διάρκεια της φάσης μεταφοράς είναι η μεταφορά ενός ημι-ρυμουλκούμενου, με τέσσερα μέτρα ύψος, μέσω σιδηροδρομικών γεφυρών και σηράγγων. Για αυτό το σκοπό, ειδικοί τύποι βαγονιών έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ένα χαμηλό επίπεδο πλατφόρμας έτσι ώστε να διαβεβαιώνουν την εκκαθάριση του περιτυπώματος φόρτωσης. Παρομοίως, η ανθρώπινη ιδιοφυΐα έχει εφεύρει διάφορους τρόπους για την φορτοεκφόρτωση των ημι-ρυμουλκούμενων σε αυτούς τους τύπους βαγονιών, όπως:

- Μέθοδοι κατακόρυφων χειρισμών με χρήση “μεταφερόμενων με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενων ή με χρήση συσκευών υποστήριξης που επιτρέπουν τον χειρισμό των συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων (βαγόني καλάθι, σύστημα ISU, κλπ).
- Μέθοδοι οριζόντιων χειρισμών που χρησιμοποιούνται κυρίως για την μεταφορά των συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων και περιλαμβάνουν κινούμενους αυτοκινητόδρομους (rolling motorways), σιδηροδρομικά βαγόνια (rail wagons) με περιστρεφόμενες πλατφόρμες πάνω τους, κλπ.
- Συνδυαστικά συστήματα βασισμένα σε ειδικά ενισχυμένα οδικά ημι-ρυμουλκούμενα που μπορούν να μεταποιηθούν έτσι ώστε να κινούνται κατευθείαν πάνω σε σιδηροτροχιά.

#### **2.2.5.1 “Μεταφερόμενα με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενα (Cranable Semi-trailers)**

Ο όρος “μεταφερόμενο με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενο ισχύει για έναν ειδικό τύπο ημι-ρυμουλκούμενου που έχει την δυνατότητα να μπορεί να ανασηκωθεί από έναν γερανό που έχει έναν βραχίονα αγκίστρωσης (εικόνα 2.22). Τα cranable ημι-ρυμουλκούμενα επιβεβαιώνουν τους κλασικούς οδικούς προσδιορισμούς και τις διαστάσεις που επιβάλλει η νομοθεσία (μήκος 13.6m, ύψος 4m, πλάτος 2.5-2.6m) και επιπλέον είναι ενισχυμένα για να αντέχουν τις πιέσεις όταν ανασηκώνονται από τον δρόμο για να τοποθετηθούν στην σιδηροτροχιά και εναλλάξ. Για τον λόγο αυτό έχουν ενισχυμένο

σασί, τροποποιημένες αναρτήσεις, προστατευτική συσκευή έναντι ενσφηνώσεως με μεντεσέδες και ειδικές εσοχές από κάτω για να μπορούν να δεχτούν τους βραχίονες αγκίστρωσης του γερανού.

Εικόνα 2.22: Χειρισμοί ενισχυμένων “μεταφερόμενων με γερανό” ημι-ρυμουλκούμενων (Πηγή cream project).



#### 2.2.5.2 Κατακόρυφοι χειρισμοί με χρήση αρπάγης

Ο κατακόρυφος χειρισμός διαφόρων τύπων συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων που δουλεύει στην Ευρώπη, παρουσιάζει μια δυναμική πρόκληση για τους μηχανικούς και την βιομηχανία καθώς σχηματίζει μια πιθανώς μεγάλη αγορά. Ένας αριθμός από τεχνικές (βαγόني καλάθι, σύστημα ISU) εισηγείται την χρήση κατάλληλων “βραχιόνων” που μπορούν να διευκολύνουν τις λειτουργίες χειρισμών (BRAVO project, 2005).

##### **Βαγόني καλάθι (Basket wagon)**

Η έννοια του “Basket wagon” έχει αναπτυχθεί από την Ουγγρική σιδηροδρομική εταιρεία MAV και την Σλοβακική εταιρεία που κατασκευάζει βαγόνια Tatranogonca. Το καλάθι είναι μια πλατφόρμα με εσοχές για ανύψωση όπου τα ημι-ρυμουλκούμενα φορτώνονται και εκφορτώνονται ακολουθώντας τεχνική Ro-Ro (Roll on- Roll off). Το καλάθι φορτώνεται/εκφορτώνεται στο τρένο με την χρήση μηχανημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας ή γερανών. Το σύστημα απαιτεί τύπους πλατιών βαγονιών, ταιριαστά στην εξυπηρέτηση του πλάτους του καλαθιού (το οποίο είναι πιο πλατύ από τα ημι-ρυμουλκούμενα). Η χρήση μικρότερων αλλά πιο φαρδιών ελαστικών στα ημι-ρυμουλκούμενα μικραίνει ακόμα περισσότερο το κενό που υπάρχει για να κινηθεί το ημι-ρυμουλκούμενο μέσα στο καλάθι.



### Σύστημα ISU (ISU system)

Το σύστημα ISU (εικόνα 2.23) (“Innovativer Sattelanhänger Umschlag” = Innovative semi-trailer transshipment = Καινοτόμα μεταφόρτωση ημι-ρυμουλκούμενων) παρουσιάστηκε στο πλαίσιο της προβολής BRAVO (BRAVO project, 2008). Το σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να επιτρέπει την μεταφορά των υπάρχοντων συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων πιάνοντας τα από τους τροχούς, δηλαδή ασκώντας τους ίδια δύναμη όσο όταν “κάθονται” στην διάρκεια της μεταφοράς τους στον δρόμο. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν ειδικό τύπο βαγονιού, έναν αριθμό από στοιχεία τροχό-συσσκευαστές (wheel-racker), μια εγκάρσια δοκό και έναν βραχίονα με δυνατότητα μεταφόρτωσης (ένα βοηθητικό σκελετό που μπορεί να περάσει πάνω σε οποιονδήποτε ανυψωτήρα – μεταδότη (spreader) , ανυψωτικά σχοινιά συνδέονται με ένα διαπερνών δοκάρι και στοιχεία τροχό-συσσκευαστές). Τα στοιχεία wheel-racker βρίσκονται σε μια ειδική ράμπα ή στο έδαφος (ράμπες ISU). Τα ημι-ρυμουλκούμενα μετακινούνται μέσα στα στοιχεία υποδοχής τροχών και χαμηλώνονται στους τροχούς τζόκεϊ. Μετά την προσαρμογή των σχοινιών, η κατακόρυφη μεταφόρτωση γίνεται από τον γερανό μέσα σε ένα βαγόνι με εσοχή (rocket wagon) (εικόνα 2.24), εκεί τα σχοινιά λύνονται και η φόρτωση έχει ολοκληρωθεί. Τα στοιχεία τροχό-συσσκευαστές παραμένουν στο βαγόνι για να διευκολυνθεί η διαδικασία εκφόρτωσης στον προορισμό. Ένα πρωτότυπο είχε αναπτυχθεί στο Wien Nordwest Terminal (Βορειοδυτικός τερματικός σταθμός Βιέννης) στην Αυστρία το 2007. Η πειραματική/πρώτη δοκιμή του συστήματος στην πράξη είχε προγραμματιστεί για το τέλος του 2008, στην διαδρομή Αυστρία – Τουρκία σαν ένα μέρος από τις διεργασίες που πήραν μέρος στο European CREAM project (Customer – driven Rail-freight services on a European mega-corridor based on Advanced business and operating Models).

Εικόνα 2.23: Το σύστημα ISU για τον χειρισμό συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων (Πηγή cream project)



Εικόνα 2.24: Βαγόνια με εσοχή (rocket wagon) για εμπορευματοκιβώτια και ημι-ρυμουλκούμενα (Πηγή <http://www.atmwagons.co.uk/id3.html>)



### **Κινούμενοι αυτοκινητόδρομοι (Rolling Motorways)**

Ο κινούμενος αυτοκινητόδρομος ή “Rolling motorway” ή “Rollende Landstrasse” ή Ro-La είναι ένα σύστημα όπου ολόκληρα οδικά οχήματα οδηγούνται πάνω σε ειδικά φτιαγμένα σιδηροδρομικά βαγόνια για σιδηροδρομική διακίνηση. Το σύστημα πήρε αυτό το όνομα επειδή τα οχήματα μεταφέρονται απευθείας από τον αυτοκινητόδρομο στο σιδηροδρομικό βαγόνι στο ένα σημείο αλλαγής του ταξιδιού, και μετά ξανά στον αυτοκινητόδρομο στο άλλο σημείο αλλαγής μέσου, έτσι η σύνδεση με τον σιδηρόδρομο είναι σαν μια συνέχεια του ταξιδιού στον αυτοκινητόδρομο (Lowe, 2005). Σε κάποιες αλυσίδες συνδυασμένων μεταφορών, το σύστημα Ro-La μπορεί να συνδυαστεί ικανοποιητικά με θαλάσσιες Ro-Ro υπηρεσίες (Atilgan, 2005). Οι κινητοί αυτοκινητόδρομοι μπορούν να εξυπηρετήσουν όλων των ειδών τα οχήματα. Στην περίπτωση των συνοδευόμενων οχημάτων, οι οδηγοί ταξιδεύουν με το τρένο. Ο όρος “συνοδευόμενη μεταφορά” χρησιμοποιείται για αυτήν την τεχνική. Η φόρτωση/εκφόρτωση ασυνόδευτων συμβατικών ημι-ρυμουλκούμενων στην συνδυασμένη μεταφορά μπορεί να επιτευχθεί ωθώντας τα ημι-ρυμουλκούμενα προς τα πίσω από κάθε πλευρά του τρένου. Όπως και να έχει, η ανάπτυξη άλλων τεχνικών μεταφόρτωσης έχει κάνει αυτήν την μέθοδο ξεπερασμένη (BRAVO project, 2005).

#### **2.2.5.3 Οριζόντιοι χειρισμοί με χρήση περιστρεφόμενων ή παράλληλων ανυψωτικών μηχανισμών**

Εκτός από τους κινούμενους αυτοκινητόδρομους με τις τυπικές κατά μήκος φορτοεκφορτώσεις, ο οριζόντιος χειρισμός των ημι-ρυμουλκούμενων μπορεί να έχει εφαρμογή με άλλες τεχνολογικές λύσεις που κάνουν χρήση ειδικών σιδηροδρομικών βαγονιών (που περιστρέφουν/γέρνουν κλπ) με πλατφόρμες φόρτωσης (συστήματα Tiphook Rail, Modalohr, CargoSpeed, Flexiwagon) ή με παράλληλη ανύψωση των ημι-ρυμουλκούμενων (συστήματα CargoRoo και Cargo Beamer).

#### **Βαγόني Tiphook (Tiphook Wagon)**

Το βαγόني Tiphook (εικόνα 2.25) δίνει την δυνατότητα στα ημι-ρυμουλκούμενα που συμμορφώνονται με τα Ευρωπαϊκά βάρη και διαστάσεις να οδηγούνται πάνω σε ειδικά φτιαγμένα σιδηροδρομικά βαγόνια μέσω μιας πλατφόρμας φόρτωσης που μπορεί να ταλαντεύεται περί το κέντρο της. Η πλατφόρμα παίρνει θέση για φορτοεκφόρτωση και το ημι-ρυμουλκούμενο αντιστρέφεται πάνω στην πλατφόρμα μέσω ανεξάρτητων ραμπών φόρτωσης. Όταν το ημι-ρυμουλκούμενο περάσει στο βαγόني, η πλατφόρμα γέρνει πάλι προς την αρχική της θέση (Lowe, 2005). Το σύστημα δεν διαδόθηκε ποτέ ευρέως.

Εικόνα 2.25: Βαγόνι Tiphook (Πηγή <http://www.rmweb.co.uk>)

### Σύστημα Modalohr

Το σύστημα Modalohr (εικόνα 2.26) μπορεί να μεταφέρει φορτηγά και ημι-ρυμουλκούμενα με την χρήση ειδικά σχεδιασμένων βαγονιών που εξυπηρετούνται σε τύπους τερματικών που είναι αφιερωμένοι για αυτά. Το τρένο περιλαμβάνει ένα βαγόνι για τους οδηγούς που ταξιδεύουν μαζί με τα οχήματα τους. Ένα τρένο μήκους 700m, χωρίς τα βαγόνια για τους επιβάτες και την μηχανή, μπορεί να μεταφέρει 28 ολόκληρα φορτηγά ή 42 ημι-ρυμουλκούμενα. Το βαγόνι Modalohr είναι ένα χαμηλό αρθρωτό σιδηροδρομικό βαγόνι όπου τα φορτηγά ή τα ημι-ρυμουλκούμενα μπορούν να φορτωθούν οριζόντια και κατευθείαν, χρησιμοποιώντας μόνο τον βοηθητικό μηχανισμό στον δρόμο (εικόνα 2.27). Ο τερματικός μεταφορτώσεων αποτελείται από στρωτές περιοχές στις πλευρές της σιδηροδρομικής γραμμής (δεν υπάρχουν πλατφόρμες) (Lohr Groupe, 2008) με μηχανισμούς στο έδαφος (μια μονάδα για κάθε βαγόνι) που παραθέτονται κατά το μήκος της γραμμής μεταφορτώσεων. Ανάλογες τεχνικές (πχ φορτηγίδα Shworple - Shworple Barge) έχουν προταθεί για ποτάμιες μεταφορές (Ballis και Stathopoulos, 2002 και European Commission/DG-TREN, ITIP project).

Εικόνα 2.26: Το σύστημα Modalohr σε μακέτα (Πηγή <http://www.brickshelf.com/cgi-bin/gallery.cgi?i=2820636>)



Εικόνα 2.27: Το σύστημα Modalohr (Πηγή [www.modalohr.com](http://www.modalohr.com)).



### Σύστημα CargoSpeed

Το CargoSpeed είναι ένα σύστημα φτιαγμένο για ημι-ρυμουλκούμενα που δεν ανασηκώνονται. Απαιτεί ειδικούς τύπους βαγονιών που έχουν πλατφόρμα φόρτωσης που αναρτάται και υποστήριξη πείρου ζεύξης. Το σύστημα αποτελείται από έναν αριθμό αναρτώμενων μηχανισμών (εικόνα 2.28) που βρίσκονται κάτω από την γραμμή μεταφορτώσεων (ένας μηχανισμός για κάθε βαγόνι, που βρίσκεται στο μέσο του μήκους των σιδηροδρομικών βαγονιών). Το αφιχθέν τρένο των περίπου 30 βαγονιών τοποθετεί τα βαγόνια πάνω από του μηχανισμούς ανάρτησης (ανοχή +/- 35cm), όπου εκεί πάνω οι μηχανισμοί ανυψώνονται για να έρθουν σε επαφή με τις πλατφόρμες και να ακολουθήσει η ανύψωση της πλατφόρμας και μαζί και η έξοδος του ημι-ρυμουλκούμενου από το βαγόνι. Μπορεί να γίνει περιστροφή από το κέντρο του μηχανισμού, είτε 36 μοίρες αντί-ωρολογιακά ή 144 μοίρες ωρολογιακά, ανάλογα με την κατεύθυνση άφιξης του τρένου στον τερματικό και να ευθυγραμμιστεί το ημι-ρυμουλκούμενο με το φορτηγό που περιμένει (CargoSpeed Project, 2008). Οι λειτουργιές φόρτωσης έχουν ως εξής: πρώτον το φορτηγό αγκιστρώνεται (ο οδηγός βοηθείται από τους καθρέφτες) και εκφορτώνει το ημι-ρυμουλκούμενο στους τροχούς τζόκεϊ δίπλα στην άκρη της πλατφόρμας, δεύτερον το φορτηγό απαγκιστρώνεται και αποχωρεί και τρίτον ο μηχανισμός ανάρτησης σηκώνει, περιστρέφει και κατεβάζει την πλατφόρμα πάνω στο βαγόνι.

Εικόνα 2.28: Πειραματική επίδειξη του συστήματος CargoSpeed (Πηγή Possenger, 2007)



### Σύστημα CargoRoo

Το κάθε βαγόνι του συστήματος CargoRoo (εικόνα 2.29) είναι εφοδιασμένο με δυο μονάδες επί του αμαξοστοιχίας - onboard track-mounted units (lafettes) που κινούνται πάνω σε μια ειδικά σχεδιασμένη πλατφόρμα και παίρνουν θέση κάτω από το ημι-ρυμουλκούμενο, το σηκώνουν και το μεταφέρουν πάνω στο τρένο (ή ανάποδα). Η

ενέργεια δίνεται από την μηχανή ή από άλλη εξωτερική πηγή ενέργειας στην ράμπα φόρτωσης. Το σύστημα CargoRoο απαιτεί ειδικά σχεδιασμένους τερματικούς σταθμούς με πλατφόρμες ειδικά αφιερωμένες για ημι-ρυμουλκούμενα (με σημεία λαβών σε συγκεκριμένες θέσεις). Το σύστημα είναι ακόμα σε πειραματική φάση επίδειξης (BRAVO project, 2005).

### Σύστημα Flexiwaggon

Το σύστημα Flexiwaggon (εικόνα 2.30) έχει σχεδιαστεί για την μεταφορά φορτηγών, ημι-ρυμουλκούμενων, εμπορευματοκιβωτίων, κινητών αμαξωμάτων, λεωφορείων, επιβατικών οχημάτων κλπ. Ο απαραίτητος εξοπλισμός ενσωματώνεται στο βαγόνι: μια “κούνια”, στην οποία τοποθετούνται τα φορτία/οχήματα που μπορεί να ανοίξει και στις δυο μεριές και μπορεί να γυρίσει προς τα δεξιά ή τα αριστερά. Τα οχήματα δεν χρειάζεται να ανατραπούν, μπορούν να οδηγηθούν ευθεία όταν φορτώνονται ή όταν εκφορτώνονται. Η φόρτωση και η εκφόρτωση γίνεται ξεχωριστά σε κάθε βαγόνι από τους οδηγούς. Οι φορτοεκφορτώσεις δεν απαιτούν τίποτα παραπάνω από σκληρή επιφάνεια εδάφους για την κυκλοφορία των οχημάτων. Το Flexiwaggon έχει σκοπό να κινείται με ταχύτητα 140km/h για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με επιβατικά τρένα. Είναι ακόμα σε πειραματική φάση.

Εικόνα 2.29: Το σύστημα CargoRoο (Πηγή [www.cargoroo.de](http://www.cargoroo.de))



Εικόνα 2.30: Το σύστημα Flexiwaggon (Πηγή [www.flexiwaggon.se](http://www.flexiwaggon.se))

### Σύστημα Cargo Beamer

Η λειτουργικότητα της έννοιας Cargo Beamer βασίζεται στην παράλληλη ανάρτηση στην οποία απαιτείται μια ειδικά σχεδιασμένη πλαισιωτή κατασκευή: μια ειδική βάση μορφής ανεστραμμένου π με κατάλληλα διαμορφωμένες εσοχές στην στέψη ώστε να επιτυγχάνεται ο χειρισμός της (φόρτωση ή εκφόρτωση) από μηχανήματα με βραχίονες (grapple arms), για βαγόνια, που μπορεί να εξυπηρετήσει εμπορευματοκιβώτια, κινητά αμαξώματα και ημι-ρυμουλκούμενα, που μεταφέρεται οριζόντια ανάμεσα στην πλατφόρμα και στο βαγόνι με χρήση εξοπλισμού εδάφους (εικόνα 2.31). Το σύστημα απαιτεί νέες υποδομές στους τερματικούς βασισμένες σε ηλεκτρονικές κρατήσεις και ελέγχους. Το βάρος του βραχίονα (που μεταφέρεται μαζί με τις μονάδες φορτίου) παρουσιάζει ένα αδύναμο σημείο στο σύστημα. Το σύστημα είναι ήταν σε διερεύνηση (BRAVO project, 2005) και περνά σε πειραματική φάση.



Εικόνα 2.31: Το σύστημα Cargo Beamer (Πηγή <http://www.ipg-potsdam.de>)

#### 2.2.5.4 Συστήματα – Bimodal

Τα συστήματα Bimodal συνδυάζουν δυο τρόπους μεταφοράς για να ολοκληρωθεί μια μετακίνηση φορτίου. Όμως, ο όρος συχνά χρησιμοποιείται αναφορικά με συστήματα όπου ειδικά ενισχυμένα οδικά ημι-ρυμουλκούμενα μετατρέπονται, με κατευθείαν σύνδεση σε σιδηροδρομικά φορεία στον τερματικό, για κίνηση με σιδηρόδρομο (Lowe, 2005). Πρωτοποριακά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις ΗΠΑ. Παρόλα αυτά, η επιτυχία τους στην Ευρώπη είναι περιορισμένη. Δυο συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι το RoadRailer (εμφανίστηκε στις ΗΠΑ) και το Kombirail (εμφανίστηκε από μια κοινή επιχείρηση Γερμανικών και Γαλλικών εταιρειών). Άλλοι συνδυαστικοί τύποι έχουν προταθεί και συλληφθεί σαν ιδέες, καθένας με διαφορετικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να μην είναι σίγουρη η συμβατικότητα τους. Αυτό είναι ενάντια σε μια οικονομική δικαιολόγηση και δυσχεραίνει τις πιθανές καίριες στρατηγικές επιλογές για την χρησιμοποίηση αυτών των μεθόδων (Hastings, 1992).

## 2.3 ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

### 2.3.1 Γενικά στοιχεία τερματικών σταθμών

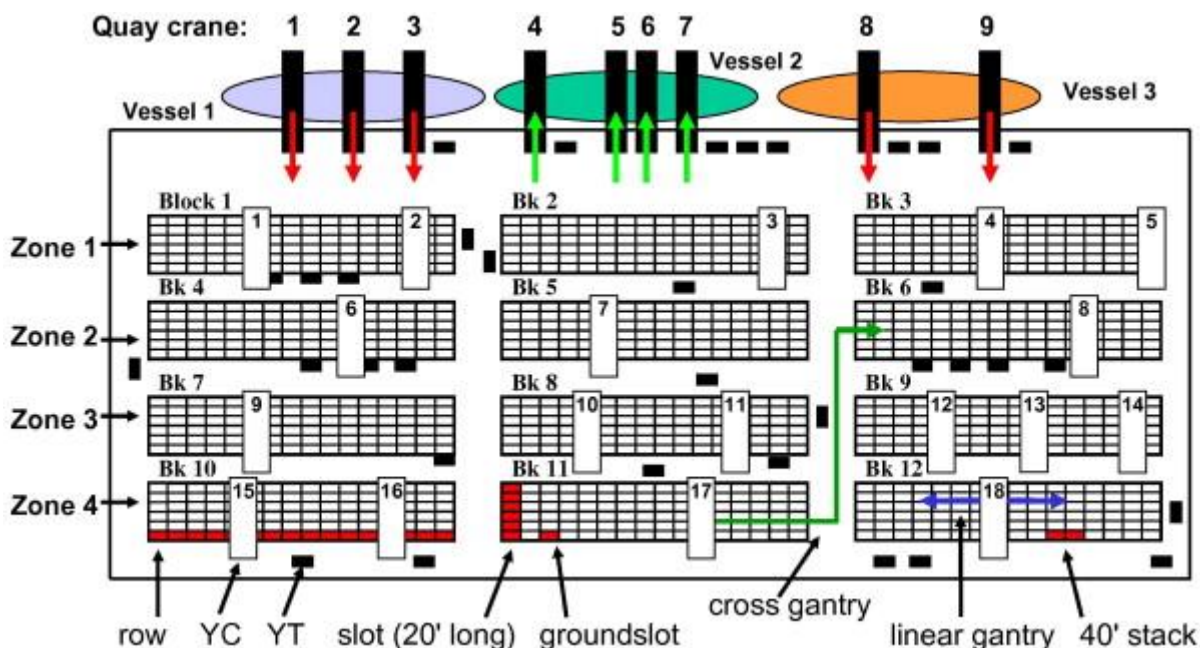
Τα περισσότερα αγαθά που μεταφέρονται καθημερινά στον κόσμο μεταφέρονται μέσω τερματικών σταθμών συνδυασμένων μεταφορών. Τα αγαθά φτάνουν ή φεύγουν με ποικίλους μεταφορικούς τρόπους όπως φορτηγά, τρένα και πλοία. Ένας τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων παίζει ουσιαστικό ρόλο στις διαδρομές αγαθών, από τις αφετηρίες μέχρι τα τέρματα των διαδρομών. Είναι ένας βασικός κόμβος στο δίκτυο μεταφορών, όπου παίρνονται καθημερινά χιλιάδες αποφάσεις για την διαχείριση των συνεχών κινήσεων των εμπορευματοκιβωτίων.

Θαλάσσιος τερματικός σταθμός (maritime container terminal) είναι ο σταθμός όπου οι μεταφορτώσεις γίνονται μεταξύ πλοίων ε/κ και οχημάτων ξηράς (όπως τρένα, φορτηγά) ενώ στην περίπτωση που οι μεταφορτώσεις γίνονται μεταξύ οχημάτων ξηράς, ο σταθμός ονομάζεται τερματικός σταθμός ενδοχώρας (inland container terminal).

Οι θαλάσσιοι τερματικοί σταθμοί τείνουν να είναι μέρη ενός λιμανιού και οι μεγαλύτεροι θαλάσσιοι τερματικοί σταθμοί βρίσκονται συνήθως παράπλευρα μεγάλων και σημαντικών λιμανιών. Οι τερματικοί σταθμοί ενδοχώρας τείνουν να βρίσκονται εντός ή κοντά σε μεγάλες πόλεις, με καλές σιδηροδρομικές διασυνδέσεις με θαλάσσιους τερματικούς σταθμούς.

Οι τερματικοί σταθμοί συνήθως παρέχουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης για κενά και έμφορτα εμπορευματοκιβώτια (εικόνα 2.32). Τα έμφορτα ε/κ αποθηκεύονται για σχετικά μικρές χρονικές περιόδους, καθώς αναμένουν την επόμενη μεταφορά τους, ενώ τα κενά ε/κ μπορεί να αποθηκεύονται για μεγαλύτερα διαστήματα αναμένοντας την επόμενη χρησιμοποίησή τους. Κατά την αποθήκευση τους τα ε/κ στοιβάζονται καθ' ύψος και σε συστοιχίες σε σειρές κλπ, αναλόγως τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την μεταφορά τους (Gambardella, Rizzoli and Zafalon, 1998).

Εικόνα 2.32: Σχέδιο τερματικού σταθμού μεταφόρτωσης ε/κ (Πηγή Petering, 2011).



Στους περισσότερους τερματικούς σταθμούς χρησιμοποιείται μηχανολογικός εξοπλισμός που τον διαχειρίζεται ανθρώπινο δυναμικό, όπως οχήματα πλαίσια, γερανογέφυρες κλπ. Όμως σε μερικούς τερματικούς σταθμούς (πχ όπως σε κάποιους στο Ρότερνταμ), χρησιμοποιείται αυτόματος μηχανολογικός εξοπλισμός. Σε αυτούς τους τερματικούς χρησιμοποιούνται αυτόματα οδηγούμενα οχήματα (AGVs) για την μεταφορά των μοναδοποιημένων φορτίων και αυτόματες γέφυρες στοιβασίας (ASCs) για τις διαδικασίες στοιβασίας (Vis and Koster, 2002).

Σύμφωνα με την εργασία Logistics του πανεπιστημίου Πειραιώς (η τεχνική της διαχείρισης και του έλεγχου των παγκόσμιων εφοδιαστικών αλυσίδων, που συνδυάζει την μεταφορά, την αποθήκευση, τη διαχείριση της διανομής και τα πληροφοριακά συστήματα ονομάζεται logistics) ([www.tex.unipi.gr](http://www.tex.unipi.gr) – πανεπιστήμιο Πειραιώς) οι τερματικοί σταθμοί είναι εγκαταστάσεις φόρτωσης, εκφόρτωσης, ταξινόμησης και αποθήκευσης των αγαθών με σκοπό τη μέγιστη εκμετάλλευση των μεταφορικών μέσων. Κύριος σκοπός είναι η ταξινόμηση των διαφορετικών αποστολών, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή συγκέντρωση και ροή των αγαθών μέσω:

- Φυσικής ταξινόμησης, η οποία αφορά τη συγκέντρωση των αποστολών.
- Χρονικού συντονισμού μεταξύ των αφικνούμενων και αναχωρούντων μεταφορικών μέσων.

Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, ο ρόλος των τερματικών σταθμών μπορεί να είναι επίσης ο συντονισμός της παραγωγής και της κατανάλωσης, καθώς και η παροχή

βοήθειας στην παραγωγική διαδικασία ή στο marketing της επιχείρησης. Ο τερματικός σταθμός δεν αποτελεί σκοπό μιας διαδρομής, αλλά αντίθετα η ύπαρξή του αποσκοπεί στη βελτίωση του κόστους μεταφοράς εμπορευμάτων που μπορεί να προκαλέσει. Η ανάγκη ενός τερματικού σταθμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση των προϊόντων, το μέγεθος του μεταφερόμενου όγκου και τη γεωγραφική κατανομή τους.

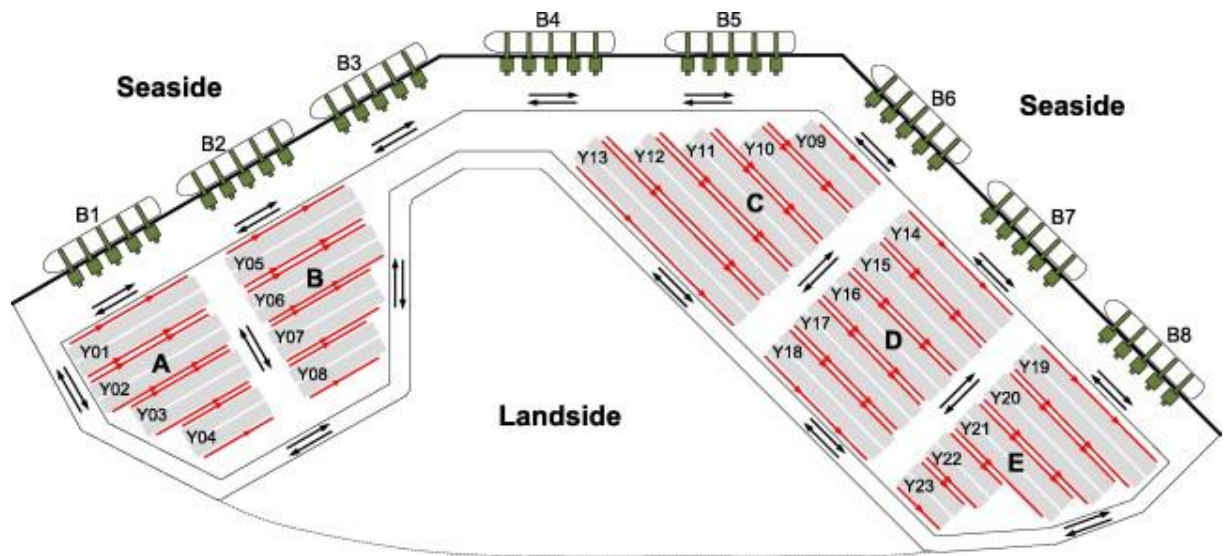
Τύποι τερματικών σταθμών ([www.tex.unipi.gr](http://www.tex.unipi.gr) – πανεπιστήμιο Πειραιώς):

- Σύστημα ενός ανεξάρτητου κεντρικού τερματικού σταθμού. Το πλείστο των προϊόντων συλλέγεται απευθείας στο σταθμό, ταξινομείται και διανέμεται σε διαφορετικές διαδρομές και ζώνες. Ο τύπος αυτός των τερματικών σταθμών δεν συνηθίζεται, παρότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει τάση για την ανάπτυξη των “super hubs”, ενός δηλαδή γιγαντιαίου τερματικού σταθμού από αρκετές εταιρίες, ιδιαίτερα στον τομέα της μεταφοράς μικρών δεμάτων.
- Μονοεπίπεδο σύστημα πολλών τερματικών σταθμών. Είναι το πιο κοινό σε όλη την Ευρώπη. Σε αυτό υπάρχει ένας αριθμός ισοδύναμων τερματικών σταθμών. Η συνολική περιοχή του συστήματος μεταφοράς χωρίζεται σε ζώνες που αποτελούν την περιοχή συλλογής/διανομής κάθε τερματικού σταθμού. Οι περισσότερες μετακινήσεις προϊόντων γίνονται μεταξύ δύο εμπορευματικών σταθμών.
- Ιεραρχημένο σύστημα πολλών τερματικών σταθμών. Υπάρχουν δύο ή περισσότερα επίπεδα εξυπηρέτησης. Καθένας από τους τερματικούς σταθμούς συνδέεται με έναν αριθμό σταθμών διανομής (δορυφόρους), όπου διεξάγεται η τοπική συλλογή/διανομή προϊόντων. Έτσι, τα τοπικά προϊόντα συλλέγονται στον τερματικό σταθμό διανομής ταξινόμησης και μεταφέρονται μέσω διαφόρων διαδρομών σε ένα ή περισσότερους σταθμούς μεταφόρτωσης, όπου επαναταξινομούνται και στέλλονται στον τελικό εμπορευματικό σταθμό διανομής από όπου παραδίνονται (διανέμονται) στους πελάτες.

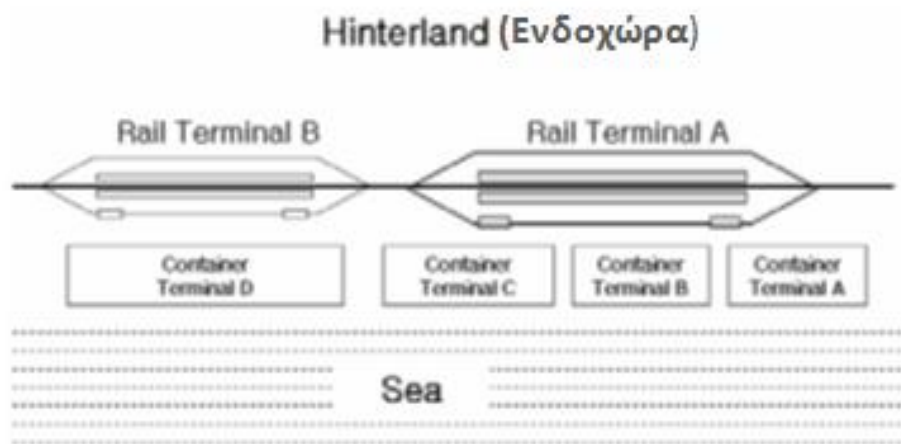
### 2.3.2 Κατηγορίες τερματικών σταθμών

Γενικά λόγω των διαφορετικών σχεδιασμών, λειτουργιών και θέσεων στο δίκτυο, υπάρχουν διάφορες ονομασίες που χρησιμοποιούνται για τους τερματικούς σταθμούς (ε/κ ή άλλων φορτίων). Μπορούν να χωριστούν σε τρεις τύπους σταθμών ανάλογα με την τοποθεσία τους και τον απαιτούμενο εξοπλισμό σύμφωνα με τους Noteboom and Rodrigue, (2009) : Λιμενικοί τερματικοί σταθμοί (port terminals) (εικόνα 2.33), σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί (rail terminals) (εικόνα 2.34) και κέντρα διανομής (distribution centers).

Εικόνα 2.33: Σχέδιο του λιμενικού τερματικού σταθμού Vrani στην Σιγκαπούρη (Πηγή Lee and Jin, 2013).



Εικόνα 2.34: Σχέδιο λιμενικών και σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών ε/κ (Πηγή Lee et al., 2006).



Ένας θαλάσσιος σταθμός ε/κ παρέχει μια διεπαφή ανάμεσα στα θαλάσσια και στα χερσαία κυκλοφοριακά συστήματα. Η μοναδοποίηση στα χερσαία ποτάμια συστήματα οδήγησε στην ανάπτυξη των τερματικών σταθμών φορτηγίδων (barge terminals) που συνδέονται με τους μεγαλύτερους σταθμούς πλοίων (deep sea terminals). Σε έναν λιμενικό τερματικό σταθμό οι φορτηγίδες μπορούν να χρησιμοποιούν τις θέσεις παραβολής των ποντοπόρων πλοίων ή να έχουν τις δικές τους εγκαταστάσεις αν υπάρχει θέμα κυκλοφοριακής συμφόρησης (Noteboom and Rodrigue, 2009).

Επίσης, οι Raichao and Marlow (2003) ορίζουν τους λιμένες ως περιοχές που διαθέτουν υποδομές και ανωδομές ικανές να υποδεχτούν πλοία καθώς και άλλα μεταφορικά μέσα, να διαχειριστούν τα φορτία τους από και προς την ακτή και να παρέχουν υπηρεσίες logistics που θα προσθέτουν αξία στο προϊόν.

Οι λειτουργίες ενός πλοίου συνήθως ξεκινάνε με την άφιξη του στην περιοχή του λιμανιού. Ανάλογα με την συμφόρηση που επικρατεί εκεί, το πλοίο μπορεί να χρειαστεί να περιμένει στην περιοχή αγκυροβολίου. Εκεί ξεκινά και η εξυπηρέτηση του. Ανάλογα με το ποσοστό συμφόρησης ή με τους κανόνες προτεραιότητας των αφιχθέντων πλοίων, μπορεί να υπάρξουν καθυστερήσεις. Μετά που θα παραβάλλει, τα ε/κ φορτοεκφορτώνονται από/στο πλοίο. Τέλος, όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί, το πλοίο φεύγει από το λιμάνι (Dragoni et al., 2006).

Στην αρχή της χερσαίας συνδυασμένης αλυσίδας οι σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί είναι συνδεδεμένοι με τους λιμενικούς. Η διαφορά ανάμεσα σε έναν σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό στην αποβάθρα (on – dock) και σε έναν κοντά στην αποβάθρα (near – dock) δεν είναι η απόσταση αλλά η εκχώρηση περιοχών του λιμένα. Σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό μέσα στο λιμάνι τα εμπορεύματα μπορούν να μεταφερθούν απευθείας από τις αποβάθρες (ή από τους χώρους αποθήκευσης) σε ένα βαγόνι χρησιμοποιώντας τον υπάρχοντα εξοπλισμό, ενώ σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό κοντά στο λιμάνι απαιτείται έξοδος από την πύλη του λιμανιού (με πιθανές καθυστερήσεις), χρησιμοποίηση του οδικού δικτύου (πιθανή κυκλοφοριακή συμφόρηση) και είσοδος στην πύλη του σιδηροδρομικού σταθμού (επιπλέον καθυστερήσεις). Όμως οι κοντά στην αποβάθρα σιδηροδρομικοί σταθμοί τείνουν να έχουν περισσότερο διαθέσιμο χώρο και αυτό μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στο θαλάσσια / σιδηροδρομική διεπαφή ειδικά αν συνδυάζονται με δραστηριότητες φόρτωσης / εκφόρτωσης. Το δορυφορικό τερματικό (satellite terminal), το κέντρο φορτίων (load center) και το διασιδηροδρομικό (rail to rail) τερματικό (transmodal terminal), είναι όλα κατάλληλα σαν μορφές εσωτερικού λιμένα. Όσον αφορά το δορυφορικό τερματικό, είναι ουσιαστικά μια περιφερειακή, λιγότερο συμφορημένη, εγκατάσταση, που συχνά εκτελούνται δραστηριότητες που είναι πολύ ακριβές ή καταναλώνουν πολύ χώρο σε ένα θαλάσσιο τερματικό σταθμό. Σιδηροδρομικοί δορυφορικοί σταθμοί μπορούν να συνδεθούν με θαλάσσιους τερματικούς μέσω σιδηροδρόμου ή μέσω φορτηγών. Ένα κέντρο φορτίων είναι ουσιαστικά ένας συνδυαστικός σιδηροδρομικός τερματικός σταθμός που εξυπηρετεί μια περιφερειακή αγορά. Αν συνδυαστεί με μια ποικιλία από δραστηριότητες εφοδιασμού, όπως κέντρα διανομής εμπορευμάτων, μπορεί να πάρει την μορφή ενός συμπλέγματος διανομής εμπορευμάτων. Η νέα τάση που υπάρχει για σιδηροδρομικές μεταφορές ε/κ σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στην ενδοχώρα απαιτεί εργασίες μεταξύ σιδηροδρομικών σταθμών, αφού το εμπόρευμα μεταφέρεται από το ένα σιδηροδρομικό δίκτυο σε άλλο. Αυτό μπορεί να γίνει με αλλαγή μεταφορέων ή με

μεταφορά με φορτηγά από τον έναν τερματικό στον άλλο (Noteboom and Rodrigue, 2009).

Επίσης σύμφωνα με τους Adamko and Klima (2008) μπορούμε να ορίσουμε έναν σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό ως ένα σταθμό μεταφορών με κυρίαρχη σιδηροδρομική υποδομή και αντιστοιχών υπηρεσιών. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει μια συμπλήρωση από υποδομή και πόρους που ανήκουν σε διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς ή εξοπλισμό χειρισμών (πχ δρόμοι, γερανοί κλπ).

Τέλος, τα κέντρα διανομής αντιπροσωπεύουν μια διακριτή κατηγορία συνδυασμένων τερματικών σταθμών (intermodal terminals) που εκτελούν μια σειρά από χρήσιμες λειτουργίες στα εμπορεύματα, με τις περισσότερες εργασίες να πραγματοποιούνται με φορτηγά. Στα κέντρα διανομής πραγματοποιούνται τρεις σημαντικές λειτουργίες. Σε μια εγκατάσταση φορτοεκφορτώσεων (transloading facility), κυρίως μεταφέρονται τα περιεχόμενα των θαλάσσιων ε/κ σε εγχώρια ε/κ ή σε φορτηγά (και αντίστροφα). Είναι συνηθισμένο στην Βόρεια Αμερική να μεταφέρονται τρία ε/κ των 40 ποδιών (40ft containers) σε δυο εγχώρια ε/κ των 53 ποδιών. Μερικές φορές τα εμπορεύματα τοποθετούνται σε παλέτες αφού πολλά ε/κ φορτώνονται οριζόντια στο ύψος του πατώματος. Ο σταυρωτός ελλιμενισμός (cross-docking) είναι μια άλλη πολύ σημαντική λειτουργία που συνήθως πραγματοποιείται στο τελευταίο τμήμα της λιανικής αλυσίδας εφοδιασμού. Με πολύ περιορισμένη αποθήκευση, τα περιεχόμενα των εισερχόμενων φορτίων ταξινομούνται και φορτώνονται για τους τελικούς προορισμούς τους. Η αποθήκευση – αποταμίευση (warehousing) είναι μια τυπική λειτουργία που ακόμα πραγματοποιείται στα περισσότερα κέντρα διανομής που ενεργεί σαν ενοποίηση ή αποσύνθεση μεταξύ των αλυσίδων εφοδιασμού (Noteboom and Rodrigue, 2009).

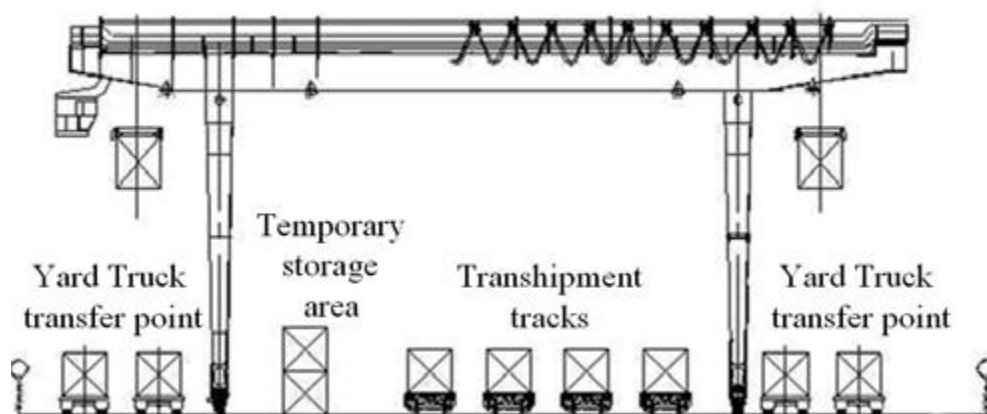
Οι παραπάνω κατηγορίες μπορούν να συνδυαστούν σε έναν πολυτροπικό τερματικό σταθμό, όπου η διαδικασία έχει ως εξής: Το πλοίο παραβάλλει και τα εισαγόμενα ε/κ εκφορτώνονται στον χώρο προσωρινής εναπόθεσης, μετά μεταφέρονται στους χώρους αποθήκευσης, στις τερματικές περιοχές φορτηγών ή στα τερματικά οδικά δίκτυα. Από τις περιοχές των φορτηγών τα ε/κ μεταφέρονται στους σιδηροδρομικούς τερματικούς και από εκεί ή κατευθείαν με φορτηγά μεταφέρονται στην ενδοχώρα. Όσον αφορά τα εξαγόμενα ε/κ η διαδικασία αντιστρέφεται: Τα ε/κ που εκφορτώνονται από τα φορτηγά ή τα τρένα με τον κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό (οχήματα πλαίσια, περονοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα, μηχανήματα εμπρόσθιας στοιβασίας κλπ), μεταφέρονται στους χώρους αποθήκευσης. Σε αυτές τις εργασίες οι λειτουργίες των μηχανημάτων, των φορτηγών και των τρένων πρέπει να συγχρονίζονται (Kozan, 2003).

### 2.3.3 Σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί

#### 2.3.3.1 Γενικά στοιχεία σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών

Οι σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί (εικόνα 2.35) είναι πολύ σημαντικές εγκαταστάσεις στο δίκτυο μεταφορών ε/κ, που παρέχουν την ανταλλαγή των ε/κ μεταξύ οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου. Η αποδοτικότητα των μεταφορών μεταξύ των κόμβων μπορεί να έχει σημαντική επιρροή στην καθυστέρηση και στην εξυπηρέτηση των τρένων. Η σταθερή απόδοση του συστήματος πρέπει να αναλύεται σαν μια λειτουργία της άφιξης και της αναχώρησης των εισαγόμενων και εξαγόμενων ε/κ. Η απόδοση του τερματικού σταθμού μπορεί να μετρηθεί σε όρους εργασιακής παραγωγικότητας, χρόνους κύκλου παραλαβής/παράδοσης, χρήσης του εξοπλισμού, χρόνους εξυπηρέτησης τρένων, χρόνους παραμονής ε/κ. Το επίτευγμα του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών κυρίως βασίζεται στην διάρκεια του χρόνου παραμονής. Επιπλέον, ο χρόνος παραμονής επηρεάζει τον χρόνο στάσης και τον μη παραγωγικό χρόνο των τρένων μέσα στον τερματικό και οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής μπορεί να επιφέρουν συμφόρηση στον τερματικό σταθμό (Kozan, 2006).

Εικόνα 2.35: Διατομή σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού (Πηγή Lee et al., 2006).



Γενικά οι σιδηροδρομικοί σταθμοί, ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρουν, χωρίζονται σε (Διπλωματική Γκαιτατζή Ξ., 2009) :

- Επιβατικούς σταθμούς (επιβάτες, αποσκευές και δέματα)
- Εμπορικούς σταθμούς (φορτοεκφόρτωση φορτίων). Διακρίνονται σε: παρακαμπτήριες γραμμές, τοπικούς σιδηροδρομικούς σταθμούς, κομβικούς σταθμούς και σταθμούς διαλογής
- Σταθμούς συνδυασμένων μεταφορών (μεταφόρτωση ομαδοποιημένων φορτίων από τον σιδηρόδρομο σε άλλα μέσα)
- Σταθμούς εξυπηρέτησης της εκμετάλλευσης (εκτέλεση διασταυρώσεων, υπερβάσεων, ελιγμών)
- Συνδυασμούς των παραπάνω



### 2.3.3.2 Σιδηροδρομικοί σταθμοί διαλογής

Οι σταθμοί διαλογής (εικόνα 2.36) είναι μια ειδική περίπτωση εμπορικών σταθμών, εξειδικευμένοι για την εκτέλεση ελιγμών σχηματισμού/ αποσχηματισμού συρμών. Έτσι λοιπόν, οι συρμοί που φτάνουν στους σταθμούς διαλογής ανασυναρμολογούνται έτσι ώστε να εξυπηρετούν τις ανάγκες όλων των υπολοίπων σταθμών (μικρών και μεγάλων), δηλαδή φορτώνονται οι συρμοί ανάλογα με τους προορισμούς τους.

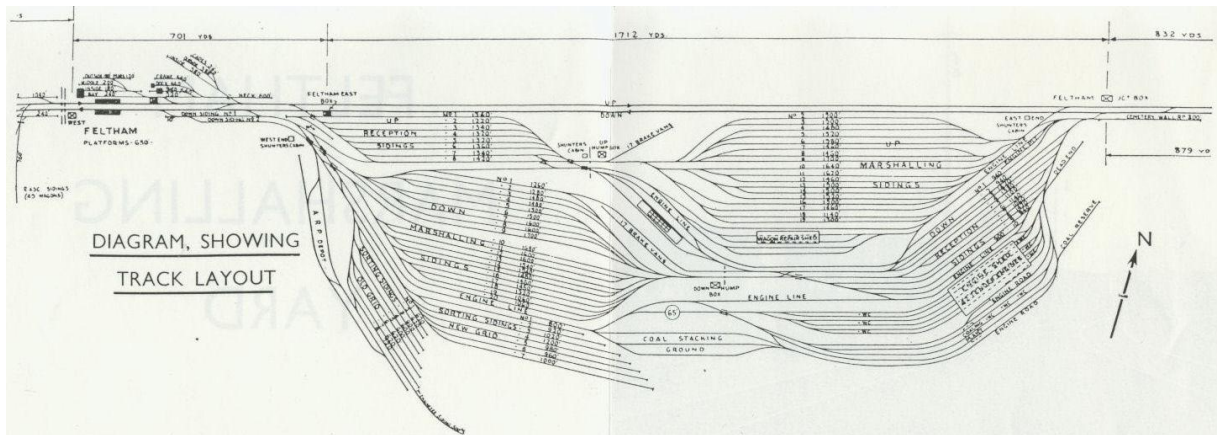
Εικόνα 2.36: Σταθμός διαλογής (Πηγή <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/>)



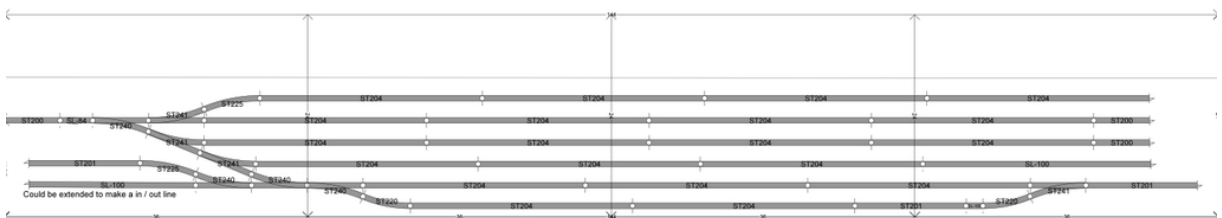
Γενικά όταν το επιτρέπει ο χώρος, ένας σταθμός διαλογής (εικόνες 2.37,2.38) οργανώνεται με την κατά μήκος παράθεση τριών ομάδων γραμμών (εκτός από τις γραμμές στάσης ή αναμονής) (Διπλωματική Γκραιτατζή Ξ. , 2009) :

- Τις γραμμές άφιξης, όπου φτάνουν οι συρμοί και ελέγχονται τα οχήματα τους
- Τις γραμμές διαλογής, όπου τα οχήματα ταξινομούνται σε ομάδες ανάλογα με τον προορισμό τους
- Τις γραμμές αναχώρησης, όπου συναρμολογούνται οι νέοι συρμοί και ελέγχονται πριν αναχωρήσουν (μπορεί να μην είναι αναγκαίες όταν οι διαδικασίες που λαμβάνουν μέρος γίνονται στις γραμμές διαλογής)

Εικόνα 2.37: Γραμμολογία σταθμού διαλογής (Πηγή <http://3.bp.blogspot.com/>)



Εικόνα 2.38: Γραμμές διαλογής (Πηγή <http://library.tee.gr/>)



Καταρχήν οι σταθμοί διαλογής χωρίζονται σε δυο τύπους : τους αυτοματοποιημένους και τους συμβατικούς σταθμούς διαλογής.

Γενικά υπάρχουν σύγχρονα, πλήρως αυτοματοποιημένα συστήματα που βασίζονται στην εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Τα συστήματα αυτά αυξάνουν σε πολύ σημαντικό βαθμό την αποδοτικότητα ενός σταθμού διαλογής και είναι απαραίτητα όταν πρέπει να διαχειριστούν πολλά βαγόνια (Zarecky et al., 2008).

Στους συμβατικούς σταθμούς διαλογής διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες (Samuel, 1961) :

- Επίπεδοι τερματικοί

Σε αυτή την κατηγορία σταθμών οι γραμμές διαλογής τερματίζουν στο ένα άκρο. Τα βαγόνια κινούνται από την κορυφή της δέσμης των γραμμών στην κατάλληλη γραμμή διαλογής, με αλλαγή τροχιάς, ανάλογα με τον προορισμό των προπορευόμενων βαγονιών. Αφού αυτά τα βαγόνια αποσπαστούν από τον συρμό, η μηχανή ελιγμών κινείται αντίθετα έλκοντας τα εναπομείναντα βαγόνια στην περιοχή αλλαγής τροχιάς. Οι αλλαγές τοποθετούνται κατάλληλα και η μηχανή ωθεί τα επόμενα βαγόνια στην γραμμή διαλογής που έχει οριστεί για τον προορισμό τους. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου όλα τα βαγόνια να έχουν εισέρθει στις καθορισμένες γραμμές διαλογής. Το κυριότερο μειονέκτημα των επίπεδων τερματικών σταθμών είναι η συχνή αντιστροφή πορείας που απαιτείται από την μηχανή ελιγμών, κάτι που περιορίζει τον αριθμό των βαγονιών που μπορούν να διαχειρισθούν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

- Επίπεδοι ενδιάμεσοι (εισόδου – εξόδου)

Και σε αυτή την κατηγορία το κυριότερο πρόβλημα είναι η συχνή αντιστροφή πορείας της μηχανής με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού διαλογής. Όμως οι γραμμές διαλογής δεν τερματίζουν στο ένα άκρο όπως στην προηγούμενη περίπτωση, οπότε οι συρμοί αποχωρούν από την απέναντι πλευρά χωρίς να παρεμβάλλονται στην διαδικασία διαλογής. Τα βαγόνια αποχωρούν από την κάθε γραμμή διαλογής με την σειρά που εισήλθαν σε αυτή.

- Σταθμοί με ύβωση

Στον σταθμό με ύβωση (εικόνα 2.39) δεν είναι αναγκαία η αντιστροφή πορείας των μηχανών ελιγμών και μπορούν να διαχειρίζονται έως και τέσσερις φορές περισσότερα βαγόνια από έναν επίπεδο σταθμό. Οι γραμμές άφιξης και διαλογής είναι διαδοχικές. Όταν η μηχανή αποσυνδεθεί, τα βαγόνια αφού αποζευχθούν στην περιοχή της ύβωσης κυλούν αργά προς το άκρο των γραμμών διαλογής και σταματούν μπροστά από άλλα βαγόνια που έχουν ήδη προπορευτεί. Η κατά μήκος τομή των γραμμών διαλογής πρέπει να είναι κοίλη, έτσι ώστε το κάθε βαγόνι να επιβραδύνεται σταθερά καθώς

πλησιάζει την έξοδο. Απόξευση βαγονιών γίνεται όταν προορίζονται για διαφορετικές γραμμές διαλογής.

Εικόνα 2.39: Εγκαταστάσεις ύβωσης (Πηγή <http://library.tee.gr/>)



- Σταθμοί που λειτουργούν με την βοήθεια της βαρύτητας

Σε αυτούς τους σταθμούς, η αρνητική κατά μήκος κλίση συνήθως επεκτείνεται και στις γραμμές άφιξης. Πριν αποσυνδεθεί η μηχανή στις γραμμές άφιξης, ένας επαρκής αριθμός προπορευόμενων βαγονιών φρενάρει για να εμποδιστεί η κίνηση της αμαξοστοιχίας μέχρι να ολοκληρωθούν οι προκαταρκτικές διαδικασίες. Τα βαγόνια που βρίσκονται στο τέλος πλησιάζουν και ακουμπούν στα στάσιμα βαγόνια, για την διευκόλυνση της αποσύνδεσης των υποσυνόλων. Όταν αρχίσει η διαλογή, ασφαρίζεται η πέδη των προπορευόμενων βαγονιών και ο συρμός αρχίζει να κυλά λόγω βαρύτητας. Η κλίση μεγαλώνει και γίνεται πιο απότομη στο τμήμα αλλαγής τροχιάς, έτσι ώστε το διάστημα μεταξύ των υποσυνόλων να επιτρέπει την αλλαγή των βελόνων. Όπως και στους σταθμούς με ύβωση, στις γραμμές διαλογής η κλίση εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό. Το μεγάλο πλεονέκτημα των σταθμών βαρύτητας είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς να χρησιμοποιούνται μηχανές ελιγμών. Για τον λόγο αυτό κατασκευάζονται σε τοποθεσίες όπου η ιδιομορφία του εδάφους είναι τέτοια ώστε να μειώνει το κόστος των χωματουργικών εργασιών, αλλιώς τα κατασκευαστικά έξοδα είναι πολύ μεγάλα.

### 2.3.3.3 Σιδηροδρομικοί σταθμοί μεταφόρτωσης

Μεταφόρτωση είναι η μεταφορά αγαθών από ένα μεταφορικό μέσο σε ένα άλλο (πχ από τρένο σε φορτηγό). Γίνεται μεταφόρτωση αγαθών από ένα μέσο σε ένα άλλο όταν το ένα μέσο δεν μπορεί να μεταφέρει το αγαθό σε ολόκληρο το ταξίδι (πχ μεταφέρεται ξανά με σιδηρόδρομο στην Αμερική και στην συνέχεια μεταφορτώνεται σε πλοίο για να περάσει τον Ατλαντικό και ξανά μεταφορτώνεται σε σιδηρόδρομο στην Ευρώπη). Υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις υπό τις οποίες τα αγαθά χρειάζονται μεταφόρτωση όπως όταν οι πελάτες δεν μπορούν να παραλάβουν τα αγαθά με δικό τους τρόπο και τα αγαθά πρέπει να φτάσουν σε αυτούς με φορτηγό σε μια μεταφορά από πόρτα σε πόρτα “door to door”. Γενικά τα αγαθά μεταφορτώνονται σε τερματικούς σταθμούς (εικόνες 2.40,2.41), λιμάνια, αποθήκες και διάφορες εγκαταστάσεις σχεδιασμένες για μεταφορτώσεις. Οι λόγοι που γίνονται οι μεταφορτώσεις είναι για την εξοικονόμηση χρημάτων, για μεγαλύτερη ευελιξία και για την βελτίωση της αξιοπιστίας ([www.upds.com/customers/attachments/transload/transload\\_works.pdf](http://www.upds.com/customers/attachments/transload/transload_works.pdf)).

Εικόνα 2.40: Ο σιδηροδρομικός τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης Vallarpadam εντός του λιμένα Karmakerala (Πηγή <http://www.karmakerala.com/news/wp-content/uploads/2011/02/vallarpadam.gif>).

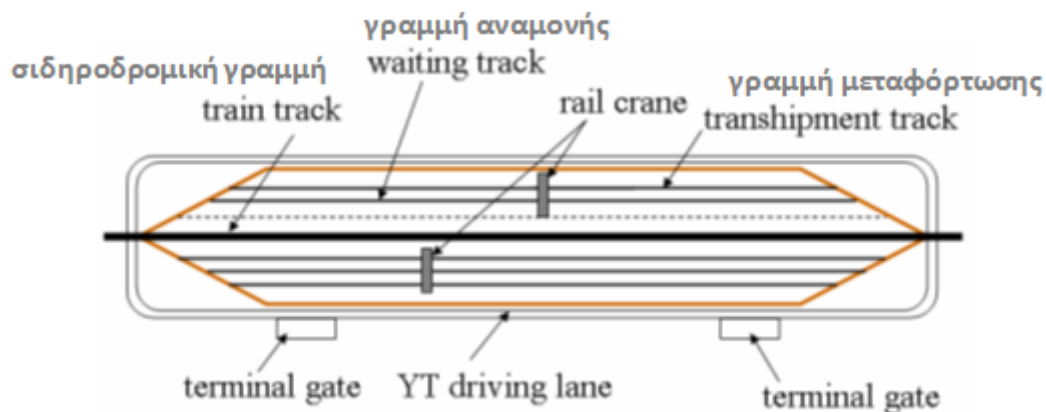


Εικόνα 2.41: Σιδηροδρομικός τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης στην Κόστα Ρίκα (Πηγή [http://www.halcrow.com/PageFiles/4303/Atlantic\\_mega\\_transshipment\\_1.jpg](http://www.halcrow.com/PageFiles/4303/Atlantic_mega_transshipment_1.jpg)).



Σε έναν τερματικό σταθμό υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανολογικού εξοπλισμού (γερανογέφυρες, οχήματα πλαίσια, οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας κλπ) που χρησιμοποιούνται για την μεταφόρτωση μοναδοποιημένων φορτίων από πλοία σε τρένο και από εκεί σε φορτηγά ή το ανάποδο. Τα μοναδοποιημένα φορτία μπορεί να μεταφερθούν απευθείας από το ένα μέσο στο άλλο ή να παραμείνουν σε περιοχή αποθήκευσης για κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να μεταφερθούν στο επόμενο μέσο. Για να είναι αποτελεσματικός ο τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης πρέπει πάνω από όλα να υπάρχει πρώτα το κατάλληλο σχέδιο (εικόνα 2.42) και η σωστή επιλογή του εξοπλισμού που θα χρειαστεί. Επιπλέον, πρέπει να αναπτυχτεί ο σχεδιασμός και οι τρόποι ελέγχου των διαφόρων τύπων εξοπλισμών χειρισμού, έτσι ώστε να αποδίδουν επαρκώς (Vis and Koster, 2002).

Εικόνα 2.42: Σχέδιο σιδηροδρομικού σταθμού μεταφόρτωσης (Πηγή Lee et al., 2006).



Σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό μεταφόρτωσης περιλαμβάνονται τα παρακάτω στοιχεία (Ballis and Golias, 2002):

- Σιδηροδρομικές γραμμές παρακαμπτήριες για την αποθήκευση, την διαλογή και τον έλεγχο των τρένων/βαγονιών
- Γραμμές μεταφόρτωσης για τις λειτουργίες φόρτωσης/εκφόρτωσης του τρένου
- Λωρίδες αποθήκευσης ή ρυθμιστικές λωρίδες για μοναδοποιημένα φορτία (ITUs – Intermodal terminal units)
- Λωρίδες φόρτωσης και οδήγησης για τα φορτηγά
- Πύλες και εσωτερικό οδικό δίκτυο

Στην απλούστερη μορφή των λειτουργιών, το τρένο φτάνει στην γραμμή μεταφόρτωσης, εξυπηρετείται (με ή χωρίς φορτίο) και παραμένει εκεί μέχρι την αναχώρηση. Στην πιο απλή μορφή λειτουργίας γίνεται σχεδόν αποκλειστική άμεση μεταφόρτωση μεταξύ βαγονιού και φορτηγών χωρίς ενδιάμεση αποθήκευση στο έδαφος. Η ακολουθία εκφόρτωσης και φόρτωσης υπαγορεύεται κυρίως από τις αφίξεις φορτηγών στον τερματικό σταθμό (Bose, 1983).

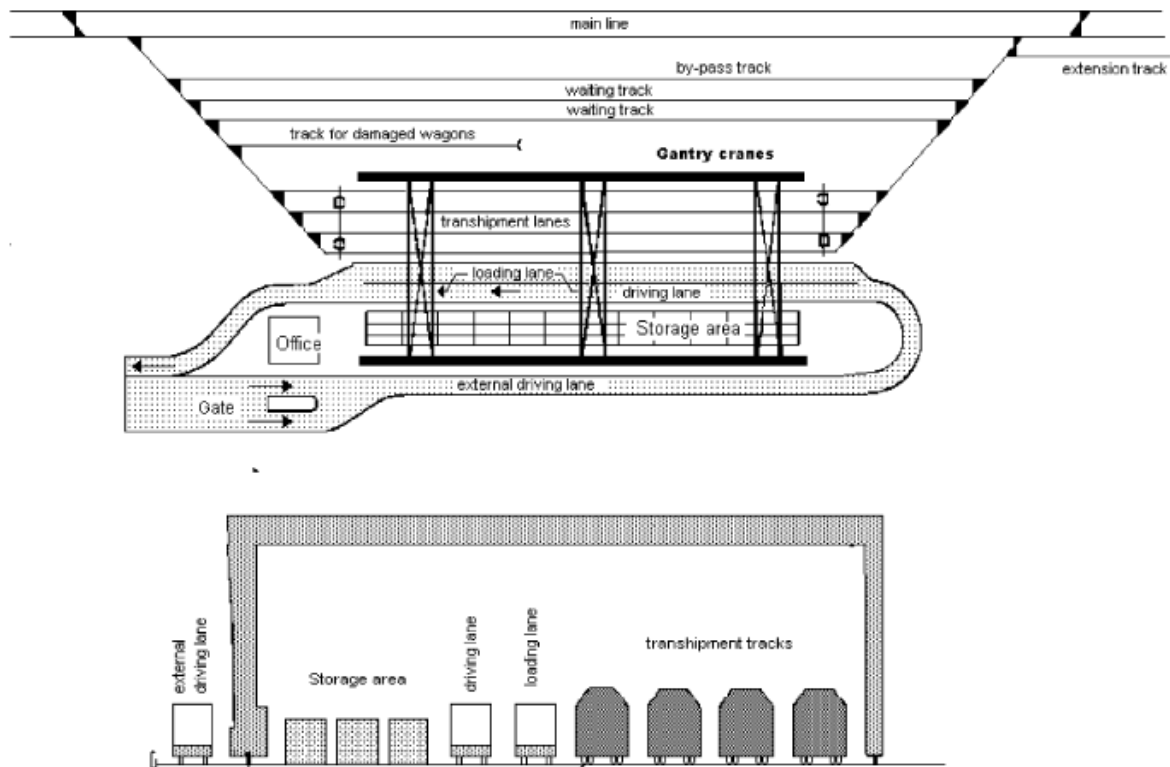
Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού είναι οι εξής (Ballis and Golias, 2002):

- Το μήκος των γραμμών μεταφόρτωσης
- Η χρησιμοποίηση (utilization) των γραμμών μεταφόρτωσης
- Οι χρόνοι αφίξεων των τρένων και των φορτηγών
- Ο αριθμός και ο τύπος του εξοπλισμού χειρισμού
- Το μέσο ύψος στοιβάσις στις περιοχές αποθήκευσης
- Το σύστημα πρόσβασης και οι διαδικασίες στον τερματικό (κυρίως στην σιδηροδρομική πλευρά)

Το μήκος των γραμμών μεταφόρτωσης έχει επιρροή στις διαστάσεις του τερματικού και στις καθημερινές λειτουργίες. Καθορίζεται από τρεις παράγοντες: το μήκος των τρένων (τα πιο μεγάλα Ευρωπαϊκά τρένα έχουν μήκος 600-750μ.), την διαθεσιμότητα γης και τους περιορισμούς κόστους.

Ο όρος «γραμμή μεταφόρτωσης» χαρακτηρίζει μια σιδηροδρομική γραμμή που μπορεί να εξυπηρετηθεί από τον εξοπλισμό χειρισμού του τερματικού (π.χ., μια σιδηροδρομική γραμμή κάτω από τα πόδια μιας γερανογέφυρας). Αντίθετα μια «γραμμή αναμονής» επιτρέπει μόνο την στάση του τρένου στον τερματικό. Στην εικόνα 2.43 παρουσιάζεται ένας τερματικός σταθμός μεταφόρτωσης όπου αναγνωρίζονται τέσσερις γραμμές μεταφόρτωσης και δυο γραμμές αναμονής, όπου σύμφωνα με την γερμανική εμπειρία σιδηροδρόμων θεωρείται ιδανικός.

Εικόνα 2.43: Η διάταξη και η διατομή σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού εξοπλισμένου με τρεις γερανογέφυρες (Πηγή Ballis and Golias, 2002).



Σε μια προγραμματισμένη λειτουργία των σιδηροδρόμων, οι κινήσεις των αμαξοστοιχιών ρυθμίζονται με ένα χρονοδιάγραμμα έτσι ώστε να μην συγκρούονται (Sahin, 1999). Τα σχέδια αφίξεων των αμαξοστοιχιών στους τερματικούς υπαγορεύονται από την οργανωτική δομή του συνόλου του δικτύου. Η συντριπτική πλειοψηφία του ευρωπαϊκού δικτύου φιλοξένει συρμούς επιβατών και φορτίου οι οποίοι λόγω της χαμηλής τους (σχετικά με τους επιβατικούς συρμούς) ταχύτητας μειώνουν δυσανάλογα την χωρητικότητα του δικτύου όταν υπάρχει μεικτή κυκλοφορία. Για τον λόγο αυτό τα εμπορικά τρένα ταξιδεύουν συνήθως κατά την διάρκεια της νύχτας και εξυπηρετούνται κατά την διάρκεια της ημέρας. Έτσι με βάση αυτή την πολιτική τα εμπορικά τρένα φτάνουν στους τερματικούς το πρωί και αναχωρούν το απόγευμα. Οι αφίξεις των φορτηγών καθορίζονται από το χρονοδιάγραμμα αφίξεων των τρένων, τις ώρες λειτουργίας του τερματικού σταθμού και τις ανέσεις της αγοράς. Η οργάνωση των οδικών δραστηριοτήτων παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χωρητικότητας και της επίδοσης ενός τερματικού σταθμού.

Υπάρχει ποικιλία εξοπλισμού χειρισμού εξοπλισμού χειρισμού στην αγορά διατοπικών μεταφορών, κατάλληλος για συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας. Γενικά υπάρχουν συμβατικές και καινοτόμες τεχνολογίες στον εξοπλισμό χειρισμού. Ο ιδανικός αριθμός



και τύπος του εξοπλισμού χειρισμού που χρειάζεται για κάθε τερματικό χρειάζεται μεγάλη εμπειρία και συζήτηση για να επιδεχθεί.

Η στοιβάσια μοναδοποιημένων φορτίων μειώνει τις απαιτήσεις για χώρους αποθήκευσης και την μέση απόσταση ταξιδιού (για κινητό εξοπλισμό χειρισμού). Αντιθέτως, η στοιβάσια μοναδοποιημένων φορτίων αυξάνει τις δραστηριότητες χειρισμών, καθώς δημιουργεί ανακατανομές στα μοναδοποιημένα φορτία. Γενικά τα εμπορευματοκιβώτια μπορούν να στοιβαχτούν, ενώ τα ημι-ρυμουλκούμενα και τα κινητά αμαξώματα δεν μπορούν.

Ο τερματικός σταθμός προτιμάται να είναι προσβάσιμος και τα δυο άκρα, με τρένα να εισέρχονται και από τις δυο κατευθύνσεις. Ωστόσο πολλοί από τους υπάρχοντες τερματικούς σταθμούς έχουν αδιέξοδες διαδρομές (πρόσβαση από μια μεριά μόνο). Η σιδηροδρομική πρόσβαση συνήθως δεν ηλεκτροδοτείται, γεγονός που συνεπάγεται μια αλλαγή σε μια μηχανή ντίζελ, κάτι το οποίο γενικά απαιτείται καθώς οι γραμμές φόρτωσης του τερματικού δεν ηλεκτροδοτούνται λόγω της ανύψωσης των μοναδοποιημένων φορτίων, διαδικασίες που καταλαμβάνουν τον εναέριο χώρο που θα περνούσαν γραμμές ρεύματος. Γενικά χρειάζεται συζήτηση και εμπειρία για την εύρεση λύσεων σε αυτό το μέρος σχεδιασμού ενός τερματικού σταθμού μεταφόρτωσης.

Διάφορα παραδείγματα μεταφορτώσεων φαίνονται παρακάτω στις εικόνες 2.44,2.45 και 2.46 ([www.upds.com/customers/attachments/transload/transload\\_works.pdf](http://www.upds.com/customers/attachments/transload/transload_works.pdf))

Εικόνα 2.44: Μεταφόρτωση χύδην φορτίου από βαγόνι τρένου σε φορτηγό (Πηγή [www.upds.com](http://www.upds.com)).



Εικόνα 2.45: Μεταφόρτωση από βαγόνι τρένου σε χώρο αποθήκευσης με ανυψωτικό όχημα (Πηγή [www.upds.com](http://www.upds.com)).



Εικόνα 2.46: Μεταφόρτωση από χώρο αποθήκευσης σε φορτηγό (Πηγή [www.upds.com](http://www.upds.com)).



### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ**

#### **3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ**

Ως μοντελοποίηση ορίζεται η χρήση μιας μεθόδου που υλοποιείται μέσω τεχνικών για τον προσδιορισμό μιας διαδικασίας που αντανακλά, όσο το δυνατόν καλύτερα, την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος μέσω μιας ή περισσότερων παραμέτρων (parameters). Η εκτίμηση των παραμέτρων αυτών περιγράφει τη συμπεριφορά του μοντέλου, η οποία εκφράζεται με κατάλληλους δείκτες (indicators) στην έξοδο του (Χατζηλεοντιάδου και Χατζηλεοντιάδης, 2005)

Οι μεθοδολογίες που απεικονίζουν την συμπεριφορά των πραγματικών συστημάτων μπορούν να συνοψιστούν σε δυο διαφορετικές προσεγγίσεις: την προσομοίωση ή «τι θα γίνει αν – what if» και τον σχεδιασμό ή «τι κάνουμε για να – what to». Η προσομοίωση διαφέρει από τον σχεδιασμό επειδή στον σχεδιασμό, οι διάφορες υποθέσεις σεναρίων παράγονται μέσα από μοντέλα και αναλύονται και αποτιμούνται με μια διαδικασία βελτιστοποίησης που ικανοποιεί κάποιες ανάγκες (Assuma και Vitetta, 2006).

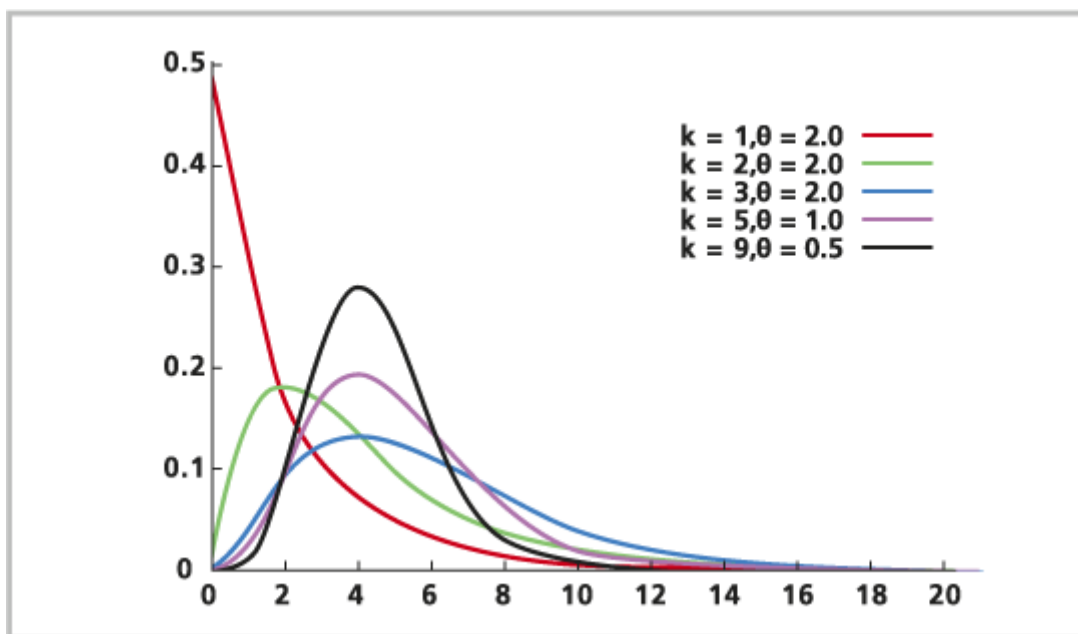
Ένα λιμενικό σύστημα ε/κ είναι σύνθετο λόγω των διαφορετικών χρόνων αφίξεων των πλοίων, των διαφορετικών διαστάσεων των πλοίων, των πολλαπλών γερανογεφυρών και θέσεων παραβολής, των διαφορετικών ικανοτήτων και της παραγωγικότητας των γερανογεφυρών κλπ. Έτσι, η προσομοίωση και αναλυτικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν το σύστημα (Kozan, 1997, Vis and Koster, 2003, Steenken et al., 2004). Προφανώς επίσης σύνθετα είναι και τα σιδηροδρομικά συστήματα ε/κ και ακόμα περισσότερο είναι αναγκαία η χρήση μοντέλων και προσομοίωσης σε πολυτροπικά συστήματα τερματικών σταθμών. Η μελέτη των σταθμών αυτών γίνεται με αναλυτικές μεθόδους (μεταξύ των οποίων και η θεωρία αναμονής) και με προσομοίωση.

Ένας πολύ αξιόλογος τρόπος για να αναλυθούν οι εργασίες σε έναν τερματικό σταθμό είναι με χρήση μοντέλων θεωρίας αναμονής, τα όποια είναι ακριβή μόνο αν οι αφίξεις και οι χρόνοι εξυπηρέτησης των πλοίων ακολουθούν την κατανομή Erlang (γράφημα 3.1) (Ramani, 1996). Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συστήματος αναμονής είναι τα εξής (Σημειώσεις μαθήματος Συνδυασμένων μεταφορών – Μοναδοποιημένων φορτίων, Μπαλλής, Α.):

- Κατανομή αφίξεων ή εξυπηρέτησεων :
  - Τυχαίες αφίξεις ή εξυπηρέτησεις ( κατανομή του αριθμού των αφικνούμενων ή εξυπηρετούμενων πελατών στην μονάδα του χρόνου Poisson, δηλαδή εκθετική κατανομή των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ή των χρόνων εξυπηρέτησης.

- Σταθεροί χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ή εξυπηρετήσεων.
- Κατανομή Erlang των χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ή εξυπηρετήσεων.
- Γενική κατανομή χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ή εξυπηρετήσεων με την προϋπόθεση ότι οι χρόνοι αυτοί είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- Αριθμός παράλληλων σταθμών εξυπηρέτησης (πχ πόσες θέσεις παραβολής είναι διαθέσιμες).
- Νόμος προτεραιότητας στην εξυπηρέτηση :
  - FIFO (first in – first out) (ο πρώτος που μπαίνει εξυπηρετείται πρώτος).
  - LIFO (last in – first out) (ο τελευταίος που μπαίνει εξυπηρετείται πρώτος).
  - SIRO (served in random order) (τυχαία εξυπηρέτηση πελατών).
  - Εξυπηρέτηση με βάση συγκεκριμένο κανόνα (πχ Nearest Neighborhood).
- Μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός πελατών στο σύστημα αναμονής :
  - Διαφέρει από την περίπτωση που ένας πελάτης αρνείται να μπει σε (μεγάλη) σειρά αναμονής.
  - Διαφέρει από την περίπτωση που ένας πελάτης αναχωρεί από την σειρά αναμονής.
- Μέγεθος πηγής προελεύσεως επιβατών : Σύστημα σε μόνιμη ή μεταβατική κατάσταση.

Γράφημα 3.1: Κατανομή Erlang (Πηγή <http://resources.esri.com>)



Σύμφωνα με τους Yun and Choi (1999) η προσαρμογή της θεωρίας αναμονής σε έναν πραγματικό τερματικό σταθμό είναι αρκετά δύσκολη. Για αυτόν τον λόγο η προσομοίωση είναι μια πολύ χρήσιμη εναλλακτική επιλογή. Παρόλο που πολλοί ερευνητές χρησιμοποίησαν μοντέλα θεωρίας αναμονής για την ανάλυση ποικίλων προβλημάτων σχετικά με λιμενικές λειτουργίες και σχεδιασμό (Edmond and Maggs, 1978, Noritake and Kimura, 1983, Shabayek and Yeung, 2001, Van Hee and Wijbrands,

1988), είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθεί ένα μοντέλο που μπορεί να αποδώσει τις ιδιαιτερότητες ενός συστήματος ε/κ και όλους τους παράγοντες που το επηρεάζουν όπως τα διάφορα υποδείγματα αφίξεων πλοίων, διάφοροι τύποι πλοίων και θέσεις παραβολής με διαφορετικό βάθος. Εν το μεταξύ τις δεκαετίες του '80 και του '90 έχουν γίνει σημαντικές αλλαγές στις ικανότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, με αντίκτυπο οι ερευνητές που αξιολογούν την απόδοση τερματικών σταθμών, να χρησιμοποιούν όλο και πιο συχνά προσομοίωση με Η/Υ (Ng and Wong, 2006).

Τα αναλυτικά μοντέλα δεν μπορούν εύκολα να παρουσιάσουν τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν από τυχαία γεγονότα. Έτσι, ένα μοντέλο προσομοίωσης αναπτύσσεται για να περιγράψει την πορεία των ε/κ στο σύστημα και να βρεθούν συγκεκριμένα στοιχεία από την έρευνα (Kozan, 2003).

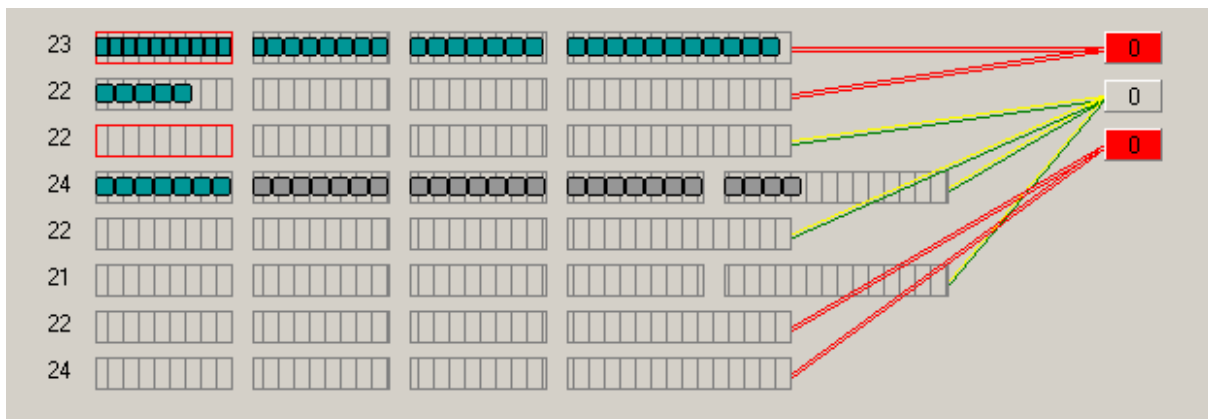
Επίσης σύμφωνα με τον Kozan (2003), οι πραγματικές κατανομές μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από τις θεωρητικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στην θεωρία αναμονής. Όμως, η προσομοίωση μας επιτρέπει να συμπεριλάβουμε αυτές τις μη πραγματικές κατανομές στο μοντέλο.

## **3.2 Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

### **3.2.1 Γενικά**

Για την ανάλυση σύνθετων συστημάτων, η προσομοίωση (εικόνα 3.1) συχνά χρησιμοποιείται πριν από τις εργασίες που θα γίνουν στην πραγματικότητα (εικόνα 3.2). Επομένως η μεθοδολογία της προσομοίωσης προτείνεται και επιλέγεται για ανάλυση συστημάτων τερματικών σταθμών. Τα πρώτα λιμενικά μοντέλα προσομοίωσης είναι το UNCTAD (μοντέλο για λιμάνια), το PORTSIM και το MIT (Yun and Choi, 1999). Το μοντέλο UNCTAD, που αναπτύχθηκε το 1969, χρησιμοποιήθηκε για ανάλυση για λιμενικές εργασίες που είχαν να κάνουν με ελεύθερο συμβατικό φορτίο. Το μοντέλο PORTSIM που αναπτύχθηκε από την Παγκόσμια Τράπεζα την δεκαετία του '70, προοριζόταν για εργαλείο αξιολόγησης προγραμμάτων και έγινε χρήσιμο για την αξιολόγηση των δαπανών και των οφελών που επέρχονταν από την αλλαγή της διαμόρφωσης των λιμανιών. Ο προσομοιωτής λιμανιών MIT, που αναπτύχθηκε τις αρχές τις δεκαετίας του '80, είναι μια βελτίωση των προηγούμενων μοντέλων που επιτρέπει την ανάλυση ενός λιμανιού πολλαπλών χρήσεων στο οποίο γίνονται μεταφορές χύδην φορτίου, κατεψυγμένου φορτίου και εμπορευματοκιβωτίων. Όμως αυτά τα μοντέλα δεν επαρκούν για την ανάλυση των λειτουργιών στα λιμάνια ε/κ της δεκαετίας του '90. Πλέον οι μοντέρνοι τερματικοί σταθμοί ε/κ είναι εξοπλισμένοι με εξελιγμένο μηχανολογικό εξοπλισμό, επομένως είναι απαραίτητη η κατασκευή πιο σύγχρονων μοντέλων που μπορούν να αναλύσουν τις εργασίες σε έναν τερματικό σταθμό ε/κ (Yun and Choi, 1999).

Εικόνα 3.1: Μοντέλο προσομοίωσης (Πηγή Schutt and Ficke, 2008)



Εικόνα 3.2: Πραγματικότητα (Πηγή Schutt and Ficke, 2008)



### 3.2.2 Μοντέλα προσομοίωσης

Σύμφωνα με τον Hartmann (2004) διάφορα μοντέλα προσομοίωσης αναπτύσσονται για την αξιολόγηση των δυναμικών διαδικασιών σε τερματικούς σταθμούς ε/κ. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή και ανάλυση στατιστικών στοιχείων όπως η μέση παραγωγή, ο μέσος χρόνος παραμονής (πχ μια γερανογέφυρα που περιμένει ένα όχημα πλαίσιο) και τον μέσο αριθμό κινήσεων ανακατάταξης σε έναν χώρο στοιβάσις. Λεπτομερή μοντέλα προσομοίωσης συνήθως καλύπτουν και τους φυσικούς πόρους (κυρίως τον εξοπλισμό όπως γερανούς και οχήματα) και τα στοιχεία για έλεγχο και στρατηγικές. Μοντέλα προσομοίωσης δημιουργούνται όταν κατασκευάζετε ένας νέος τερματικός ή όταν αναλύεται και γίνονται αλλαγές σε έναν ήδη υπάρχοντα. Σε κάθε περίπτωση με την προσομοίωση ελέγχεται ο σχεδιασμός και οι αλλαγές πριν αυτά γίνουν στην πραγματικότητα. Επιπλέον μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σύστημα υποβοήθησης αποφάσεων για την διαχείριση του τερματικού.

Τα μοντέλα προσομοίωσης έχουν αποδειχθεί ότι είναι αξιόπιστα και βολικά εργαλεία που υποστηρίζουν αυτούς που παίρνουν αποφάσεις για καθημερινές εργασίες σε πολλές περιπτώσεις. Όμως δεν παρέχουν απαντήσεις σε ερωτήσεις όπως «Πως μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε τον χρόνο που χρειάζεται για να εκφορτώσουμε αυτά τα δυο εισερχόμενα πλοία;» ή «Να εκφορτώσουμε το πλοίο ή να περιμένουμε την άφιξη του τρένου στο οποίο θα μεταφορτωθούν τα μοναδοποιημένα φορτία πρώτα;». Αυτές οι απαντήσεις πρέπει να δοθούν μέσω εναλλακτικών σεναρίων που προτείνονται από τους μελετητές του τερματικού σταθμού με βάση την εμπειρία τους. Μια μεγάλη βοήθεια στα στελέχη της Διοίκησης έρχεται από τα Συστήματα Υποβοήθησης Αποφάσεων (Decision Support Systems – DSSs), όπου τεχνικές διαχείρισης και σχεδιασμού, που αποκομίζονται από τα πεδία της Έρευνας Εργασιών (Operations Research) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence), συνδυάζονται με μοντέλα προσομοίωσης και εργαλεία στατιστικής ανάλυσης δεδομένων. Ο ρόλος της προσομοίωσης γίνεται πολύ σημαντικός σε ένα τέτοιο περιβάλλον: οι άνθρωποι που έχουν να πάρουν αποφάσεις τείνουν να μην εμπιστεύονται τις πολιτικές διαχείρισης που “δημιουργούν” οι υπολογιστές, εκτός αν καταλαβαίνουν πλήρως τον τρόπο που δημιουργούνται αυτές οι πολιτικές ή να έχουν αδιάσειστα στοιχεία για την αξιοπιστία τους. Αυτή η συμπεριφορά είναι λογική, καθώς πολύ συχνά οι πολιτικές που παράγουν οι υπολογιστές δεν είναι αρκετά εύχρηστες σε σύγκριση με το πόσο περίπλοκες και στοχαστικές είναι οι εργασίες που γίνονται στην πραγματικότητα (Gambardella, Rizzoli and Zafalon, 1998).

Σύμφωνα με τους Kelton et al., 2004, τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις μεταβλητές:

- Στατικά/Δυναμικά (Static/Dynamic): στα δυναμικά μοντέλα, ο χρόνος είναι ανεξάρτητη μεταβλητή.
- Συνεχή/Ασυνεχή (Continuous/Discrete): στα συνεχή μοντέλα η κατάσταση του συστήματος μπορεί να αλλάζει συνεχώς στον χρόνο, ενώ στα ασυνεχή μοντέλα οι αλλαγές μπορούν να συμβούν μόνο σε συγκεκριμένες στιγμές.
- Καθοριστικά/Στοχαστικά (Deterministic/Stochastic): στα στοχαστικά μοντέλα, οι τυχαίες μεταβλητές και οι πιθανοτικές κατανομές είναι επίσης στοιχεία εισόδου.

Τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας (Lieberman and Rathi, 1997):

- Τα μοντέλα είναι μικροσκοπικά αν περιγράφουν τις οντότητες του συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις τους με υψηλό επίπεδο λεπτομερειών.
- Τα μοντέλα είναι μεσοσκοπικά αν περιγράφουν τις οντότητες του συστήματος με μεγάλο επίπεδο λεπτομερειών, όμως οι διεργασίες και οι αλληλεπιδράσεις

περιγράφονται με μικρό επίπεδο λεπτομερειών συγκριτικά με τα μικροσκοπικά μοντέλα.

- Τα μοντέλα είναι μακροσκοπικά αν οι οντότητες και οι διεργασίες περιγράφονται με χαμηλό επίπεδο λεπτομερειών.

Τα υψηλής ακρίβειας μικροσκοπικά μοντέλα, αναπαριστούν πιστά την πραγματικότητα αλλά είναι πολύ ακριβά για να αναπτυχθούν και να τρέξουν επειδή είναι πολύ περίπλοκα και περιέχουν μεγάλο αριθμό παραμέτρων.

Γενικά στην βιβλιογραφία τα μοντέλα ταξινομούνται επίσης με βάση τις εργασίες στους τερματικούς σταθμούς: μοντέλα αφίξεων (arrival models), μοντέλα διαχείρισης (management models), μοντέλα φορτώσεων και εκφορτώσεων (loading and unloading models) και μοντέλα ενοποίησης (integrated models). Με βάση τα χαρακτηριστικά τους, αυτά τα μοντέλα είναι κυρίως δυναμικά, ασυνεχή και στοχαστικά (Assuma and Vitetta, 2006).

Υπάρχουν πολλά προγράμματα στα οποία αναπτύσσονται μοντέλα προσομοίωσης και τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για λύσεις διαφόρων προβλημάτων σε τερματικούς σταθμούς. Τα πιο γνωστά είναι τα εξής: Arena (με το οποίο δουλέψαμε), AweSim, emPlant, Extend, GPSS/H, Matlab, MODSIM III, PROMODEL, Simfactory, Simple ++, Simprocess, Simulink, Simview, Stateflow, Taylor II, Witness.

Η προσομοίωση είναι μια τεχνική που υποστηρίζει την ανάλυση, τις προτάσεις και την βελτιστοποίηση πραγματικών συστημάτων (Kavicka et al, 2005, Kavicka and Klima, 2005, Jennings, 2001) σύμφωνα με τα παρακάτω βήματα:

- Υποκατάσταση του πραγματικού συστήματος από το μοντέλο προσομοίωσης
- Πειραματισμός πάνω στο μοντέλο προσομοίωσης ανακαλύπτοντας τις ιδιότητες του, την συμπεριφορά του και την αντίδραση του σε διάφορες συνθήκες
- Εφαρμογή των λαμβανομένων αποτελεσμάτων στο πραγματικό σύστημα (υπάρχον ή προγραμματισμένο)

### 3.2.3 Συνήθεις εφαρμογές μοντέλων προσομοίωσης

Τα παρακάτω θέματα ανήκουν στα πιο κλασικά προβλήματα που εμφανίζονται σε σιδηροδρομικούς τερματικούς σταθμούς, τα οποία λύνονται χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης (Adamko and Klima, 2008):

- Αλλαγές στις εισερχόμενες ροές (changes in inbound flows). Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης, οι λειτουργίες σε έναν τερματικό μπορούν να καθοριστούν και να αξιολογηθούν πριν οι εισερχόμενες ροές από τρένα, βαγόνια, αγαθά ή επιβάτες να έχουν αλλάξει. Οι αλλαγές στις ροές είναι συνήθως αποτέλεσμα αλλαγών στο σιδηροδρομικό δίκτυο ή στα περίχωρα του τερματικού.



- Μείωση του κόστους με βέλτιστη χρήση πόρων (*cost savings through an optimum use of resource*). Η διάθεση προσωπικού και μηχανών ελιγμών μπορεί να βελτιστοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης. Όχι μόνο η χρησιμοποίηση της χωρητικότητας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά, αλλά και να μειωθούν και οι πόροι που χρειάζονται.
- Εξορθολογισμός των τεχνολογικών διαδικασιών (*rationalization of technological processes*). Η πιθανότητα της βελτιστοποίησης των λειτουργιών ενός τερματικού χωρίς την ανάγκη για ακριβά μέτρα υποδομής είναι η εισαγωγή των νέων τεχνολογικών διαδικασιών καθώς και η εκτέλεση ενός μεγαλύτερου αριθμού παράλληλων εργασιών. Χρησιμοποιώντας μοντέλα προσομοίωσης, η αποτελεσματικότητα αυτών των διαδικασιών μπορεί να διερευνηθεί πριν εκτελεστούν στην πραγματικότητα.
- Ανακατασκευή και ρύθμιση της υποδομής ενός τερματικού (*reconstructing and configuring terminal infrastructure*). Η ανακατασκευή της υποδομής είναι μια πολύπλοκη και ακριβή παρέμβαση στην λειτουργία ενός τερματικού. Οι διεργασίες ανακατασκευής μπορεί να περιλαμβάνουν την μείωση, την ανταλλαγή ή την ενίσχυση των κομματιών, επιβραδυντών ή εξοπλισμού ασφαλείας. Πλέον στις μέρες μας δεν είναι νοητό η διαχείριση να παίρνει αποφάσεις για τις προσαρμογές στην υποδομή χωρίς να διερευνήσει τις συνέπειες των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από ένα μοντέλο προσομοίωσης. Η προσομοίωση είναι ένα αποτελεσματικό και δοκιμασμένο εργαλείο για μια αντικειμενική επαλήθευση αποφάσεων. Αν η απόφαση της ανακατασκευής έχει ήδη παρθεί, τα επιμέρους στάδια μπορούν να σχεδιαστούν και οι λειτουργίες που επηρεάζονται από τα μέτρα υποδομής σε κάθε στάδιο, μπορούν να εξεταστούν με πειράματα προσομοίωσης. Βέβαια, οι παραπάνω πληροφορίες που συζητήθηκαν μπορούν επίσης να αποδοθούν και στην διαμόρφωση και εγκατάσταση ενός νέου τερματικού σταθμού.
- Έλεγχος και τελειοποίηση των στρατηγικών διαχείρισης λειτουργιών (*verification and improvement of operation control strategies*). Ένα πολύτιμο χαρακτηριστικό κάποιων μοντέλων προσομοίωσης είναι η ικανότητα που έχουν να συνεργάζονται με τον χρήστη κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει προβλήματα που θέλει να λύσει μόνος του κατά την προσομοίωση της λειτουργίας. Το μοντέλο προσομοίωσης πρέπει να του επιτρέπει να ανιχνεύει και να αξιολογεί τις συνέπειες των αποφάσεων που έχουν ληφθεί. Επομένως, ο χρήστης μπορεί να εξετάσει την καταλληλότητα των διαφόρων στρατηγικών διαχείρισης λειτουργιών. Αυτό το χαρακτηριστικό συνεργασίας του εργαλείου προσομοίωσης, μπορεί επίσης να αποδειχθεί ότι είναι πολύ ωφέλιμο στην εκμάθηση του προσωπικού διαχείρισης.
- Διαχείριση κρίσιμων καταστάσεων (*management of crisis situations*). Το σιδηροδρομικό δίκτυο και οι ζεύξεις του μπορεί να εκτεθούν σε διάφορες κρίσιμες καταστάσεις, όχι αποδιδόμενες σε συγκεκριμένες αποφάσεις διαχείρισης αλλά,

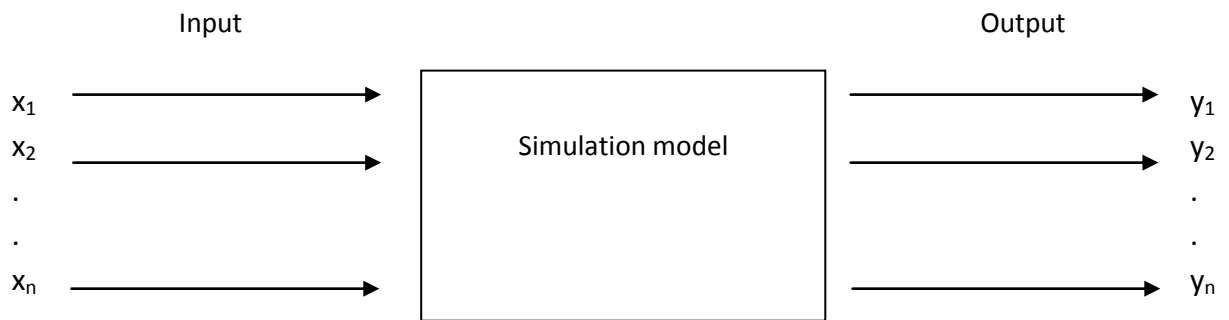
στην αποτυχία ανθρώπινων ή τεχνικών παραγόντων ή ακόμα και σε φυσικά γεγονότα. Τέτοιες κρίσιμες καταστάσεις μπορεί να επηρεάσουν ένα μέρος ή και ολόκληρο τον σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό με αποτέλεσμα σημαντικές αλλαγές στις εισροές ή να επηρεάσουν την υποδομή, να μειώσουν την διαθεσιμότητα πόρων ή να επιφέρουν αλλαγές στην διαχείριση λειτουργιών του τερματικού (π.χ. αλλάζοντας προτεραιότητες). Ένα τυπικό χαρακτηριστικό των παραπάνω κρίσιμων καταστάσεων είναι ότι μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο μετά που θα συμβούν και οι οικονομικές ζημιές είναι πολύ υψηλές. Τα εργαλεία προσομοίωσης είναι ιδανικά μέσα για να αξιολογηθούν παρόμοια σενάρια και να οριστούν στρατηγικές διαχείρισης λειτουργιών για κάθε ξεχωριστή κρίσιμη κατάσταση ώστε να είναι αναμενόμενη.

### 3.2.4 Μέθοδοι βελτιστοποίησης προσομοίωσης

Σύμφωνα με τους Carson and Maria (1997), ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να οριστεί ως ένα τεστ ή μια σειρά από τεστ όπου σημαντικές αλλαγές γίνονται στις μεταβλητές εισόδου ενός μοντέλου προσομοίωσης, έτσι ώστε να μπορούμε να παρατηρήσουμε και να αναγνωρίσουμε τις αιτίες αλλαγής των μεταβλητών εξόδου. Όταν ο αριθμός των μεταβλητών εισόδου είναι μεγάλος και το μοντέλο προσομοίωσης είναι μπερδεμένο, το πείραμα προσομοίωσης μπορεί να γίνει υπολογιστικά απαγορευτικό. Εκτός από το υψηλό υπολογιστικό κόστος, ένα ακόμα μεγαλύτερο κόστος πραγματοποιείται όταν επιλέγονται μη βέλτιστες τιμές μεταβλητών εισόδου. Βελτιστοποίηση προσομοίωσης (simulation optimization) ονομάζουμε την διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων τιμών μεταβλητών εισόδου ανάμεσα σε όλα τα ενδεχόμενα χωρίς σαφή αξιολόγηση του καθενός. Το αντικείμενο της βελτιστοποίησης προσομοίωσης είναι η ελαχιστοποίηση της δαπάνης πόρων με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση των πληροφοριών που αποκτούνται σε ένα πείραμα προσομοίωσης.

Ένα γενικό μοντέλο προσομοίωσης περιλαμβάνει  $n$  μεταβλητές εισόδου  $x$  ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) και  $m$  μεταβλητές εξόδου ( $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$ ) ή ( $y_1, y_2, \dots, y_m$ ) (σχήμα 3.1). Η βελτιστοποίηση προσομοίωσης συνεπάγεται την εύρεση βέλτιστων ρυθμίσεων των μεταβλητών εισόδου (input), οι οποίες βελτιστοποιούν τις μεταβλητές εξόδου (output). Τέτοια προβλήματα προκύπτουν συχνά στην μηχανική, για παράδειγμα, στον σχεδιασμό διεργασιών, στον βιομηχανικό πειραματισμό, στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και στην βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας. Η βελτιστοποίηση προσομοίωσης είναι μια τεχνική που προσελκύει πολλούς ερευνητές (Carson and Maria, 1997).

Σχήμα 3.1 : Μοντέλο προσομοίωσης (Πηγή Carson and Maria, 1997).



### 3.3 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

#### 3.3.1 Σε σιδηροδρομικούς τερματικούς σταθμούς

Ο Castilho (1993) διερεύνησε την πιθανότητα αύξησης των δυνατοτήτων ενός διατροφικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων με αλλαγές στον σχεδιασμό, με σιδηροδρομικές γραμμές για την τοποθέτηση βαγονιών απευθείας κάτω από τις γερανογέφυρες. Με χρήση μοντέλου προσομοίωσης και θεωρίας αναμονής εκτίμησε την αποτελεσματικότητα του σταθμού και πρότεινε σαν αποτέλεσμα ότι οι τερματικοί σταθμοί με απευθείας μεταφορά (direct – transfer terminals) είναι εφικτοί και οικονομικά βιώσιμοι σαν εναλλακτική λύση από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις. Ανέφερε επίσης ότι μια επιπλέον πιο αναλυτική έρευνα χρειάζεται πάνω στο θέμα.

Ένα μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε από τους Sarosky and Wilcox (1994) για να εξετάσει διάφορες ερωτήσεις «τι θα συμβεί αν;» (what-if questions) που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την λειτουργία τερματικών σταθμών εντός του διατροφικού δικτύου Conrail. Μια παραδειγματική εφαρμογή του μοντέλου δόθηκε για να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα εξάλειψης ενός τερματικού από το σύστημα και να μετατοπιστεί ο όγκος της κυκλοφορίας σε έναν εναπομείναντα τερματικό σταθμό. Η μελέτη τους βασίζεται τόσο στις παρούσες όσο και στις μελλοντικές προβλέψεις του όγκου της κυκλοφορίας.

Οι Ferreira and Sigut (1995) ανέπτυξαν μοντέλα προσομοίωσης με Η/Υ και τα χρησιμοποίησαν σε συμβατικές οδικές/ σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις μεταφορών εμπορευματοκιβωτίων και σε σιδηροδρομικούς τερματικούς σταθμούς. Εξετάζονται εν συντομία οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του τερματικού μαζί με κάποια από τα μέτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του επιπέδου της απόδοσης ενός δεδομένου τερματικού. Τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν την λειτουργική απόδοση του τερματικού υπό διαφορετικές χρήσεις των πόρων του τερματικού.

Ο Ballis (2001) ανέπτυξε ένα εμπειρικό εργαλείο μοντελοποίησης που δίνει την δυνατότητα αναγνώρισης ισχυρών καινοτόμων τεχνολογικών σχεδιασμών τερματικών σταθμών και την εκτίμηση των χρόνων αναμονής και εξυπηρέτησης των τρένων και των φορτηγών με βάση την συμβατότητα, την επίδοση και τα χαρακτηριστικά κόστους, καθώς και την προσομοίωση.

Ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων αναπτύχθηκε από τους Rizolli et al. (2002) με χρήση του λογισμικού MODSIM III. Προσομοιώνει την ροή των μοναδοποιημένων φορτίων σε διατροφικούς τερματικούς σταθμούς, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με σιδηρόδρομο. Ο χρήστης του μοντέλου προσομοίωσης ορίζει την δομή του τερματικού και τα σενάρια αφίξεων τρένων και φορτηγών (με βάση χρονοδιαγράμματα για τα τρένα και πιθανοτικές κατανομές για τα φορτηγά). Ο προσομοιωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσομοιώσει ένα τερματικό σταθμό με ένα σιδηροδρομικό δίκτυο ή δυο ή παραπάνω διασυνδεδεμένους τερματικούς σταθμούς. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, διάφορα στατιστικά στοιχεία μπορούν να συλλεχτούν όπως η απόδοση του μηχανολογικού εξοπλισμού του τερματικού και ο χρόνος παραμονής των μοναδοποιημένων φορτίων.

Οι Martinez et al. (2004) ανέπτυξαν και χρησιμοποίησαν ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης για την μελέτη του τερματικού Port-Bou, τον κύριο διατροφικό τερματικό σταθμό των συνόρων Ισπανίας – Γαλλίας. Αξιολογήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας των γερανογεφυρών για την ανταλλαγή εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ των αμαξοστοιχιών. Αυτές οι λειτουργίες δοκιμάζονται σε διάφορα σενάρια που εξετάζουν τους κρίσιμους παράγοντες του συστήματος, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία για την κάθε περίπτωση.

Οι Assuma and Vivetta (2006) πρότειναν ένα μικροσκοπικό στοχαστικό μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων για να προσομοιώσουν λειτουργίες φόρτωσης / εκφόρτωσης με χρήση ενός σιδηροδρομικού συστήματος σε ένα Ro-Ro διατροφικό τερματικό σταθμό εμπορευματοκιβωτίων. Με χρήση του λογισμικού Arena (Rockwell software) δημιούργησαν ένα μοντέλο με κόμβους, συνδέσμους και χρόνους για όλες τις λειτουργίες, έτσι ώστε να μπορούν να ελέγχουν τα κρίσιμα γεγονότα, όπως την πιθανότητα προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν και επηρεάζουν τις συνηθισμένες λειτουργίες σε έναν διατροφικό τερματικό σταθμό. Προσδιορίζοντας τις μεταβλητές και την εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και προσομοιώνοντας το σύστημα, άντλησαν πληροφορίες για την αποτελεσματικότητα του συστήματος, εκφρασμένη σε χρόνους λειτουργίας των φορτώσεων / εκφορτώσεων.

Οι Lee et al. (2006) συνδύασαν αναλυτικές προσεγγίσεις και προσομοίωση για τον σχεδιασμό και την κατασκευή νέων σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών εντός λιμενικών τερματικών σταθμών μοναδοποιημένων φορτίων για μεταφορτώσεις

εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ τους. Η αναλυτική προσέγγιση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μεγέθους των εγκαταστάσεων και η προσομοίωση για την αξιολόγηση προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων πιο λεπτομερούς σχεδιασμού.

Προσομοίωση διακριτών γεγονότων χρησιμοποιήθηκε επίσης από τους Corry and Kozan (2007) για να εκτιμήσουν τις μεθόδους (heuristic algorithms, simulated annealing) που είχαν ήδη χρησιμοποιήσει και για να βρουν επιπλέον ιδιότητες στο μοντέλο που ανέπτυξαν για να καθορίσουν την διευθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων μέσα σε ένα τρένο με σκοπό την ελαχιστοποίηση ενός σταθμισμένου αθροίσματος του αριθμού των βαγονιών που απαιτούνται και του χρόνου εργασίας του εξοπλισμού. Το πειραματικό αποτέλεσμα έδειξε ότι ήταν πράγματι πολύ χρήσιμο να γίνεται η επεξεργασία με ένα τέτοιο μοντέλο για να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα στον σχεδιασμό τοποθέτησης μοναδοποιημένων φορτίων εντός του τρένου (train planning).

Μια σύγκριση ανάμεσα σε τρία δια ξηράς μεταφορικά συστήματα, για μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων μεταξύ τερματικών σταθμών παρουσιάστηκε από τους Duinkerken et al. (2007). Ένα μοντέλο προσομοίωσης εξοπλισμένο με ένα σύστημα έλεγχου και έναν εξελιγμένο αλγόριθμο σχεδιασμού αναπτύχθηκε για να εφαρμοσθεί πάνω σε ένα πραγματικό σενάριο στο Maasvlakte (Rotterdam). Οι μεταφορές μπορούσαν να γίνουν με ημι-ρυμουλκούμενα, αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα (AGVs) και αυτοματοποιημένα οχήματα ανύψωσης (ALVs). Τα πειράματα που έγιναν δίνουν ιδέες για την σημαντικότητα των διαφορετικών χαρακτηριστικών των μεταφορικών συστημάτων και την αλληλεπίδραση τους με τον μηχανολογικό εξοπλισμό χειρισμού.

### 3.3.2 Σε λιμενικούς τερματικούς σταθμούς

Ο Ramani (1996) σχεδίασε και ανέπτυξε ένα διαδραστικό μοντέλο προσομοίωσης για να υποστηρίξει τον σχεδιασμό των μεταφορών στις λειτουργίες λιμενικών τερματικών σταθμών.

Ένα μοντέλο προσομοίωσης σε Η/Υ που μπορεί να προσομοιώσει τις λειτουργίες ενός τερματικού σταθμού ε/κ με οχήματα πλαίσια παρουσιάστηκε από τους Ballis and Abacoumkin (1996). Οι κινήσεις του εξοπλισμού προσομοιώνονται πολύ ρεαλιστικά, έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλες οι καθυστερήσεις μέσα στον τερματικό. Το μοντέλο σχεδιάστηκε για να αξιολογεί τις διάφορες διαμορφώσεις του συστήματος που προσομοιώνεται (αλλαγές στο σχέδιο – layout, στον εξοπλισμό, στην αλληλουχία αφίξεων των φορτηγών κλπ) και για να εξετάζει τις διαφορές ανάμεσα στην “παρατηρούμενη” λειτουργική στρατηγική και στην στρατηγική που ακολουθείται από τους κανόνες λειτουργίας στο λιμάνι του Πειραιά. Τα αποτελέσματα της παρουσίασης είναι ότι η “παρατηρούμενη” στρατηγική οδηγεί σε μικρότερο χρόνο εξυπηρέτησης των

φορτηγών αλλά συγχρόνως αυξάνει τις κυκλοφοριακές συμφορήσεις εντός του δικτύου του τερματικού σταθμού.

Ένα μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε από τους Tahar and Hussain (2000) με χρήση του λογισμικού Arena για να βοηθήσει τις λειτουργίες και την διαχείριση του τερματικού σταθμού Kelang στη Μαλαισία. Το μοντέλο προσομοίωσης έδειξε ότι το λιμάνι έχει την ικανότητα να αυξήσει την δυναμικότητα του, να βελτιώσει την αποδοτικότητα του και να μειώσει το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης.

Οι Legato and Mazza (2001) ανέπτυξαν ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων σε γλώσσα προγραμματισμού Visual SLAM για να προσεγγίσουν μια βέλτιστη λύση στο πρόβλημα σχεδιασμού αγκυροβολιών. Με χρήση προσομοίωσης ξεπέρασαν προβλήματα όπως σύνθετες πολιτικές κατανομής των πόρων και βασισμένους στον χρόνο μηχανισμούς προτεραιότητας που εμπόδιζαν την χρήση αναλυτικών προσεγγίσεων.

Οι Liu et al. (2001) ανέπτυξαν ένα μικροσκοπικό μοντέλο προσομοίωσης και υπέθεσαν έναν σταθερό αριθμό γερανογεφυρών ανά αγκυροβόλιο, μια επεξεργασία σε κατανομή Poisson για τις αφίξεις και την εξυπηρέτηση των φορτηγών με βάση του κανόνα FIFO (first in first out) και ντετερμινιστικές ταχύτητες για τις μεταφορές εντός του τερματικού για να συγκρίνουν την απόδοση διάφορων αυτόματων μεταφορικών συστημάτων εντός του τερματικού (AGVs, LMCS – linear motor conveyance system, GR – overhead grid rail και AS/RS – automated storage and retrieval machine). Κατέληξαν ότι η χωρητικότητα των υπάρχοντων τερματικών σταθμών μπορεί να βελτιωθεί δραματικά με την χρήση αυτόματων συστημάτων. Πρότειναν επίσης να γίνει επιπλέον έρευνα πριν από οποιαδήποτε εκτέλεση / εφαρμογή.

Με χρήση προσομοίωσης σε Η/Υ οι Kia et al. (2002) διερεύνησαν τις θετικές επιπτώσεις που έχει η κατευθείαν φόρτωση από πλοίο σε σιδηρόδρομο, στην χωρητικότητα ενός τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων, χρησιμοποιώντας πραγματικά στατιστικά δεδομένα. Το μοντέλο επίσης προσδιορίζει τις περιοχές συμφόρησης του τερματικού και συγκρίνει δυο λειτουργικά συστήματα, με αποτέλεσμα σημαντική οικονομία στην επέκταση του λιμανιού, μείωση στον χρόνο αναμονής των πλοίων στο λιμάνι και μείωση στο κόστος απογράφης των φορτίων.

Χρησιμοποιώντας την γλώσσα προσομοίωσης AweSim, ο Demirci (2003) κατασκεύασε ένα μοντέλο προσομοίωσης για να αναλύσει τις λειτουργίες στον λιμενικό τερματικό σταθμό Trabzon Port. Σκοπός του μοντέλου ήταν να διερευνήσει τα πιθανά σημεία συμφόρησης και την χρήση καινούριου μηχανικού εξοπλισμού σε αυτά τα σημεία. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδωσαν μια μείωση σχεδόν 8 ημερών στον χρόνο ανάκαμψης των πλοίων, μείωση στον αριθμό των πλοίων, καθώς και μείωση στον χρόνο

αναμονής, δίνοντας έτσι μια εκτίμηση για εναλλακτικές στρατηγικές και πως θα μπορούσε να λειτουργήσει το σύστημα.

Οι Luo and Grigalunas (2003) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν ένα μοντέλο προσομοίωσης για μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων στα κυριότερα λιμάνια ε/κ στις ΗΠΑ με όσο το δυνατόν μικρότερη απαίτηση χώρου. Το μοντέλο επικυρώνεται και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ετήσιας ζήτησης μεταφοράς ε/κ για μεγάλα λιμάνια ε/κ, τις περιοχές που εξυπηρετούνται από τους επιλεγμένους λιμένες και τις επιπτώσεις στη ζήτηση και στον ανταγωνισμό μεταξύ λιμανιών λόγω των υποθετικών μεταβολών των λιμενικών τελών στα επιλεγμένα λιμάνια.

Οι Parola and Sciomachen (2005) παρουσιάζουν μοντέλα προσομοίωσης που σχετίζονται με το βορειοδυτικό σύστημα λιμανιών της Ιταλίας. Αναλύουν τις δυνατότητες του συστήματος δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις χερσαίες μεταφορές με στόχο την αξιολόγηση μιας πιθανής μελλοντικής αύξησης των διακινήσεων ε/κ. Κάποια μοντέλα προσομοίωσης αναλύονται για να τονίσουν τα χαρακτηριστικά και τα προβλήματα των μεταφορικών δραστηριοτήτων του διατροφικού δικτύου. Επιτυχημένα μοντέλα αναπτύχθηκαν για την αξιολόγηση πιθανών διαφορετικών χερσαίων υποδομών σε ένα όραμα για το 2012.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΗΜΙ-ΡΥΜΟΥΛΚΟΥΜΕΝΩΝ**

### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Με βάση έρευνα που έγινε από τον Τομέα Συγκοινωνιολόγων του ΕΜΠ και ανάλυση των λειτουργιών των συστημάτων ISU (εικόνα 4.1) που βασίστηκε στις καταγεγραμμένες δοκιμές πεδίου που οργανώθηκαν από την Rail Cargo Austria AG και πήραν μέρος στο Γουέλς στην Αυστρία (Wels, Austria) στις 10 Νοεμβρίου 2010, μετρήθηκαν οι χρόνοι που παραμένουν τα φορτηγά και τα ημι-ρυμουλκούμενα σε έναν σιδηροδρομικό εμπορευματικό σταθμό μεταφόρτωσης που περιλαμβάνει ράμπες ISU. Επίσης μετρήθηκαν οι χρόνοι αφίξεων και οι χρόνοι που χρειάζονται για τους χειρισμούς με οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας, οι χρόνοι μετακινήσεων άδειων και φορτωμένων φορτηγών και λοιπά στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση πραγματικών σταθμών με μοντέλα για έρευνα στο μέλλον (cream report, Customer-driven Rail-freight services on a European mega-corridor based on Advanced business and operating Models, NTUA, 2010). Έτσι αναπτύχτηκε ένα μοντέλο σε λογισμικό Arena για την εξακρίβωση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αλλά και του ίδιου του προγράμματος και των υπολογισμών του.

Το μοντέλο που αναπτύχτηκε, πέρασε ουσιαστικά από διάφορα στάδια μέχρι να φτάσει στην τελική του μορφή, η οποία έχει φτιαχτεί με το επαγγελματικό λογισμικό Arena, εξαιτίας του περιορισμού των μονάδων σχεδιασμού της φοιτητικής έκδοσης (που διατίθεται δωρεάν). Το μοντέλο του πρώτου σεναρίου που παρουσιάζεται σε αυτή την Διπλωματική Εργασία έχει δημιουργηθεί με την φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena και παρόλο που είναι μερικά στάδια πίσω από την τελική του μορφή, είναι πολύ χρήσιμο για επεξεργασία και έκδοση αποτελεσμάτων.

Το μοντέλο που θα παρουσιαστεί παρακάτω, συνοπτικά αποτελείται από τέσσερα μέρη:

Στο πρώτο μέρος του τα φορτηγά αφικνούνται στον σιδηροδρομικό σταθμό και χωρίζονται σε φορτωμένα ή άδεια (αναλόγως αν μεταφέρουν ή όχι ημι-ρυμουλκούμενα). Περνάνε από τον αρχικό κόμβο και ανάλογα με τις υπηρεσίες που χρειάζονται για την εξυπηρέτηση τους διαχωρίζονται σε δυο διαφορετικές διαδρομές που η καθεμία οδηγεί σε μια ράμπα ISU.

Το δεύτερο μέρος αφορά τις διαδικασίες που θα ακολουθηθούν στην πρώτη ράμπα. Ανάλογα με το αν είναι άδεια ή φορτωμένα ακολουθούνται και διαφορετικές διεργασίες. Αν είναι άδειο ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας θα αδράξει ένα ημι-ρυμουλκούμενο και θα το φορτώσει στο φορτηγό. Αν είναι φορτωμένο τότε ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας θα το ξεφορτώσει και το φορτηγό θα είναι έτοιμο να



ελευθερώσει την ράμπα. Επιπλέον το ημι-ρυμουλκούμενο θα φορτωθεί από το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας σε τρένο. Αυτές οι διαδικασίες επαναλαμβάνονται για τα επόμενα φορτηγά που φτάνουν στην πρώτη ράμπα. Τέλος το κάθε φορτηγό που έχει τελειώσει την δουλεία του στην ράμπα κατευθύνεται προς την έξοδο του τερματικού.

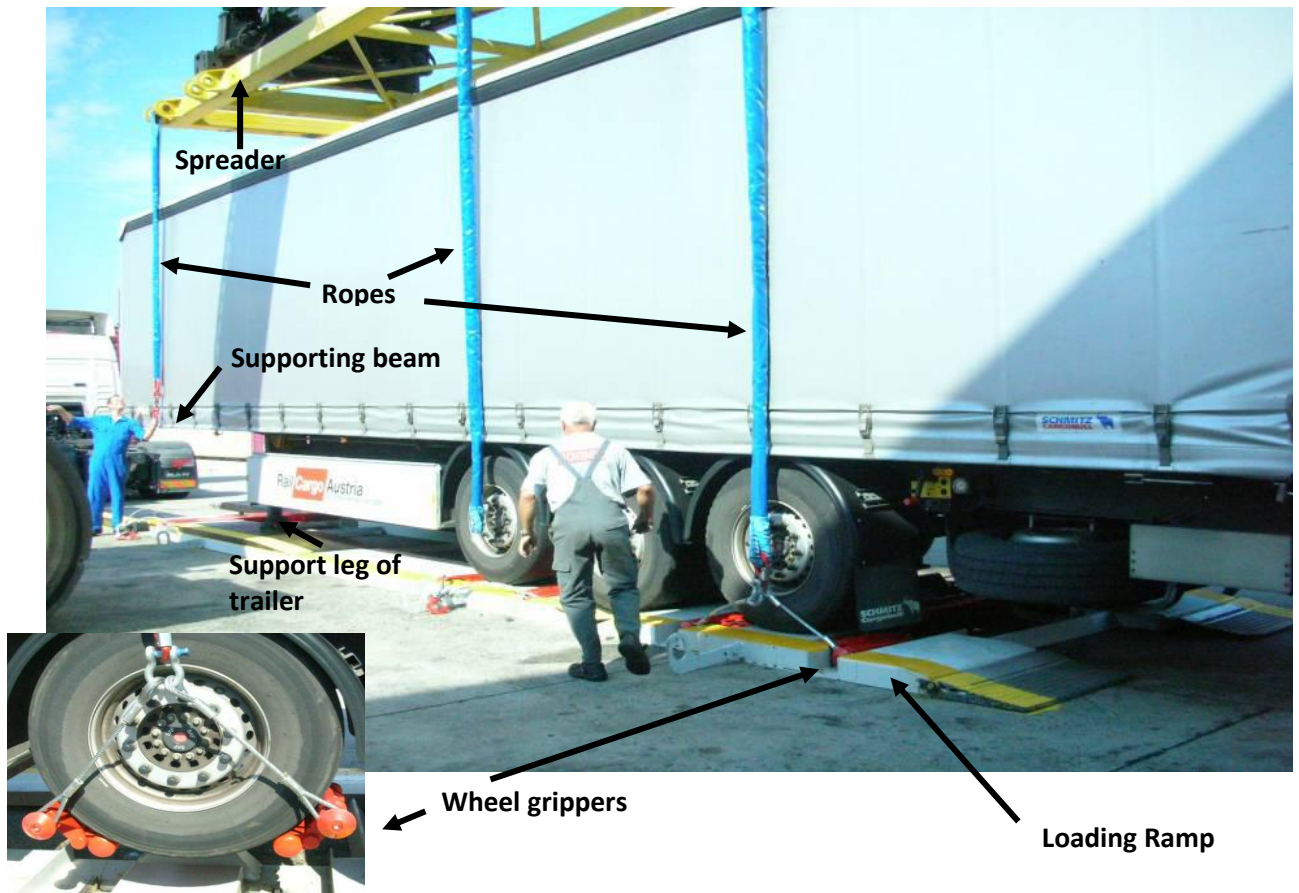
Στο τρίτο μέρος λαμβάνουν μέρος οι διαδικασίες για την εξυπηρέτηση των φορτηγών στην δεύτερη ράμπα. Το ημι-ρυμουλκούμενο καταλαμβάνει την ράμπα και εκφορτώνεται από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας που λειτουργεί στην περιοχή της δεύτερης ράμπας. Στην συνέχεια η ράμπα ελευθερώνεται και το φορτηγό είναι έτοιμο να φύγει. Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας φορτώνει το ημι-ρυμουλκούμενο στο τρένο και είναι πλέον ελεύθερο να ξεφορτώσει το επόμενο από την ράμπα και να το φορτώσει στο τρένο. Το κάθε φορτηγό που εκφορτώνεται φεύγει από την περιοχή της δεύτερης ράμπας και κατευθύνεται προς την έξοδο του τερματικού.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος του μοντέλου, τα φορτηγά που έχουν εξυπηρετηθεί φτάνουν στην έξοδο του τερματικού σταθμού και καθώς υπολογίζεται ο χρόνος που παρέμειναν εντός του τερματικού σταθμού, αποχωρούν είτε φορτωμένα εκ νέου είτε άδεια.

#### 4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ISU

Ένα σύστημα ISU (εικόνα 4.1) αποτελείται από ένα βοηθητικό σκελετό με δυνατότητα μεταφόρτωσης με βραχίονες αρπαγής ή με σχοινιά, μια βοηθητική δοκό και αρπάγες τροχών, καθώς και μια ράμπα μεταφορτώσεων στον τερματικό σταθμό. Ο βοηθητικός σκελετός μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας ή σε μια γερανογέφυρα με επαρκή ανυψωτική ικανότητα. Απαιτείται ανθρώπινο δυναμικό δυο ατόμων για να συνδέσουν/αποσυνδέσουν τις αρπάγες τροχών και το βοηθητικό δοκάρι στα σχοινιά.

Εικόνα 4.1: Σύστημα ISU (Πηγή cream report)



Το χρονοδιάγραμμα των λειτουργιών ενός συστήματος ISU εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αρχικές συνθήκες (αρπάγες τροχών στις εσοχές της ράμπας ή στο βαγόνι, το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην ράμπα ή είναι κοντά στην γραμμή του τρένου, το φορτηγό περιμένει να φορτώσει ή να εκφορτώσει ένα ημι-ρυμουλκούμενο). Ως εκ τούτου, για να αναλύσουμε τον κύκλο υπηρεσιών (service cycle), δυο διαδοχικές αφίξεις φορτηγών θεωρούνται σαν μια περίπτωση στην προσέγγιση του μοντέλου. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις : LL, UL, LU, UU. Το L συμβολίζει ελκυστήρα με ημι-ρυμουλκούμενο (loaded) και το U συμβολίζει ελκυστήρα χωρίς ημι-ρυμουλκούμενο (unloaded). Το πρώτο γράμμα αντιπροσωπεύει τις προηγούμενες

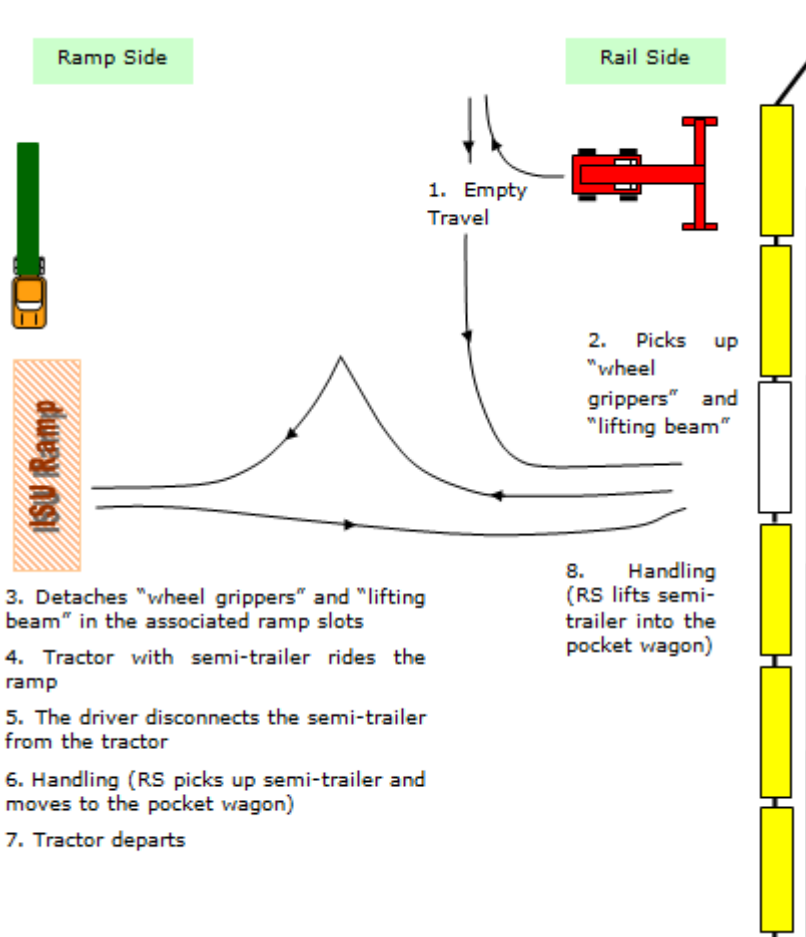
λειτουργίες για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών στις τρέχουσες λειτουργίες και το δεύτερο γράμμα τις τρέχουσες λειτουργίες (cream report).

### Περίπτωση LL:

Αρχικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι εσοχές τις ράμπας ISU είναι άδειες, ο ελκυστήρας μεταφέρει ένα ημι-ρυμουλκούμενο και το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας είναι κοντά στην σιδηροδρομική γραμμή.

Τελικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι είναι στην ράμπα, το φορτηγό αναχωρεί και το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας είναι κοντά στην σιδηροδρομική γραμμή.

Σχήμα 4.1: Περίπτωση LL (Πηγή cream report).



- Το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας σηκώνει τις αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι
- Το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας κινείται προς την ράμπα και τοποθετεί τις αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι στις εσοχές τις ράμπας ISU
- Ο ελκυστήρας με το ημι-ρυμουλκούμενο ανεβαίνει στην ράμπα ISU
- Ο οδηγός αποσυνδέει το ημι-ρυμουλκούμενο από το φορτηγό

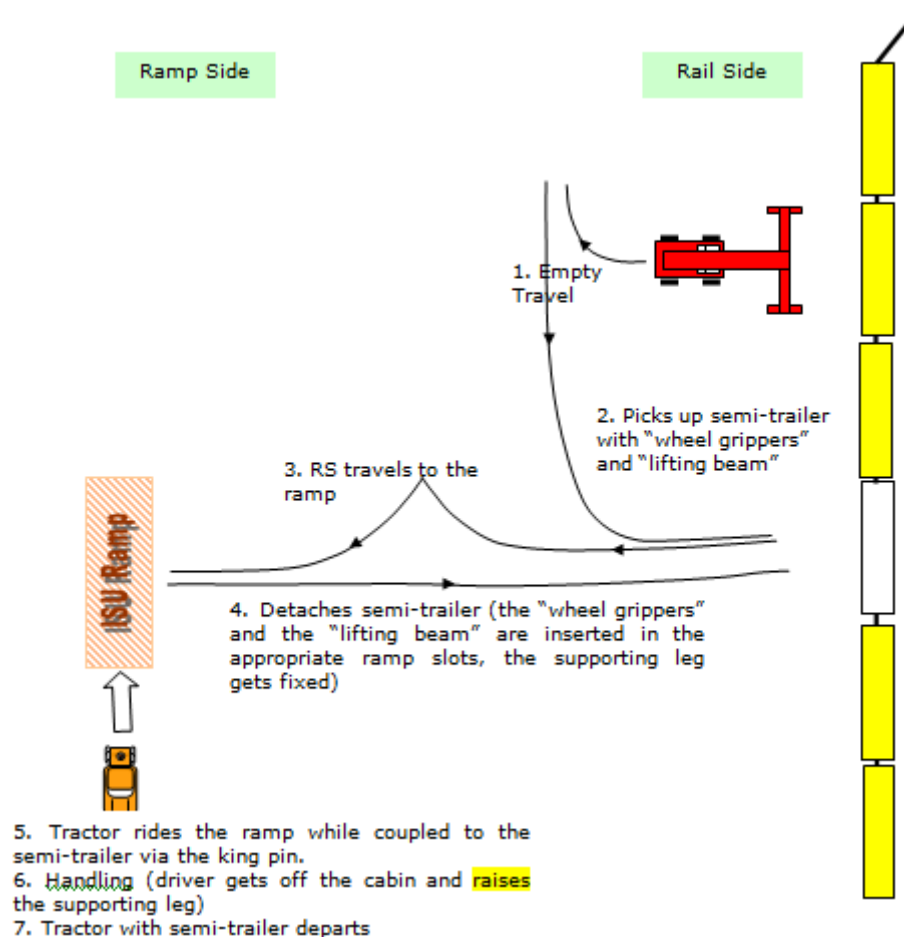
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας σηκώνει το ημι-ρυμουλκούμενο και το μεταφέρει προς το βαγόνι
- Ο ελκυστήρας αναχωρεί
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας τοποθετεί το ημι-ρυμουλκούμενο στο βαγόνι

#### Περίπτωση LU:

Αρχικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι εσοχές τις ράμπας ISU είναι άδειες, ο ελκυστήρας δεν μεταφέρει ημι-ρυμουλκούμενο και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην σιδηροδρομική γραμμή.

Τελικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι είναι στην ράμπα, το φορτηγό αναχωρεί και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην ράμπα ISU.

Σχήμα 4.2: Περίπτωση LU (Πηγή cream report).



- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας σηκώνει το ημι-ρυμουλκούμενο από το βαγόνι καθώς και τις αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι

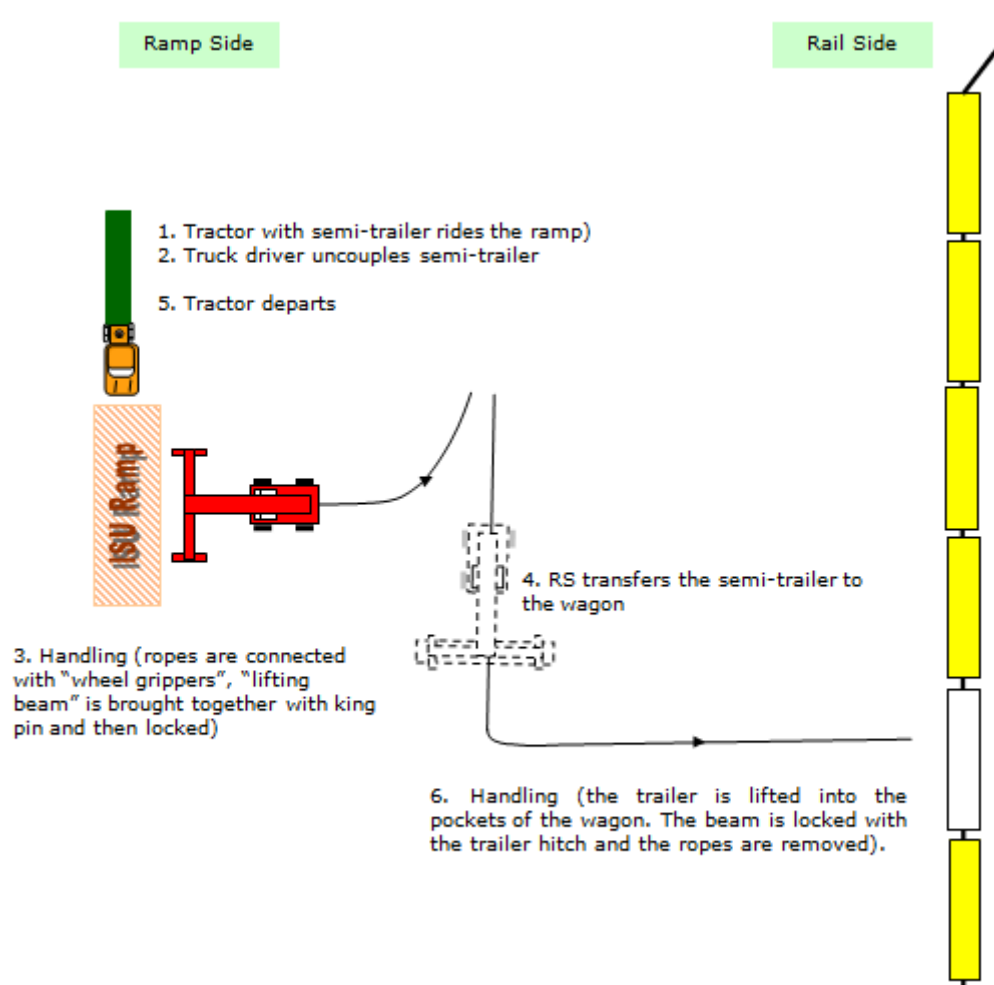
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας κινείται προς την ράμπα, τοποθετεί τις αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι στις εσοχές της ράμπας ISU και το ημι-ρυμουλκούμενο στην ράμπα
- Ο ελκυστήρας ανεβαίνει την ράμπα και συνδέεται με το ημι-ρυμουλκούμενο
- Ο ελκυστήρας με το ημι-ρυμουλκούμενο αναχωρεί

### Περίπτωση UL:

Αρχικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι εσοχές της ράμπας ISU δεν είναι άδειες, ο ελκυστήρας μεταφέρει ένα ημι-ρυμουλκούμενο και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην ράμπα.

Τελικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι είναι στην ράμπα, το φορτηγό αναχωρεί και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην σιδηροδρομική γραμμή.

Σχήμα 4.3: Περίπτωση UL (Πηγή cream report).



- Ο ελκυστήρας με το ημι-ρυμουλκούμενο ανεβαίνει στην ράμπα

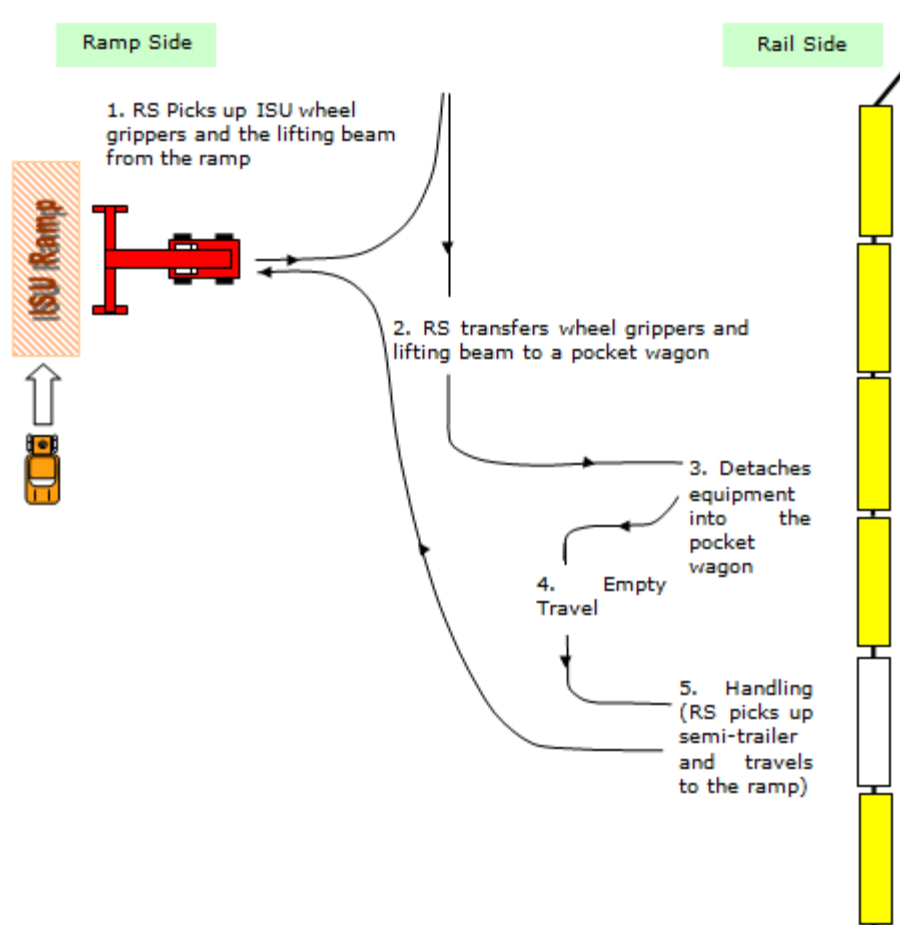
- Ο οδηγός αποσυνδέει το ημι-ρυμουλκούμενο
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας σηκώνει το ημι-ρυμουλκούμενο και κάνετε προς το βαγόνι
- Ο ελκυστήρας αναχωρεί
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας τοποθετεί το ημι-ρυμουλκούμενο στο βαγόνι

#### Περίπτωση UU:

Αρχικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι εσοχές της ράμπας ISU δεν είναι άδειες, ο ελκυστήρας δε φέρει ημι-ρυμουλκούμενο και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά στην ράμπα.

Τελικές συνθήκες για τις τρέχουσες λειτουργίες: οι αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι είναι στην ράμπα, το φορτηγό αναχωρεί και το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι κοντά ράμπα.

Σχήμα 4.4: Περίπτωση UU (Πηγή cream report).



- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας παραλαμβάνει από την ράμπα τις αρπάγες τροχών και το ανυψωτικό δοκάρι
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας μεταφέρει τα εξαρτήματα στο βαγόνι

- Τοποθετούνται τα εξαρτήματα εντός του βαγονιού
- Το όχημα εμπρόςθιας στοιβασίας σηκώνει το ημι-ρυμουλκούμενο από το βαγόνι
- Το όχημα εμπρόςθιας στοιβασίας κινείται προς την ράμπα

### 4.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Σε αυτό το σημείο της εργασίας παρουσιάζονται τα στοιχεία εισόδου για την εκτέλεση του προγράμματος.

Για αρχή πρέπει να εκχωρήσουμε και τον μηχανολογικό εξοπλισμό και γενικά τους πόρους που διαθέτει ο τερματικός σταθμός. Έτσι εκχωρούμε τα 2 οχήματα εμπρόςθιας στοιβασίας (reach stackers) και τις 2 ράμπες ISU που διαθέτει ο σταθμός ώστε αυτοί οι πόροι να χρησιμοποιούνται όταν ένα φορτηγό με ή χωρίς ημι-ρυμουλκούμενο φτάνει στην μονάδα που εξυπηρετούν.

Στην συνέχεια θα εισάγουμε τις αρχικές μεταβλητές με μια μονάδα ανάγνωσης δεδομένων (read module). Το πρόγραμμα διαβάζει τις τιμές από ένα αρχείο Excel. Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα εισαγωγής στοιχείων.

Στην πρώτη στήλη εισάγουμε τους χρόνους αφίξεων των φορτηγών με ή χωρίς ημι-ρυμουλκούμενα (truck arrival times) σε μονάδα μέτρησης τα δευτερόλεπτα. Το χαρακτηριστικό αυτό ονομάζεται στο πρόγραμμα Attribute1EntryTime. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα φορτηγά κατέφθασαν εντός 1140 δευτερολέπτων δηλαδή εντός διαστήματος 19 λεπτών.

Στην δεύτερη στήλη διαχωρίζουμε τα φορτηγά (με τα ημι-ρυμουλκούμενα) σε φορτωμένα ή άδεια (loaded / unloaded). Έτσι αν το δεύτερο χαρακτηριστικό έχει τιμή 10 τότε είναι άδειο και αν έχει τιμή 20 είναι φορτωμένο. Το χαρακτηριστικό ονομάζεται στο πρόγραμμα Attribute16LoadState.

Στην τρίτη στήλη καθορίζουμε τον κανόνα προτεραιότητας που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι σταθερός, με τιμή ίση με 1, δηλαδή τα φορτηγά με ή χωρίς τα ημι-ρυμουλκούμενα εξυπηρετούνται με την σειρά που αφικνούνται με κανόνα προτεραιότητας FIFO (first in – first out). Στο πρόγραμμα το χαρακτηριστικό αυτό ονομάζεται Attribute17PriorityLevel.

Στην τέταρτη στήλη εισάγουμε το χαρακτηριστικό που υποδεικνύει την θέση του βαγονιού στο τρένο (wagon position on train). Αν η τιμή είναι μικρότερη ή ίση με 20 τότε το φορτηγό θα κινηθεί προς την πρώτη ράμπα (κοντά στο μπροστινό μέρος του τρένου), αλλιώς το ημι-ρυμουλκούμενο θα κινηθεί στην δεύτερη (κοντά στο πίσω μέρος του τρένου). Το χαρακτηριστικό το ονομάζουμε Attribute2WagonPosition.

Στις υπόλοιπες 3 στήλες τα χαρακτηριστικά παίρνουν τιμές αργότερα με χρήση κώδικα σε μονάδες σχεδιασμού VBA, οπότε απλά τα εκχωρούμε με μηδενικές αρχικές τιμές.

Πίνακας 4.1: Στοιχεία εισόδου σε φύλλο Excel, προς διάβασμα από την μονάδα ανάγνωσης δεδομένων του λογισμικού Arena.

| TAT   | L / U | Priority | WPonT | H1 | H2 | H3 |
|-------|-------|----------|-------|----|----|----|
| 0     | 20    | 1        | 23    | 0  | 0  | 0  |
| 30    | 10    | 1        | 1     | 0  | 0  | 0  |
| 40    | 20    | 1        | 22    | 0  | 0  | 0  |
| 50    | 20    | 1        | 24    | 0  | 0  | 0  |
| 60    | 20    | 1        | 26    | 0  | 0  | 0  |
| 120   | 20    | 1        | 38    | 0  | 0  | 0  |
| 180   | 10    | 1        | 15    | 0  | 0  | 0  |
| 240   | 20    | 1        | 28    | 0  | 0  | 0  |
| 300   | 10    | 1        | 11    | 0  | 0  | 0  |
| 360   | 10    | 1        | 12    | 0  | 0  | 0  |
| 420   | 10    | 1        | 20    | 0  | 0  | 0  |
| 480   | 20    | 1        | 23    | 0  | 0  | 0  |
| 540   | 20    | 1        | 29    | 0  | 0  | 0  |
| 600   | 10    | 1        | 9     | 0  | 0  | 0  |
| 660   | 10    | 1        | 19    | 0  | 0  | 0  |
| 720   | 10    | 1        | 15    | 0  | 0  | 0  |
| 780   | 10    | 1        | 5     | 0  | 0  | 0  |
| 840   | 20    | 1        | 30    | 0  | 0  | 0  |
| 900   | 20    | 1        | 35    | 0  | 0  | 0  |
| 960   | 20    | 1        | 23    | 0  | 0  | 0  |
| 1.020 | 10    | 1        | 19    | 0  | 0  | 0  |
| 1.080 | 10    | 1        | 18    | 0  | 0  | 0  |
| 1.140 | 20    | 1        | 36    | 0  | 0  | 0  |

Το χαρακτηριστικό H1 παίρνει τιμή αργότερα μέσα από κώδικα VBA ίση με 180 δευτερόλεπτα και αντιπροσωπεύει τον χρόνο που χρειάζεται ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας για να εκφορτώσει ένα ημι-ρυμουλκούμενο από μια ράμπα ISU (cream report). Η ονομασία του στο πρόγραμμα είναι AttributeH1.

Το χαρακτηριστικό H2 παίρνει επίσης τιμή από την μονάδα VBA και έχει διαφορετικές τιμές (συνήθως 210 δευτερόλεπτα) ανάλογα με το χρόνο κύκλου του μηχανήματος και αντιπροσωπεύει τον χρόνο που χρειάζεται ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας για να φορτώσει ένα ημι-ρυμουλκούμενο σε τρένο (cream report). Η ονομασία του στο πρόγραμμα είναι AttributeH2.

Το χαρακτηριστικό H3 αντιπροσωπεύει τον χρόνο που χρειάζεται ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας ώστε να φορτώσει ένα ημι-ρυμουλκούμενο σε φορτηγό και παίρνει τιμή ίση με 222 δευτερόλεπτα (cream report) από την μονάδα VBA. Η ονομασία του είναι AttributeH3.



Στην συνέχεια δίνουμε τιμές στους χρόνους που χρειάζονται τα φορτηγά για να κινηθούν από κόμβο σε κόμβο μέσα στον τερματικό με μια μονάδα εκχώρησης. Έτσι δίνουμε τιμές στις μεταβλητές:

- Travel time Node1 Ramp1 = 240 sec, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένα φορτηγό για να φτάσει από τον πρώτο κόμβο στην ράμπα 1 είναι 240 δευτερόλεπτα.
- Travel time Node1 Ramp2 = 300 sec, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένα φορτηγό για να φτάσει από τον πρώτο κόμβο στην ράμπα 2 είναι 300 δευτερόλεπτα. Η διαδρομή προς την ράμπα 2 είναι 60 δευτερόλεπτα παραπάνω από την διαδρομή προς την ράμπα 1.
- Travel time Ramp1 Gate\_out = 120 sec, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένα φορτηγό για να φτάσει στην έξοδο από την ράμπα 1 είναι 120 δευτερόλεπτα.
- Travel time Ramp2 Gate\_out = 120 sec, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται ένα φορτηγό για να φτάσει στην έξοδο από την ράμπα 2 είναι 120 δευτερόλεπτα.

Επίσης ορίζουμε έναν χρόνο καθυστέρησης για να εισέρθει ένα φορτηγό που φέρει ένα ημι-ρυμουλκούμενο σε μια ράμπα ISU ίσο με 120 δευτερόλεπτα.

Τέλος εκχωρούμε τα σχήματα και τα σύμβολα που παριστάνουν τα άδεια και φορτωμένα φορτηγά και ημι-ρυμουλκούμενα καθώς και τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας με χρήση των βιβλιοθηκών τις Arena. Δηλαδή δίνουμε «ζωή» στις οντότητες μας με τα ανάλογα σύμβολα που είναι αντιπροσωπευτικά για αυτά. Οι ονομασίες τους είναι:

- Entity type\_RS1 και Entity type\_RS2 για τα δυο οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας με σύμβολο Entity Picture, Picture.Van.
- Entity type\_LOADED TRUCK για τα φορτωμένα φορτηγά με σύμβολο Entity Picture, LoadTruckRight.
- Entity type\_UNLOADED TRUCK για τα άδεια φορτηγά με σύμβολο Entity Picture, UnTruckRight.

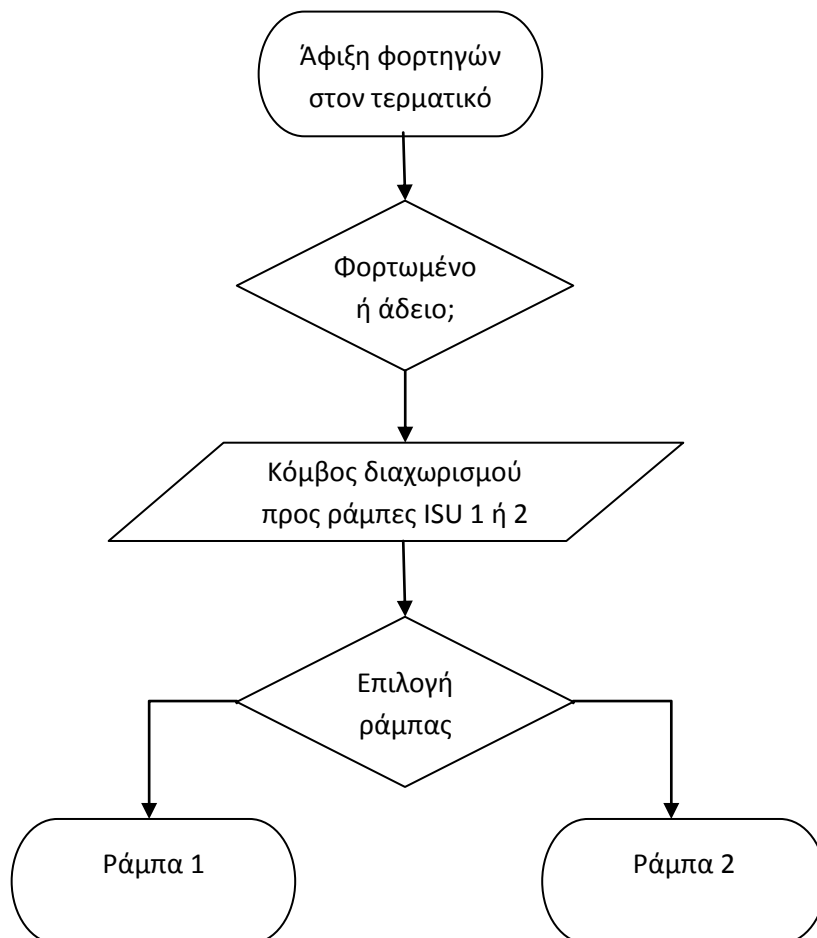
#### 4.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARENA

##### 4.4.1 Διάγραμμα ροής του μοντέλου

Πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση του μοντέλου προσομοίωσης, είναι σημαντικό να δείξουμε με έναν απλό τρόπο τις διεργασίες και τις λήψεις αποφάσεων που ακολουθούνται με ένα διάγραμμα ροής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για την καλύτερη κατανόηση και πιο εύκολη παρουσίαση του προγράμματος θα χωρίσουμε το μοντέλο σε τέσσερα μέρη. Για το καθένα θα φτιάξουμε και το διάγραμμα ροής που αντιπροσωπεύει τις σημαντικές λειτουργίες που λαμβάνουν μέρος στο κάθε κομμάτι του τερματικού σταθμού.

Το πρώτο κομμάτι του τερματικού αποτελείται από την πύλη εισόδου και την διαδρομή έως τον κοινό κόμβο που οδηγεί στις δυο ράμπες ISU. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (σχήμα 4.5).

Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροής, πρώτο μέρος.

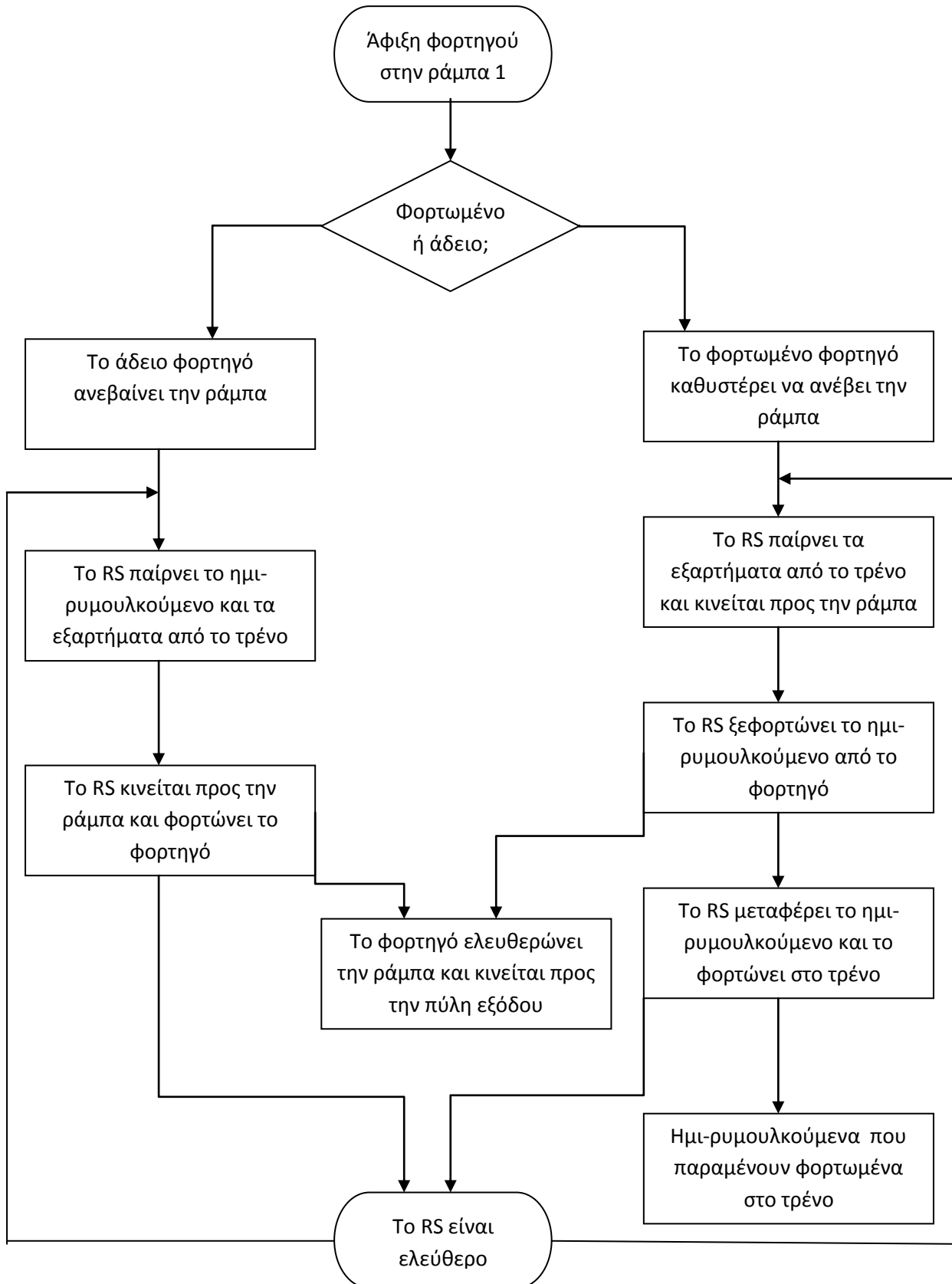


Το δεύτερο κομμάτι του τερματικού σταθμού είναι πιο πολύπλοκο και αποτελείται από την ράμπα 1 και διάφορες διαδρομές που ακολουθούνται από το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας που ικανοποιεί τις μεταφορτώσεις εντός του συγκεκριμένου κομματιού του τερματικού σταθμού. Έτσι λοιπόν τα φορτηγά περιμένουν κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να ανέβουν στην ράμπα, εξυπηρετούνται και στην συνέχεια κινούνται προς την έξοδο του τερματικού. Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας όμως έχει να ξεφορτώσει ή να φορτώσει φορτηγά, να μεταφέρει τα εξαρτήματα που χρειάζονται για τους χειρισμούς / ελιγμούς στην ράμπα ISU (αρπάγες τροχών και ανυψωτική δοκό) και να μεταφέρει τα ημι-ρυμουλκούμενα από και προς τα φορτηγά ή το τρένο που περιμένει να φορτωθεί. Το παρακάτω διάγραμμα ροής (σχήμα 4.6) είναι αντιπροσωπευτικό των κινήσεων που ακολουθούνται στο δεύτερο κομμάτι του τερματικού σταθμού.

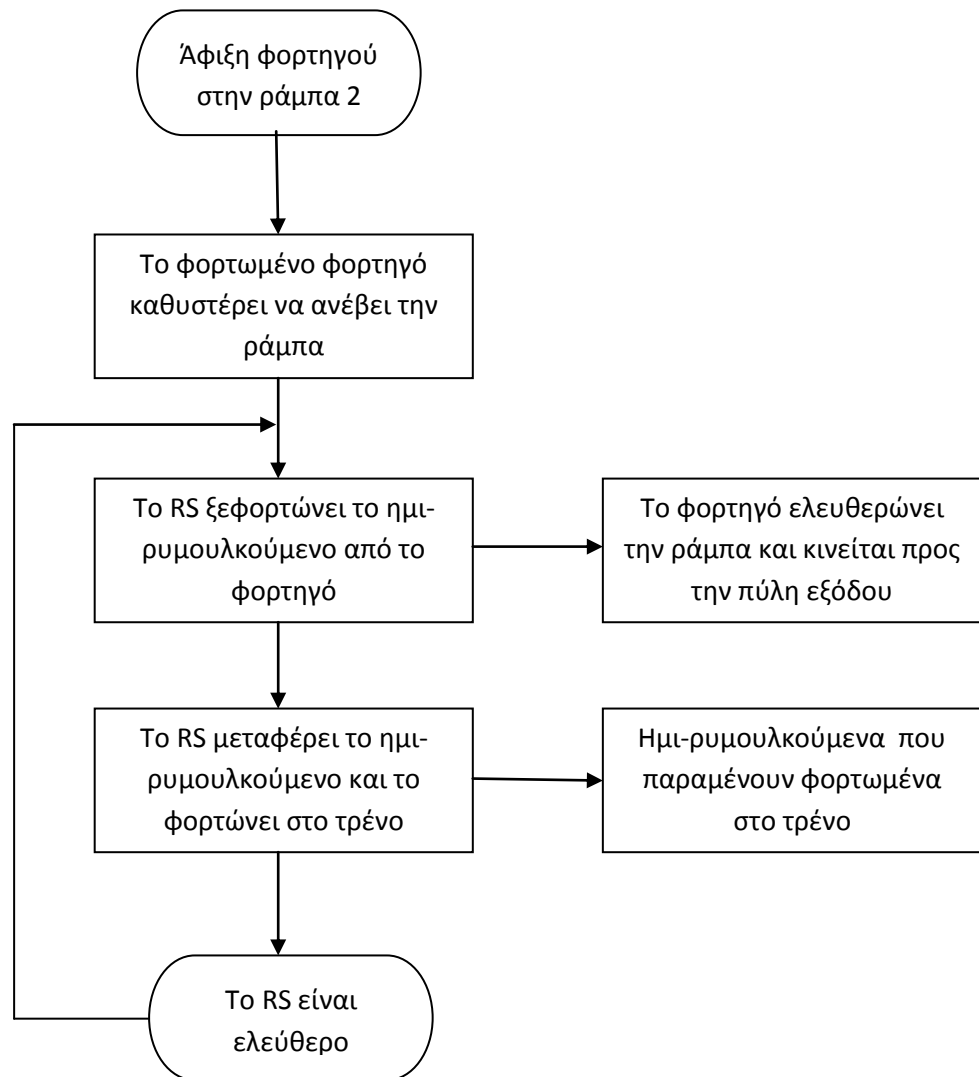
Το τρίτο κομμάτι του τερματικού αποτελείται από την ράμπα 2 και τις διαδρομές που ακολουθούνται από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας του τερματικού σταθμού που εκτελεί τις μεταφορτώσεις εντός του συγκεκριμένου κομματιού του τερματικού σταθμού. Όπως και στο δεύτερο κομμάτι του τερματικού το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας ξεφορτώνει τα ημι-ρυμουλκούμενα από τα φορτηγά και τα οδηγεί από την ράμπα ISU στην περιοχή που αναμένει το τρένο. Στην συνέχεια τα φορτώνει στο τρένο και είναι ελεύθερο να κινηθεί πάλι προς την ράμπα για να ξεφορτώσει το επόμενο φορτηγό. Οι παραπάνω διεργασίες παρουσιάζονται στο τρίτο μέρος του διαγράμματος ροής (σχήμα 4.7).

Το τέταρτο και τελευταίο κομμάτι του τερματικού σταθμού είναι ουσιαστικά η περιοχή εξόδου του τερματικού. Τα φορτηγά, άδεια ή φορτωμένα με ημι-ρυμουλκούμενα φτάνουν στην πύλη εξόδου και καθώς υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής τους εντός του τερματικού σταθμού, αποχωρούν από τον τερματικό σταθμό (σχήμα 4.8).

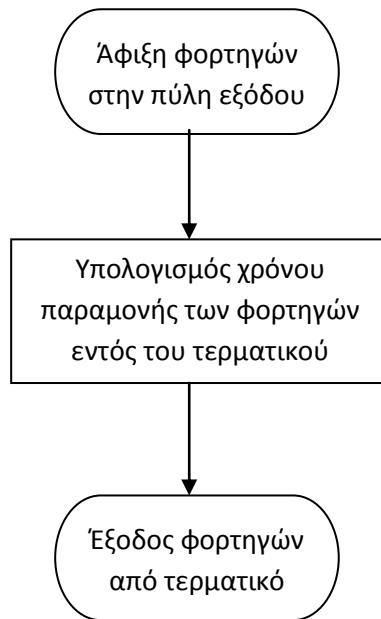
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα ροής, δεύτερο μέρος.



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα ροής, τρίτο μέρος.

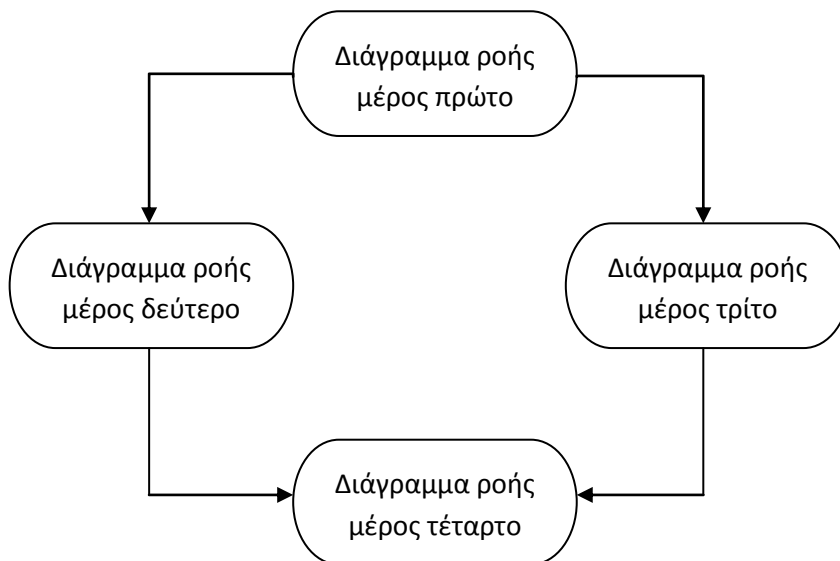


Σχήμα 4.8: Διάγραμμα ροής, τέταρτο μέρος.



Συνολικά το διάγραμμα ροής είναι το εξής (σχήμα 4.9).

Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ροής διαδικασιών εντός του τερματικού.



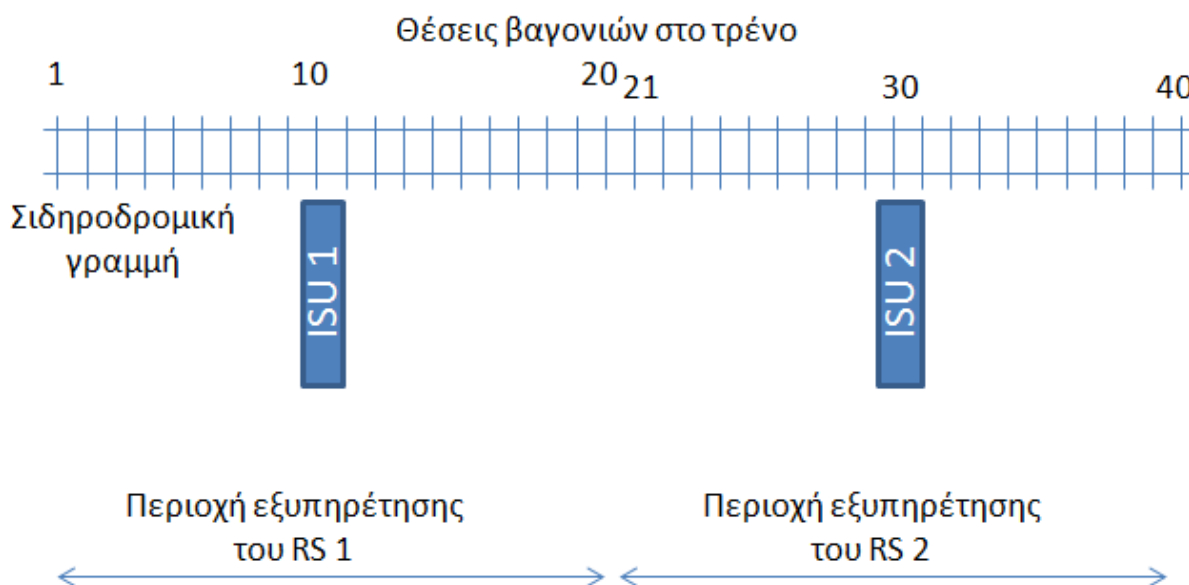
#### 4.4.2 Το μοντέλο προσομοίωσης - Σενάριο 1<sup>ο</sup>

Λόγω της πολυπλοκότητας του μοντέλου θα χωρίσουμε το μοντέλο σε τέσσερα μέρη όπως κάναμε και στην προηγούμενη ενότητα. Είναι προφανές ότι για λόγους ευκρίνειας και ευκολίας στην παρουσίαση του μοντέλου, αυτός είναι ο μοναδικός τρόπος για να παρουσιαστεί με γραπτό τρόπο. Έτσι θα ακολουθήσουμε τον ίδιο διαχωρισμό που κάναμε και στο διάγραμμα ροής.

Σε αυτό το σενάριο έχουμε τα εξής (σχήμα 4.10):

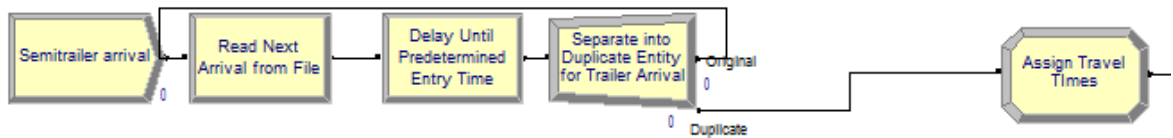
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 1 εξυπηρετεί την πρώτη ράμπα.
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 2 εξυπηρετεί την δεύτερη ράμπα.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 1-20 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 1 και το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 21-40 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 2 και το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Σε κάθε ράμπα τα φορτηγά εξυπηρετούνται σύμφωνα με την σειρά άφιξης τους (κανόνας προτεραιότητας FIFO).
- Η ράμπα ISU 1 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 10 και η ράμπα ISU 2 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 30.

Σχήμα 4.10: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 1<sup>ο</sup> σενάριο



#### 4.4.2.1 Μέρος πρώτο – Αφίξεις και δρομολογήσεις φορτηγών

Στο κομμάτι αυτό του πρώτου μέρους χρησιμοποιούμε τις μονάδες δημιουργίας (create), ανάγνωσης δεδομένων (readandwrite), καθυστέρησης (delay), διαχωρισμού (separate) και εκχώρησης (assign).



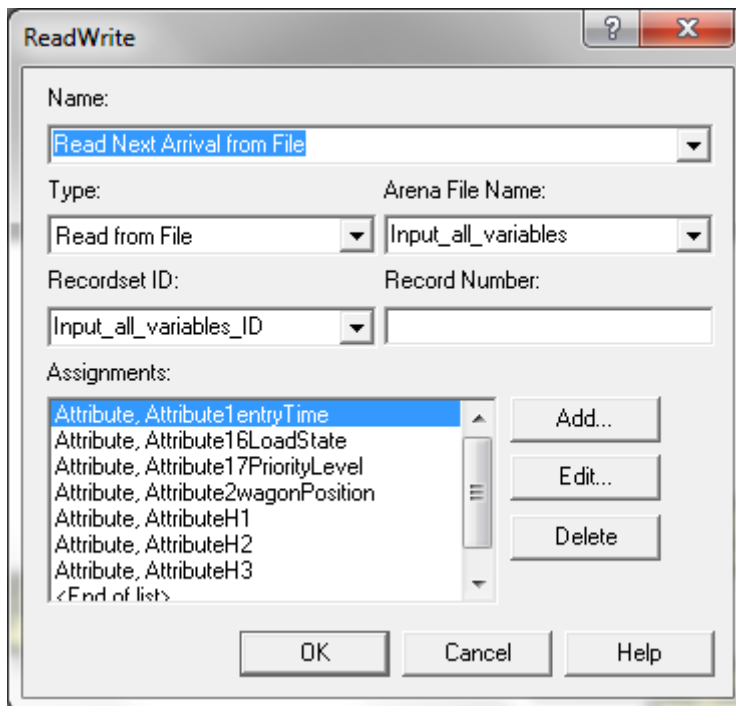
Στην μονάδα δημιουργίας απλά ορίζουμε μια άφιξη μιας οντότητας σε χρόνο σε δευτερόλεπτα, το πρώτο μόλις δευτερόλεπτο που ξεκινάει το μοντέλο να τρέχει σαν προκαθορισμένη άφιξη.

Μονάδα δημιουργίας 1.1.

Στην συνέχεια στην μονάδα ανάγνωσης εισάγουμε τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων όπως αναφέραμε στην ενότητα των στοιχείων εισόδου (εικόνα 4.1).

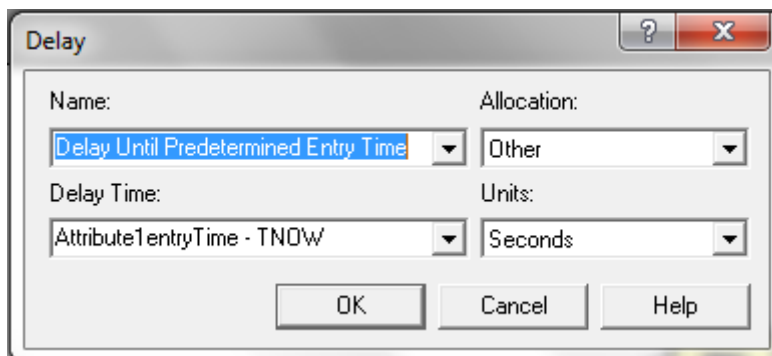


## Μονάδα ανάγνωσης δεδομένων 1.2.



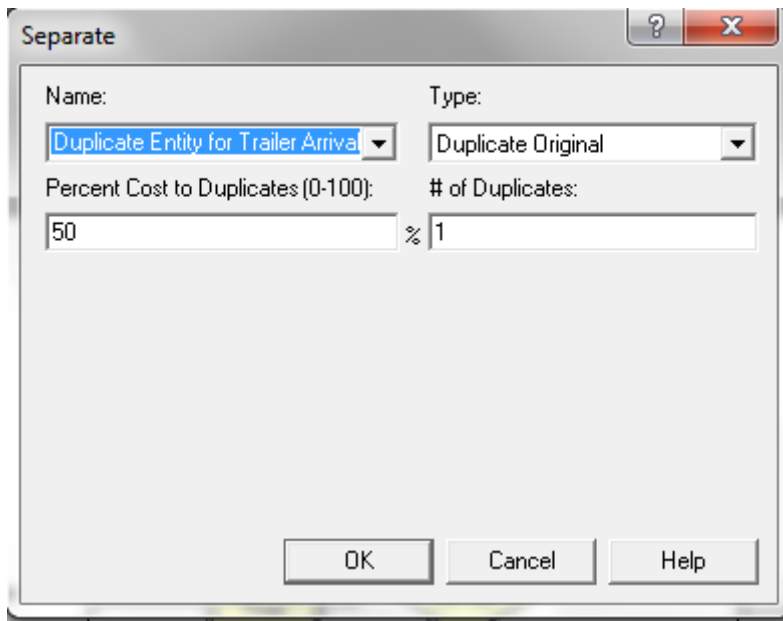
Η επόμενη μονάδα καθυστέρησης χρησιμεύει για την άφιξη των φορτηγών στο χρόνο που ορίζουμε στο αρχείο excel με την εισαγωγή του χαρακτηριστικού Attribute1EntryTime.

## Μονάδα καθυστέρησης 1.3.



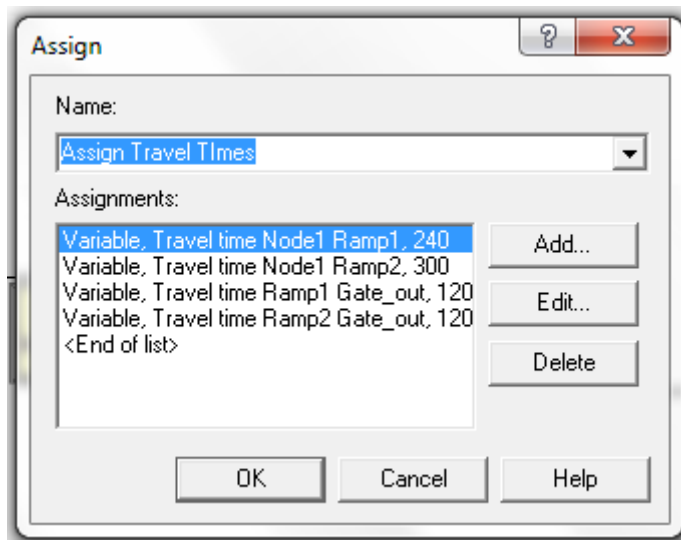
Η επόμενη μονάδα χρησιμεύει για να επαναλαμβάνεται ο βρόγχος και να διαβάζονται τα επόμενα χαρακτηριστικά των επόμενων οντοτήτων / φορτηγών. Έτσι η αρχική (original) οντότητα γυρίζει πριν την μονάδα ανάγνωσης δεδομένων για να πάρει τα επόμενα χαρακτηριστικά ενώ το αντίγραφο συνεχίζει προς την επόμενη μονάδα σχεδιασμού του μοντέλου.

## Μονάδα διαχωρισμού 1.4

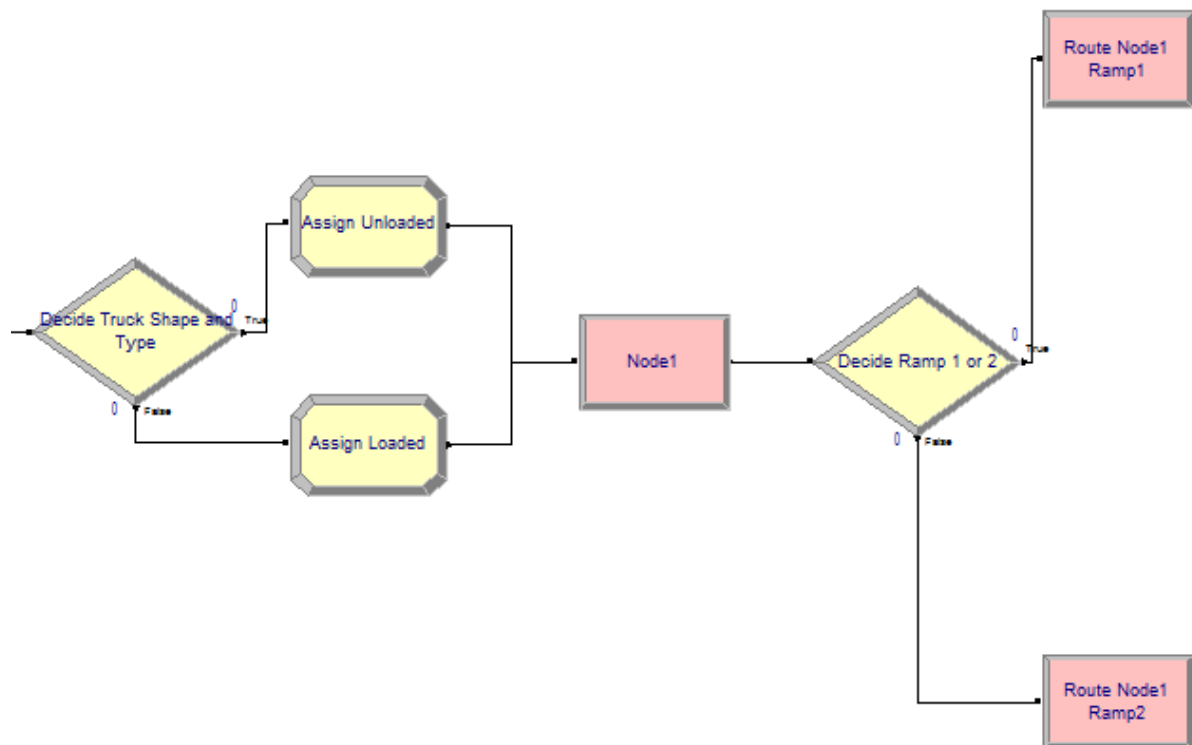


Το αντίγραφο της οντότητας που αποχωρεί από την μονάδα διαχωρισμού κατευθύνεται στην επόμενη μονάδα, εκχώρησης, που ορίζονται οι χρόνοι διαδρομών εντός του τερματικού όπως αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου.

## Μονάδα εκχώρησης 1.5.



Το επόμενο κομμάτι του μοντέλου αποτελείται από μια μονάδα απόφασης (decide), στην συνέχεια δυο μονάδες εκχώρησης, μια μονάδα σταθμό (station), άλλη μια μονάδα απόφασης που οδηγεί σε δυο μονάδες διαδρομών (route), άνω και κάτω.



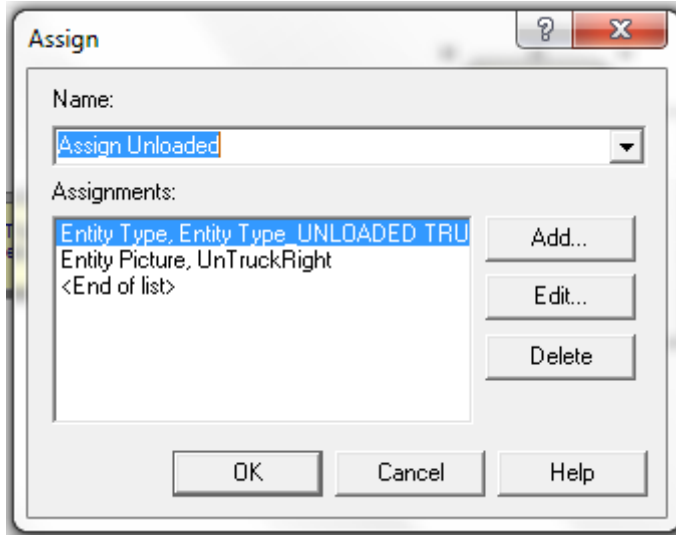
Η πρώτη μονάδα απόφασης είναι δυο εξόδων σύμφωνα με την συνθήκη και χωρίζει τα φορτηγά σε άδεια ή φορτωμένα ανάλογα με το χαρακτηριστικό Attribute16LoadState. Έτσι λοιπόν αν η τιμή του χαρακτηριστικού είναι 10 τότε η οντότητα κινείται προς την άνω μονάδα εκχώρησης, ενώ αν η τιμή του χαρακτηριστικού είναι 20 (διάφορη του 10) τότε κινείται προς την κάτω μονάδα εκχώρησης.

Μονάδα απόφασης 1.6.

Στην άνω μονάδα εκχώρησης δίνουμε σχήμα στην οντότητα μας, η οποία όπως είπαμε παραπάνω είναι ένα φορτηγό άδειο, δηλαδή χωρίς ημι-ρυμουλκούμενο.

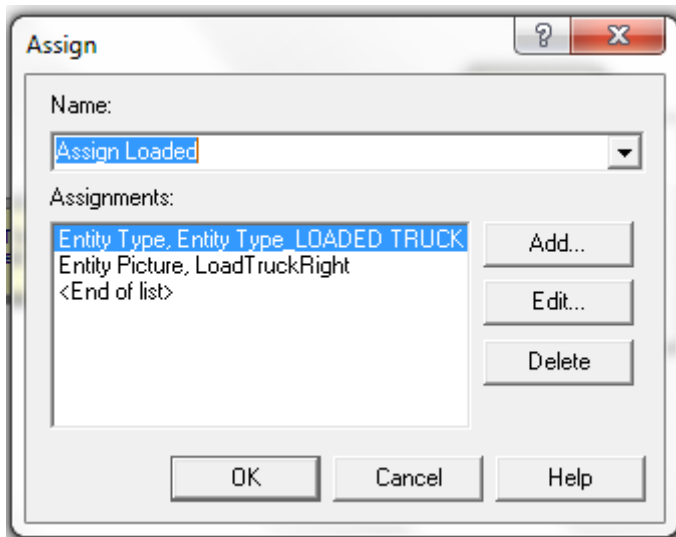
Χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη του λογισμικού Arena διαλέγουμε το πιο κατάλληλο και αντιπροσωπευτικό σχήμα.

Μονάδα εκχώρησης 1.7.



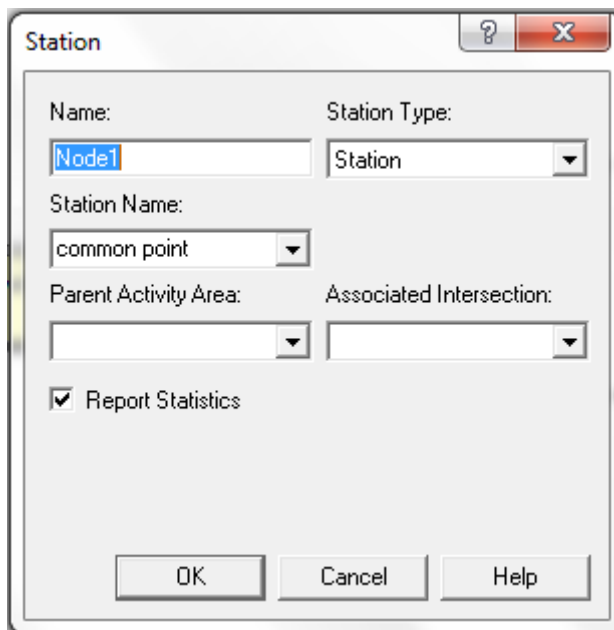
Στην κάτω μονάδα εκχώρησης δίνουμε επίσης σχήμα στην οντότητα, δηλαδή δίνουμε σχήμα για ένα φορτηγό φορτωμένο με ημι-ρυμουλκούμενο.

Μονάδα εκχώρησης 1.8.



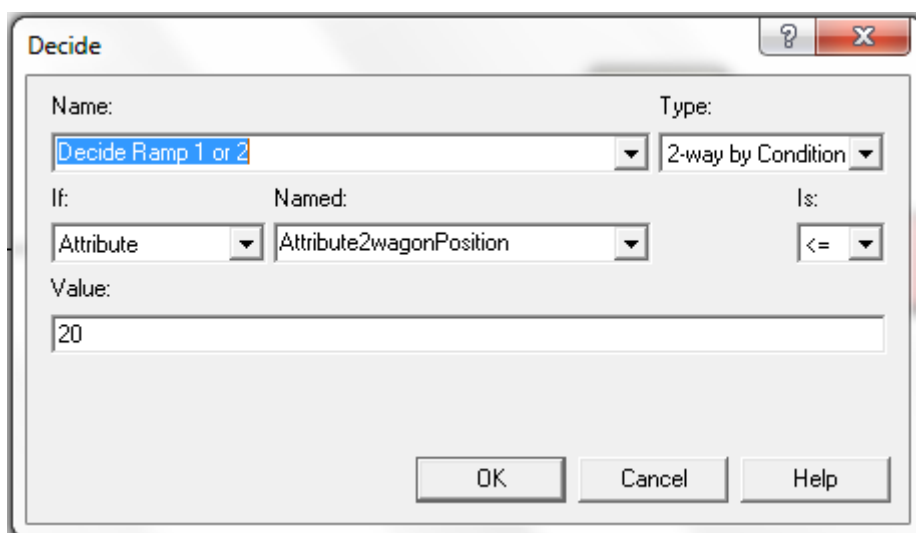
Η μονάδα σχεδιασμού σταθμός αντιπροσωπεύει τον πρώτο κόμβο του τερματικού πριν τις διαδρομές που θα ακολουθήσουν τα φορτηγά προς τις ράμπες ISU.

Μονάδα σταθμός 1.9.



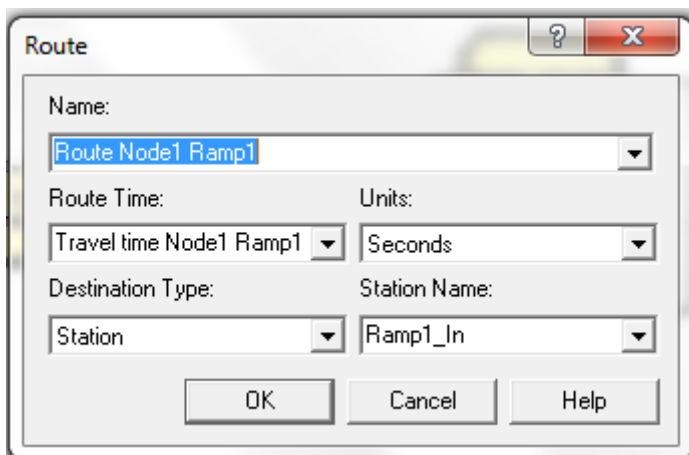
Η δεύτερη μονάδα απόφασης σε αυτό το κομμάτι του πρώτου μέρους οδηγεί τα φορτηγά στις δυο διαδρομές που οδηγούν στις ράμπες ISU, με βάση την κατάσταση του βαγονιού στο τρένο, δηλαδή το χαρακτηριστικό Attribute2WagonPosition. Έτσι αν η τιμή μικρότερη ή ίση με 20 το φορτηγό κινείται προς την διαδρομή που οδηγεί στην πρώτη ράμπα, αλλιώς κινείται προς την δεύτερη διαδρομή που οδηγεί στην δεύτερη ράμπα.

Μονάδα απόφασης 1.10.



Η άνω μονάδα διαδρομής περιλαμβάνει την μεταβλητή Travel Time Node1 Ramp1 ορισμένη όπως αναφέρθηκε στα στοιχεία εισόδου (με τιμή ίση με 240 δευτερόλεπτα) και οδηγεί στην μονάδα σταθμού με ονομασία Ramp1\_In, δηλαδή στην αρχή της ράμπας 1.

Μονάδα διαδρομής 1.11.



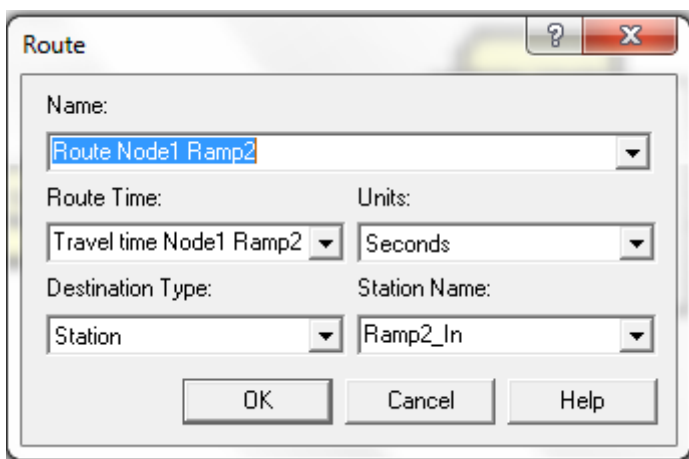
The screenshot shows a 'Route' dialog box with the following fields:

- Name: Route Node1 Ramp1
- Route Time: Travel time Node1 Ramp1
- Units: Seconds
- Destination Type: Station
- Station Name: Ramp1\_In

Buttons: OK, Cancel, Help

Η κάτω μονάδα διαδρομής περιλαμβάνει την διαδρομή από τον κοινό κόμβο προς την μονάδα σταθμού Ramp2\_In, την αρχή της ράμπας 2. Ο χρόνος διαδρομής έχει οριστεί στα στοιχεία εισόδου με ονομασία Travel Time Node1 Ramp2 (με τιμή ίση με 300 δευτερόλεπτα).

Μονάδα διαδρομής 1.12.



The screenshot shows a 'Route' dialog box with the following fields:

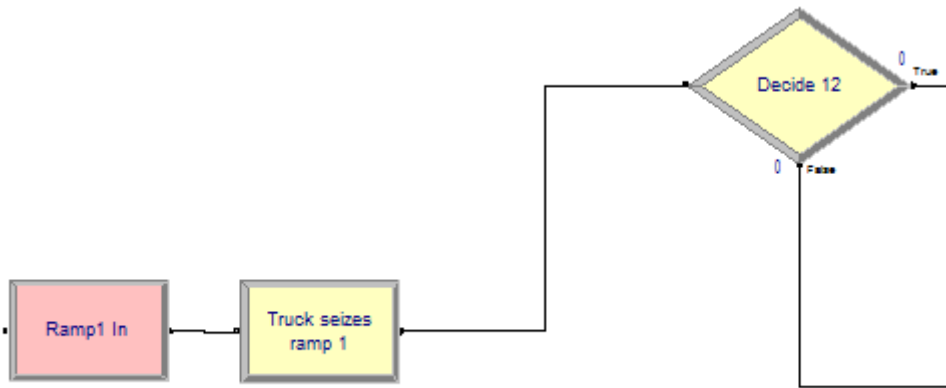
- Name: Route Node1 Ramp2
- Route Time: Travel time Node1 Ramp2
- Units: Seconds
- Destination Type: Station
- Station Name: Ramp2\_In

Buttons: OK, Cancel, Help

Οι σταθμοί Ramp1\_In και Ramp2\_In είναι οι αρχικές μονάδες στα επόμενα δυο μέρη του μοντέλου, το δεύτερο και τρίτο μέρος αντίστοιχα.

#### 4.4.2.2 Μέρος δεύτερο – Περιπτώσεις LU και LL

Το πρώτο κομμάτι του δεύτερου μέρους περιλαμβάνει τις κινήσεις των φορτηγών που δεσμεύουν την ράμπα και ανάλογα με το αν είναι άδεια η φορτωμένα ακολουθούνται διαφορετικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται στο πάνω κομμάτι του δεύτερου μέρους του μοντέλου προσομοιώνουν κινήσεις LU και οι διαδικασίες που ακολουθούνται στο κάτω κομμάτι του δεύτερου μέρους προσομοιώνουν κινήσεις LL. Το κομμάτι αυτό αποτελείται από μια μονάδα σταθμού, μια μονάδα δέσμευσης (seize) και μια μονάδα απόφασης.

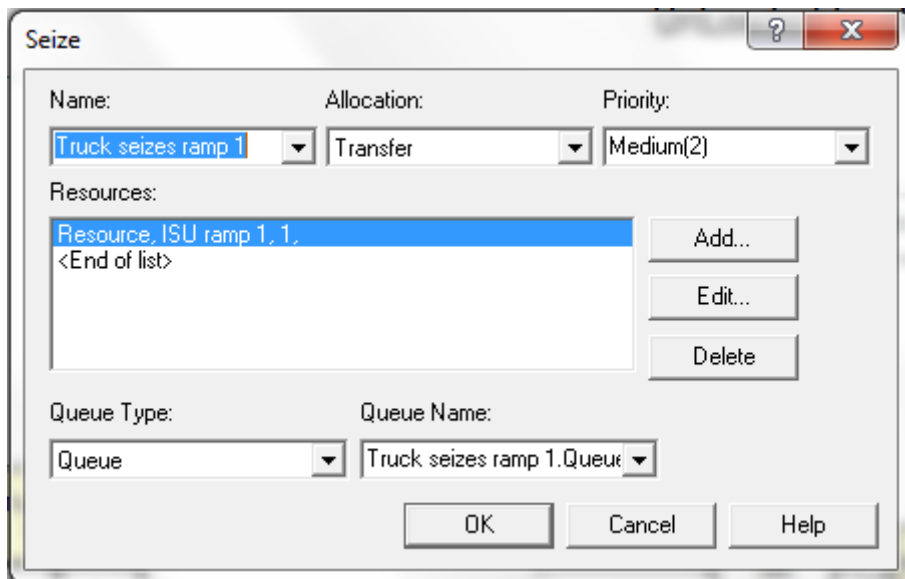


Η μονάδα σταθμού ουσιαστικά είναι η αρχή του δευτέρου μέρους και αντιπροσωπεύει την αρχή της ράμπας 1.

Μονάδα σταθμός 2.1.

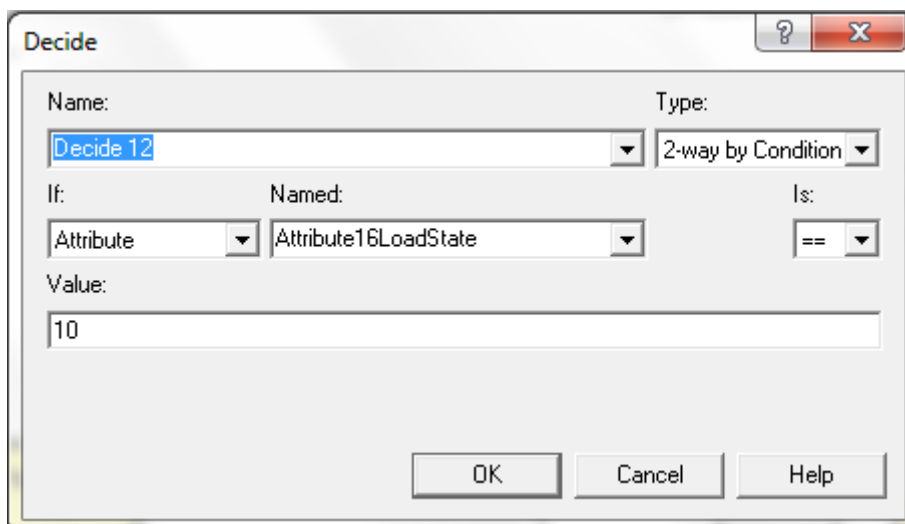
Η επομένη μονάδα δέσμευσης ουσιαστικά δεσμεύει την ράμπα για το φορτηγό που φτάνει στην αρχή της ράμπας και δημιουργεί μια ουρά για τα φορτηγά που καταφθάνουν και περιμένουν να εξυπηρετηθούν, μέχρι να εξυπηρετηθούν τα προηγούμενα από αυτά, ικανοποιώντας τον κανόνα προτεραιότητας FIFO. Επίσης σε αυτό το σημείο ορίζεται ένας από τους πόρους που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου, δηλαδή η ράμπα 1, με ονομασία ISU ramp 1.

## Μονάδα δέσμευσης 2.2.



Η μονάδα απόφασης που ακολουθεί διαχωρίζει τα φορτηγά που δεσμεύουν την ράμπα σε άδεια ή φορτωμένα με βάση το χαρακτηριστικό Attribute16LoadState. Στην συνέχεια ακολουθούνται διαφορετικές διαδικασίες σε αυτή την περιοχή του τερματικού, στην περιοχή της ράμπας 1. Αν τα φορτηγά είναι άδεια τότε ακολουθούνται κινήσεις LU και η οντότητα ακολουθεί το πάνω μέρος, ενώ αν τα φορτηγά είναι φορτωμένα τότε ακολουθούνται κινήσεις LL και η οντότητα ακολουθεί το κάτω μέρος.

## Μονάδα απόφασης 2.3.

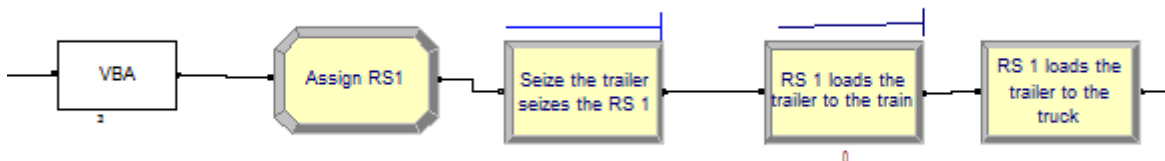


## 4.4.2.2.1 Άδεια φορτηγά – Περίπτωση LU

Αυτό το κομμάτι του δεύτερου μέρους περιλαμβάνει τις διαδικασίες που ακολουθεί το όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις όταν τα φορτηγά που δεσμεύουν την ράμπα 1 είναι



άδεια. Αποτελείται από μια μονάδα VBA, μια μονάδα εκχώρησης, μια μονάδα δέσμευσης, μια μονάδα διεργασιών (process) και μια μονάδα καθυστέρησης.



Η πρώτη μονάδα εδώ είναι μια μονάδα που περιλαμβάνει κώδικα γραμμένο σε VBA. Υπολογίζονται και ορίζονται οι χρόνοι κύκλου του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας και τα χαρακτηριστικά H1, H2 και H3 που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου. Ένα μέρος του κώδικα παρουσιάζεται παρακάτω.

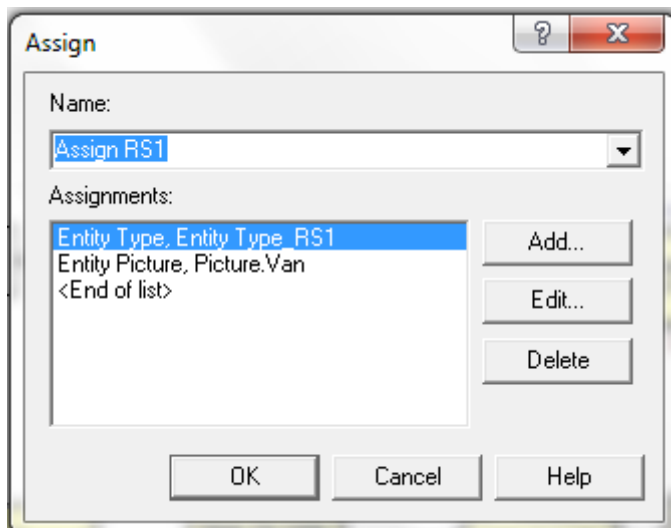
#### Μονάδα VBA 2.4.

```
Private Sub VBA_Block_3_Fire()
|' Calculation of RS 1 service time according to previous load status

    'Bo1 = 15 + 17 * Abs((Attribute2wagonPosition - PositionRamp1) - 0.5)
    'ServiceCycleRamp1Go = 10 + CInt(Bo1 / TravelSpeedLoaded)
    'ServiceCycleRamp1Return = 10 + CInt(Bo1 / TravelSpeedUnloaded)
    'AttributeH1 = 180
    'AttributeH2 = 210+ServiceCycleRamp1Go+ServiceCycleRamp1Return
    'AttributeH3 = 222
```

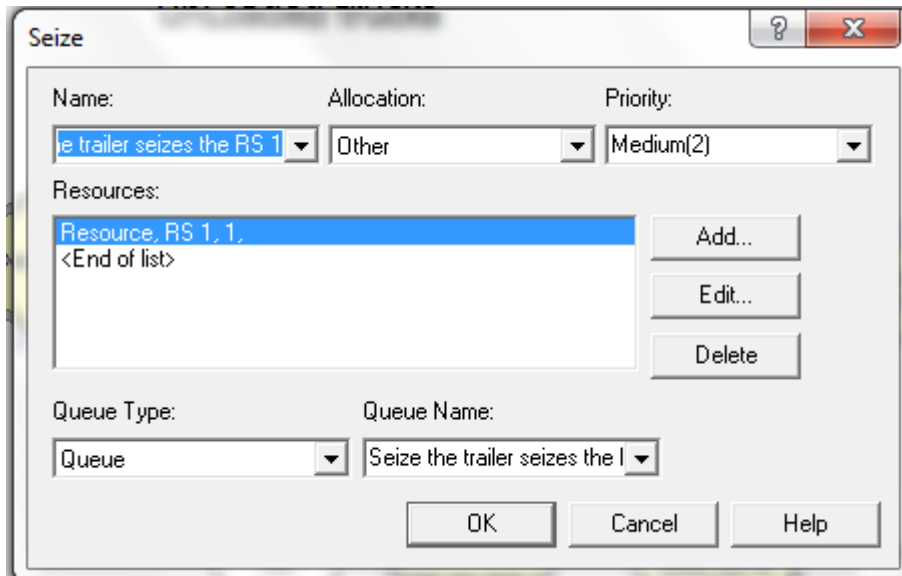
Στην επόμενη μονάδα εκχώρησης ορίζεται και παίρνει σχήμα μια από τις οντότητες που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου, το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας που αναλαμβάνει τις μεταφορτώσεις στην περιοχή της ράμπας 1, με ονομασία Entity Type\_RS1 και σχήμα Picture.Van.

#### Μονάδα εκχώρησης 2.5.



Στην μονάδα δέσμευσης που ακολουθεί το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας δεσμεύεται σαν πόρος, για την δέσμευση ενός ημι-ρυμουλκούμενου από το τρένο.

Μονάδα δέσμευσης 2.6.



Στην μονάδα διεργασιών στην συνέχεια το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας ξεφορτώνει το ημι-ρυμουλκούμενο από το τρένο και το μεταφέρει (μαζί με τα εξαρτήματα που χρειάζονται στην ράμπα) στην ράμπα για να το φορτώσει σε ένα άδειο φορτηγό που περιμένει να εισέρθει στην ράμπα. Το χαρακτηριστικό H2 δείχνει τον χρόνο που χρειάζεται το όχημα εμπρόσθια στοιβασίας για τους παραπάνω ελιγμούς.

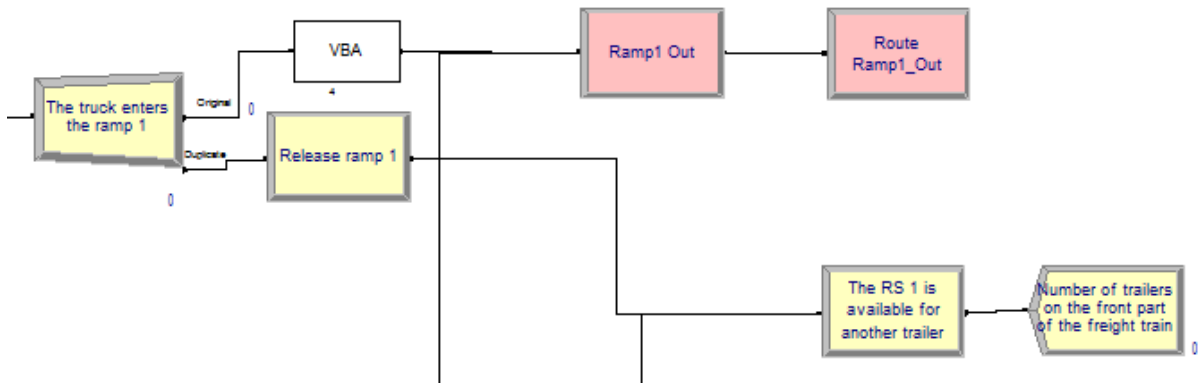
## Μονάδα διεργασιών 2.7.

Τέλος σε αυτό το κομμάτι η μονάδα καθυστέρησης παρουσιάζει τον χρόνο που χρειάζεται το όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις για να φορτώσει το ημι-ρυμουλκούμενο στο φορτηγό. Το χαρακτηριστικό H3 που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου υποδηλώνει αυτόν τον χρόνο.

## Μονάδα καθυστέρησης 2.8.

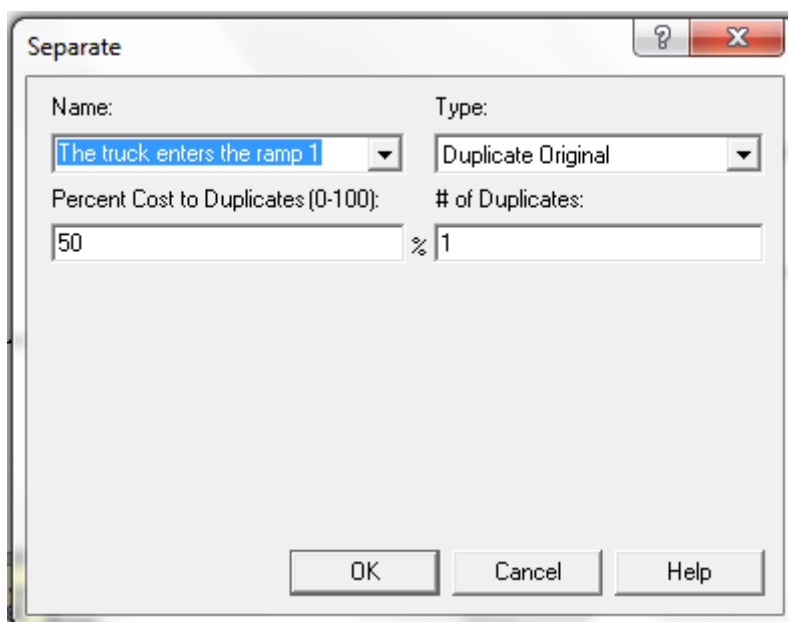
Στην συνέχεια αυτών των διαδικασιών το φορτηγό εισέρχεται στη ράμπα και φορτώνεται και στην συνέχεια την ελευθερώνει και κατευθύνεται από την έξοδο της περιοχής της ράμπας προς την πύλη εξόδου του τερματικού, καθώς το όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις αποδεσμεύεται και είναι έτοιμο για να εξυπηρετήσει τα

επόμενα φορτηγά. Έτσι λοιπόν αυτό το κομμάτι αποτελείται από μια μονάδα διαχωρισμού, μια μονάδα VBA, μια μονάδα σταθμό, μια μονάδα διαδρομών, δυο μονάδες απελευθέρωσης (release) και μια μονάδα ανάλωσης (dispose). Οι από κάτω συνδέσεις έρχονται από τις κάτω διαδικασίες (βλ. φορτωμένα φορτηγά – κινήσεις LL) αυτού του δεύτερου μέρους του μοντέλου.



Η μονάδα διαχωρισμού, στέλνει το πρωτότυπο στην μονάδα VBA για να πάρει σύμφωνα με το χαρακτηριστικό Attribute16LoadState την εικόνα που του ταιριάζει (βλ. παρακάτω) και στέλνει ένα αντίγραφο στην επόμενη μονάδα απελευθέρωσης για να απελευθερώσει τον πόρο ράμπα ISU 1.

Μονάδα διαχωρισμού 2.9.



Στον πάνω κλάδο αυτού του κομματιού, δηλαδή στον κλάδο που ακολουθεί το πρωτότυπο, ακολουθεί μια μονάδα VBA, που όπως αναφέραμε και παραπάνω έχει σκοπό στο να δώσει άλλη εικόνα στο φορτηγό που μόλις φορτώθηκε. Δηλαδή αλλάζει

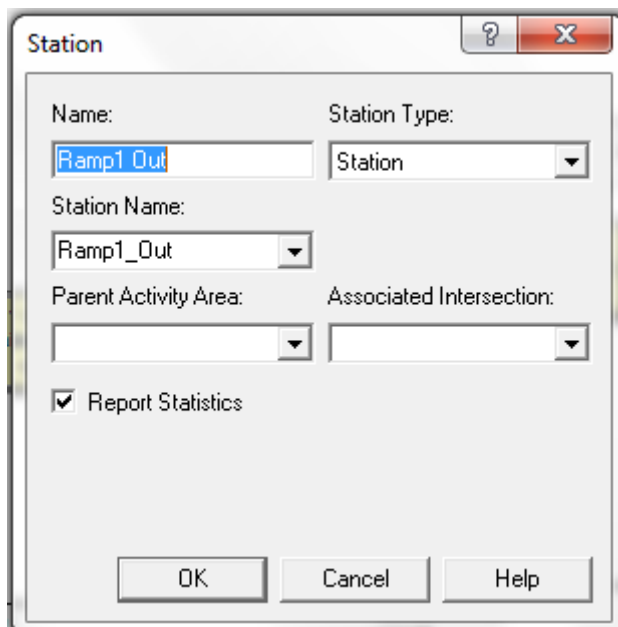
την εικόνα της οντότητας από άδειο φορτηγό σε φορτωμένο φορτηγό με ονομασία εικόνας LoadTruckLeft. Ο κώδικας στην συγκεκριμένη μονάδα VBA φαίνεται παρακάτω.

Μονάδα VBA 2.10.

```
Private Sub VBA_Block_4_Fire()  
Dim m As Arena.Model  
Dim s As SIMAN  
  
Dim Attribute16LoadState As Long  
Dim Index As Long  
  
Set m = ThisDocument.Model  
Set s = ThisDocument.Model.SIMAN  
  
Index = m.SIMAN.SymbolNumber("Attribute16LoadState")  
Attribute16LoadState = m.SIMAN.EntityAttribute(m.SIMAN.ActiveEntity(), Index)  
  
s.EntitySetPicture s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("LoadTruckLeft")  
  
End Sub
```

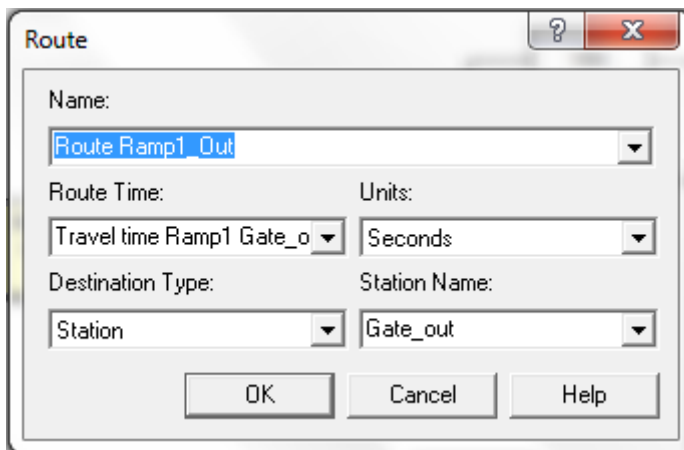
Η επόμενη μονάδα σχεδιασμού είναι μια μονάδα σταθμός η οποία υποδηλώνει το τέλος της περιοχής της πρώτης ράμπας και στην οποία φτάνουν τα φορτηγά που είναι έτοιμα να αποχωρήσουν από την περιοχή.

Μονάδα σταθμός 2.11.



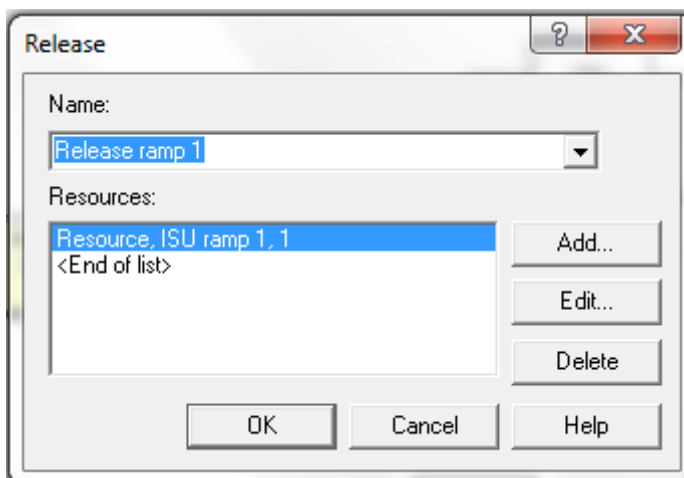
Τέλος σε αυτόν τον κλάδο αυτού του κομματιού ακολουθεί μια μονάδα διαδρομών που οδηγεί στην πύλη εξόδου και προσομοιώνει τον χρόνο που χρειάζεται το κάθε φορτηγό να φτάσει εκεί όπως αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου με όνομα μεταβλητής Travel Time Ramp1 Gate\_out (ιση με 120 δευτερόλεπτα).

Μονάδα διαδρομής 2.12.



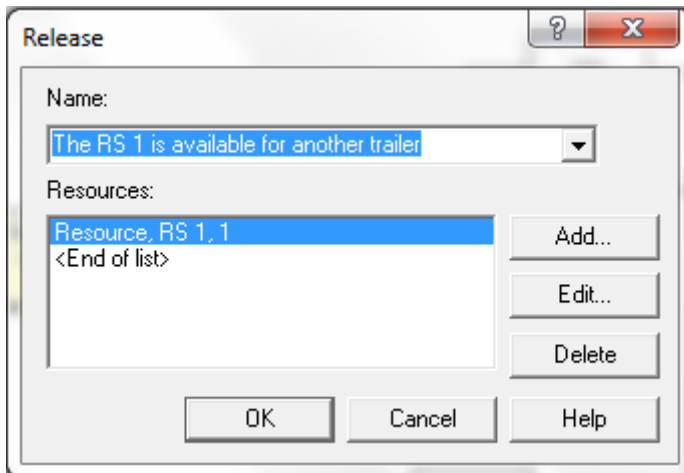
Στον κάτω κλάδο αυτού του κομματιού που ακλουθεί το αντίγραφο, ακολουθεί μια μονάδα απελευθέρωσης, στην οποία το φορτηγό που καταλαμβάνει την ράμπα (πόρος ISU ramp 1) να την αποδεσμεύει και να την αφήνει ελεύθερη για να εισέρθει το επόμενο φορτηγό.

Μονάδα απελευθέρωσης 2.13.



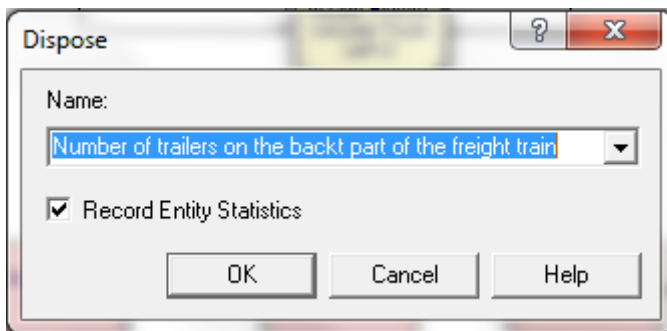
Η επόμενη μονάδα απελευθέρωσης επίσης, αποδεσμεύει το όχημα εμπρόςθιας στοιβασίας (πόρος RS 1) που εκτέλεσε τις υπηρεσίες του και φόρτωσε το ημι-ρυμουλκούμενο στο τρένο, το οποίο είναι έτοιμο να κινηθεί και να εκπληρώσει την επόμενη μεταφόρτωση.

Μονάδα απελευθέρωσης 2.14.



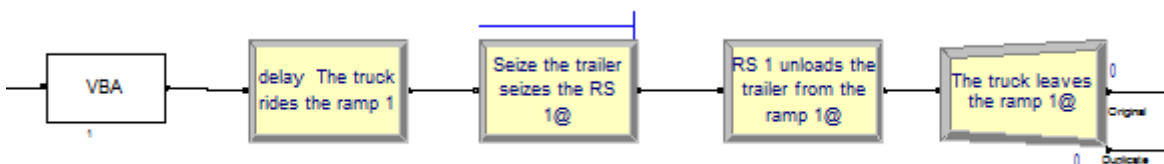
Τέλος σε αυτόν τον κλάδο αυτό του κομματιού του δεύτερου μέρους η μονάδα ανάλωσης καταμετρεί τα ημι-ρυμουλκούμενα που έχουν στοιβαχτεί στο μπροστινό μέρος του τρένου.

Μονάδα ανάλωσης 2.15.



#### 4.4.2.2.2 Φορτωμένα φορτηγά – Περίπτωση LL

Αυτό το κομμάτι του δεύτερου μέρους περιλαμβάνει τις διαδικασίες που ακολουθεί το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας όταν τα φορτηγά που δεσμεύουν την ράμπα 1 είναι φορτωμένα, δηλαδή ακολουθούν την περίπτωση που στην μονάδα απόφασης προηγουμένως η τιμή του χαρακτηριστικού Attribute16LoadState είναι διάφορη του 10 (ίση με 20). Το πρώτο κομμάτι αυτού του μέρους φαίνεται παρακάτω και αποτελείται από μια μονάδα VBA, μια μονάδα καθυστέρησης, μια μονάδα δέσμευσης, άλλη μια μονάδα καθυστέρησης και μια μονάδα διαχωρισμού.



Η μονάδα VBA υπολογίζει τον χρόνο κύκλου του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας ανάλογα με τις κινήσεις που θα ακολουθήσει και ορίζονται οι τιμές των χαρακτηριστικών H1, H2 και H3 που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου. Ένα μέρος του κώδικα που παρουσιάζει τι υπολογίζει η μονάδα φαίνεται παρακάτω.

Μονάδα VBA 2.16.

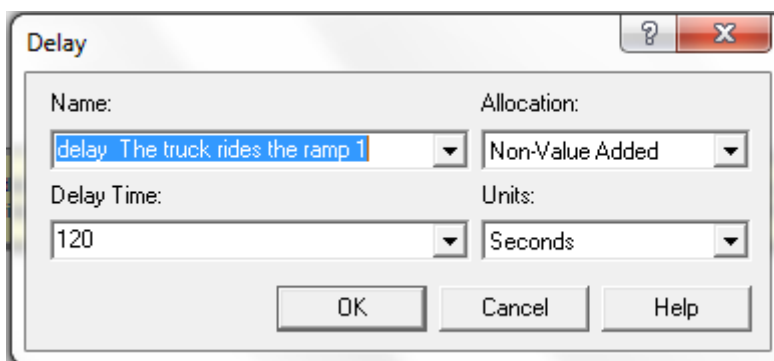
```
Private Sub VBA_Block_1_Fire()
' Calculation of RS 1 service time according to previous load status

'Bo1 = 15 + 17 * Abs((Attribute2wagonPosition - PositionRamp1) - 0.5)
'ServiceCycleRamp1Go = 10 + CInt(Bo1 / TravelSpeedLoaded)
'ServiceCycleRamp1Return = 10 + CInt(Bo1 / TravelSpeedUnloaded)
'AttributeH1 = 180
'AttributeH2 = 210+ServiceCycleRamp1Go+ServiceCycleRamp1Return
'AttributeH3 = 0

Dim m As Arena.Model
```

Η μονάδα καθυστέρησης που ακολουθεί, χρησιμοποιείται για να δείξει τον χρόνο που χρειάζεται το φορτωμένο φορτηγό να ανέβει την ράμπα 1. Όπως αναφέραμε και στοιχεία εισόδου αυτός ο χρόνος ισούται με 120 δευτερόλεπτα.

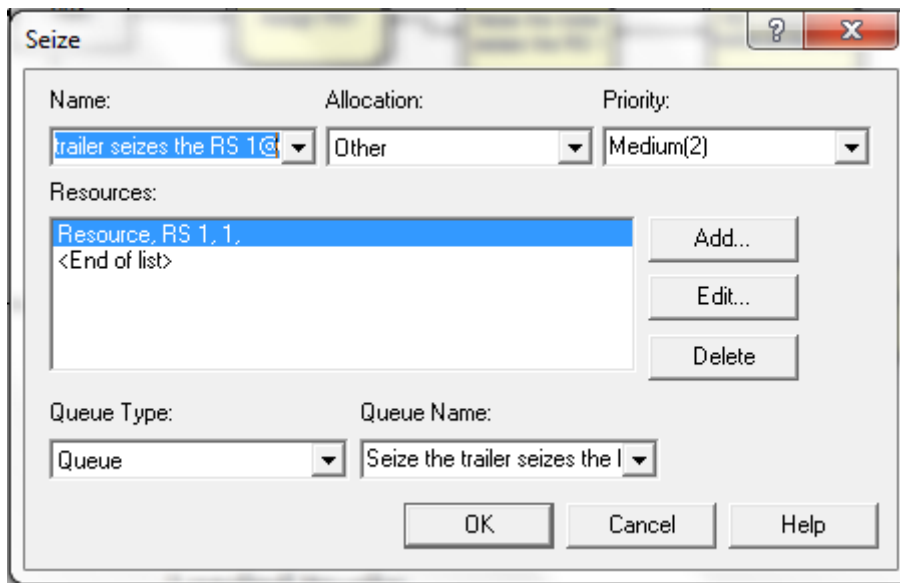
Μονάδα καθυστέρησης 2.17.



Ακολουθεί η μονάδα δέσμευσης στην οποία το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας δεσμεύεται σαν πόρος για να ξεφορτώσει το ημι-ρυμουλκούμενο από το φορτηγό.

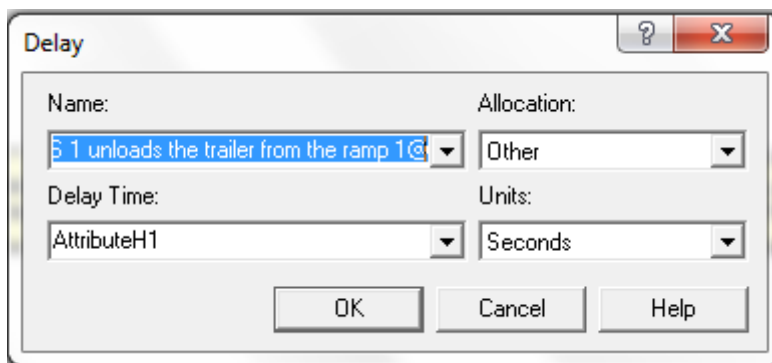


Μονάδα δέσμευσης 2.18.



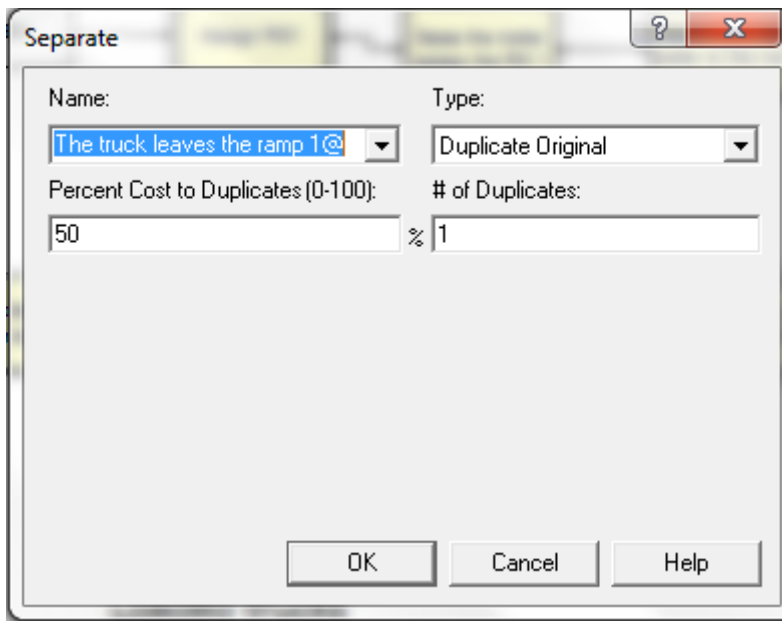
Στην επόμενη μονάδα καθυστέρησης αντιπροσωπεύεται ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις για να ξεφορτώσει το ημι-ρυμουλκούμενο από την ράμπα 1, χρόνος που ισούται με το χαρακτηριστικό H1 (ίσως με 180 δευτερόλεπτα όπως ορίσαμε στην προηγούμενη μονάδα VBA).

Μονάδα καθυστέρησης 2.19.

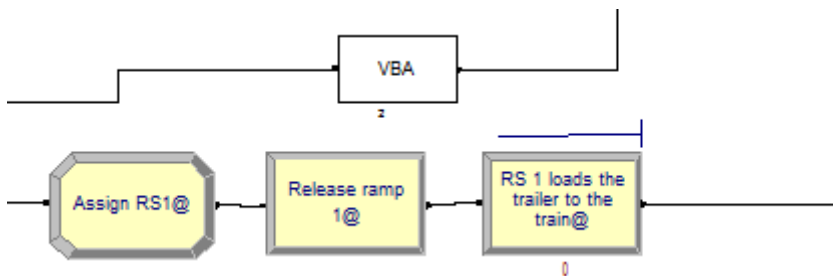


Τέλος σε αυτό το κομμάτι χρειάζεται μια μονάδα διαχωρισμού η οποία στέλνει την πρωτότυπη οντότητα (φορηγό) στην έξοδο και το αντίγραφο της να αποδεσμεύσει την ράμπα 1 σε μια μονάδα απελευθέρωσης όπως θα δούμε και στο επόμενο κομμάτι.

Μονάδα διαχωρισμού 2.20.



Στο κομμάτι που ακολουθεί, το οποίο συνδέεται με κάποιες μονάδες που αναφέραμε παραπάνω (στο κομμάτι των άδειων φορτηγών), ο ένας κλάδος με την μονάδα VBA είναι η πορεία που θα ακολουθήσει το πρωτότυπο της παραπάνω μονάδας διαχωρισμού και ο άλλος κλάδος που ακολουθεί το αντίγραφο, αποτελείται από μια μονάδα εκχώρησης, μια μονάδα απελευθέρωσης και μια μονάδα διεργασιών.



Στον πάνω κλάδο, η μονάδα VBA αλλάζει την εικόνα της οντότητας από φορτωμένο φορτηγό σε άδειο φορτηγό με ονομασία εικόνας UnTruckLeft. Στην συνέχεια αυτό το φορτηγό οδηγείται στην μονάδα σταθμό Ramp1\_Out και από εκεί στην μονάδα διαδρομών Route Ramp1\_Out, δηλαδή εκεί που κατέληξαν και τα άδεια φορτηγά του δεύτερου μέρους του μοντέλου.

## Μονάδα VBA 2.21.

```

Private Sub VBA_Block_2_Fire()

    Dim m As Arena.Model
    Dim s As SIMAN

    Dim Attribute16LoadState As Long
    Dim Index As Long

    Set m = ThisDocument.Model
    Set s = ThisDocument.Model.SIMAN

    Index = m.SIMAN.SymbolNumber("Attribute16LoadState")
    Attribute16LoadState = m.SIMAN.EntityAttribute(m.SIMAN.ActiveEntity(), Index)

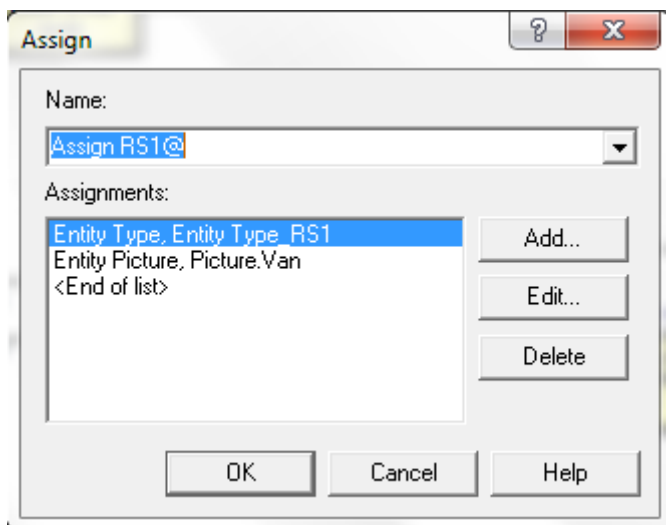
    s.EntitySetPicture s.ActiveEntity, s.SymbolNumber("UnTruckLeft")

End Sub

```

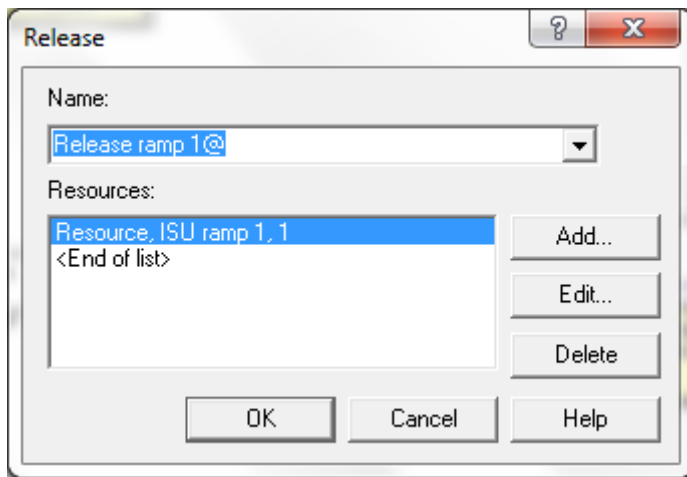
Στον κάτω κλάδο του κομματιού, στην μονάδα εκχώρησης ορίζεται και παίρνει σχήμα μια από τις οντότητες που αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου, το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας που αναλαμβάνει τις μεταφορτώσεις στην περιοχή της ράμπας 1, με ονομασία Entity Type\_RS1 και σχήμα Picture.Van, όπως έγινε άλλωστε και στην ακολουθία μονάδων στις κινήσεις των άδειων φορτηγών.

## Μονάδα εκχώρησης 2.22.



Στην μονάδα απελευθέρωσης που ακολουθεί το φορτηγό αποδεσμεύει την ράμπα (πόρος ISU ramp 1), η οποία είναι ελεύθερη για να δεχτεί το επόμενο φορτηγό που αναμένει στην ουρά.

Μονάδα απελευθέρωσης 2.23.



Τέλος στην μονάδα διεργασιών αυτού του κομματιού, το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας μεταφέρει και στοιβάζει το ημι-ρυμουλκούμενο στο μπροστινό μέρος του τρένου, ελιγμοί και κινήσεις που χρειάζονται χρόνο ίσο με το χαρακτηριστικό H2 που ορίσαμε στην μονάδα VBA του προηγούμενου κομματιού (στην αρχή του μέρους των φορτωμένων φορτηγών). Στην συνέχεια αυτή η μονάδα συνδέεται με τις μονάδες απελευθέρωσης του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας και ανάλωσης στην οποία καταμετρούνται τα ημι-ρυμουλκούμενα που αναμένουν στοιβαγμένα στο μπροστινό μέρος του τρένου, μονάδες οι οποίες αναφέρθηκαν και στις κινήσεις LU στο μέρος των άδειων φορτηγών.

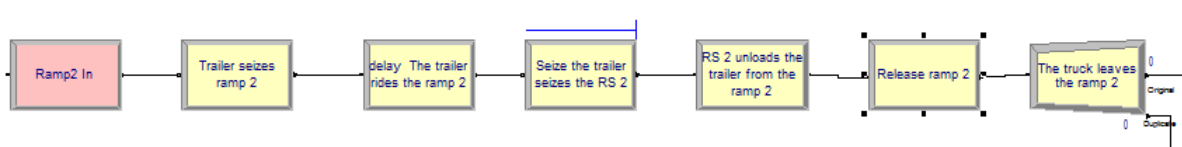
## Μονάδα διεργασιών 2.24.

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name:** RS 1 loads the trailer to the train@
- Type:** Standard
- Logic:**
  - Action:** Seize Delay Release
  - Priority:** Medium(2)
  - Resources:** Resource, Train handling, 1; <End of list>
- Delay Type:** Constant
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Value:** AttributeH2
- Report Statistics

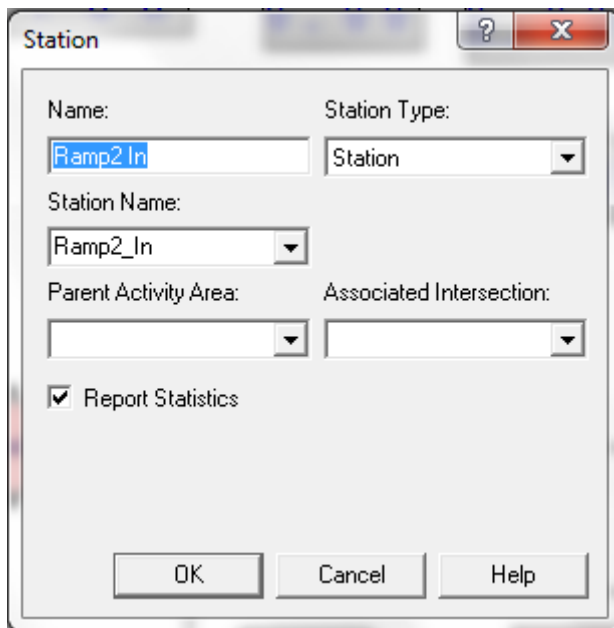
## 4.4.2.3 Μέρος τρίτο – Περίπτωση UL

Το τρίτο μέρος του μοντέλου είναι ουσιαστικά η περιοχή της ράμπας 2 στην οποία καταφθάνουν τα φορτηγά που ακολούθησαν την δεύτερη διαδρομή στο πρώτο μέρος. Στο κομμάτι που ακολουθεί έχουμε μια μονάδα σταθμό, μια μονάδα δέσμευσης, μια μονάδα καθυστέρησης, άλλη μια μονάδα δέσμευσης, ακόμα μια μονάδα καθυστέρησης, μια μονάδα απελευθέρωσης και μια μονάδα διαχωρισμού που οδηγεί στα επόμενα κομμάτια του τρίτου μέρους.



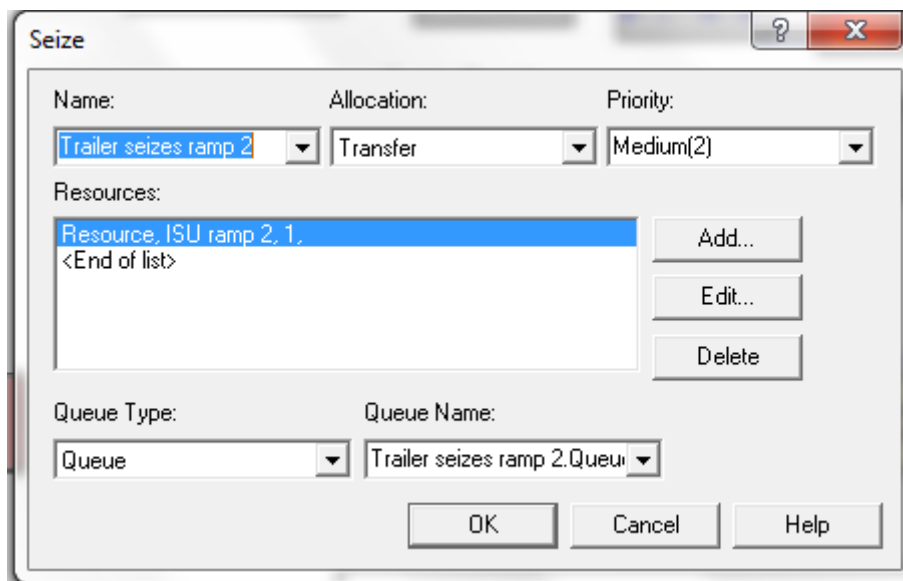
Η μονάδα σταθμός αντιπροσωπεύει την αρχή της περιοχής της ράμπας 2, στην οποία καταφθάνουν τα φορτηγά που ακολούθησαν την διαδρομή Route Node1 Ramp2.

Μονάδα σταθμός 3.1.



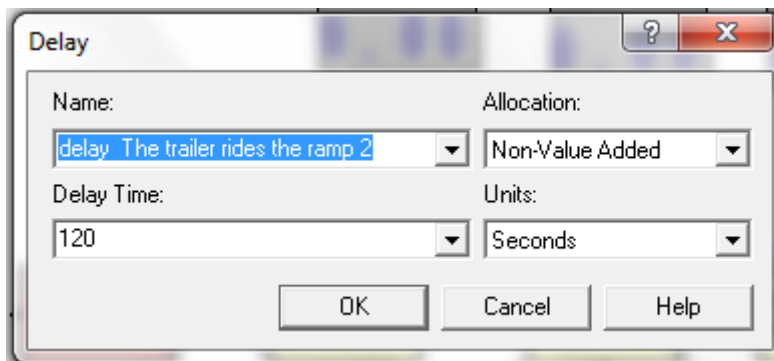
Ακολουθεί μια μονάδα δέσμευσης στην οποία το φορτηγό δεσμεύει την ράμπα 2 (πόρος ISU ramp 2).

Μονάδα δέσμευσης 3.2.



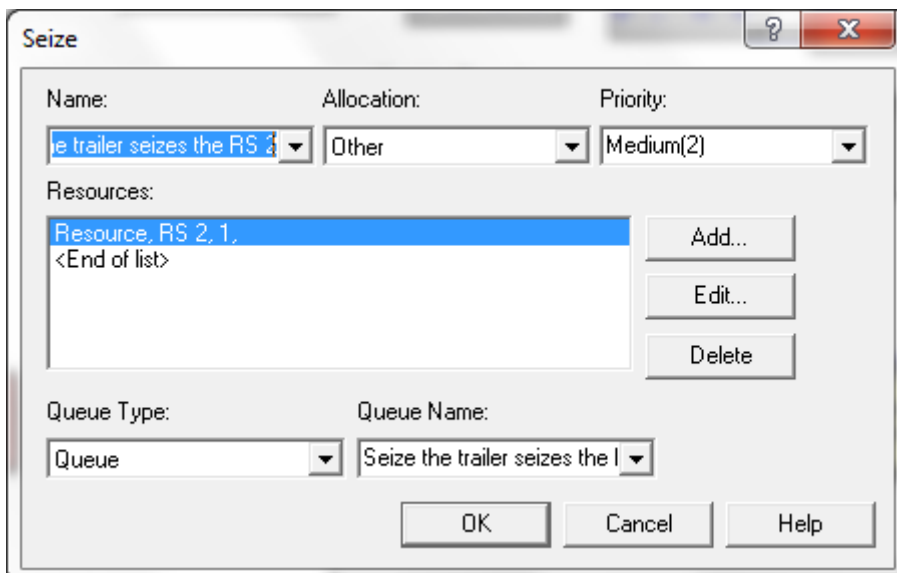
Στην συνέχεια έχουμε μια μονάδα καθυστέρησης η οποία προσομοιώνει τον χρόνο που χρειάζεται το φορτηγό για να ανέβει την ράμπα (χρόνος που όπως αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου ισούται με 120 δευτερόλεπτα).

Μονάδα καθυστέρησης 3.3.



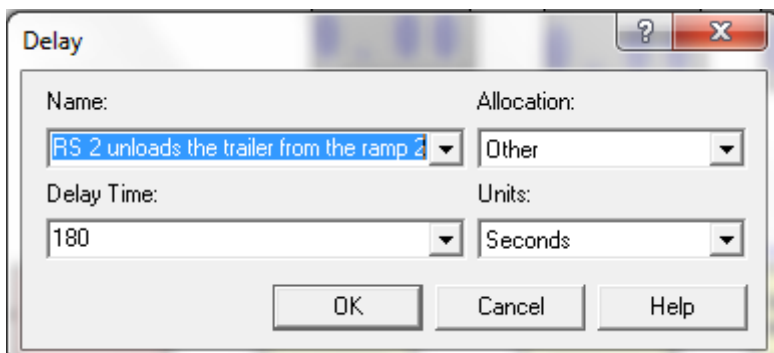
Ακολουθεί άλλη μια μονάδα δέσμευσης η οποία δεσμεύει το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας (πόρος RS 2).

Μονάδα δέσμευσης 3.4.



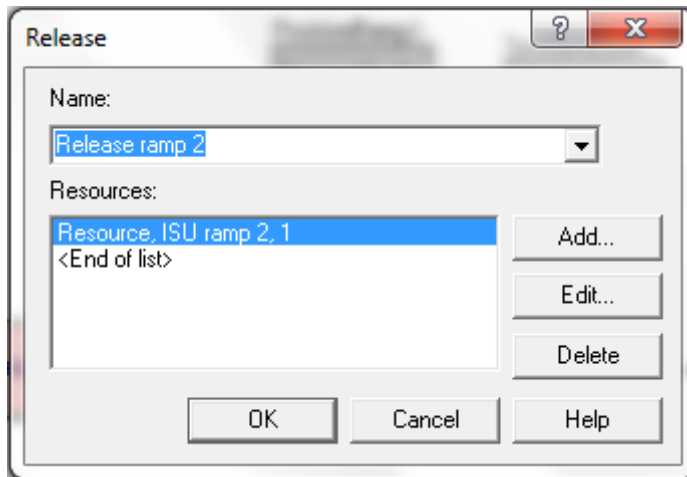
Στην συνέχεια η μονάδα καθυστέρησης υποδηλώνει τον χρόνο χειρισμών του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας για να ξεφορτώσει το ημι-ρυμουλκούμενο από την ράμπα (χρόνος που ισούται με 180 δευτερόλεπτα – ίσος με το χαρακτηριστικό H1).

Μονάδα καθυστέρησης 3.5.



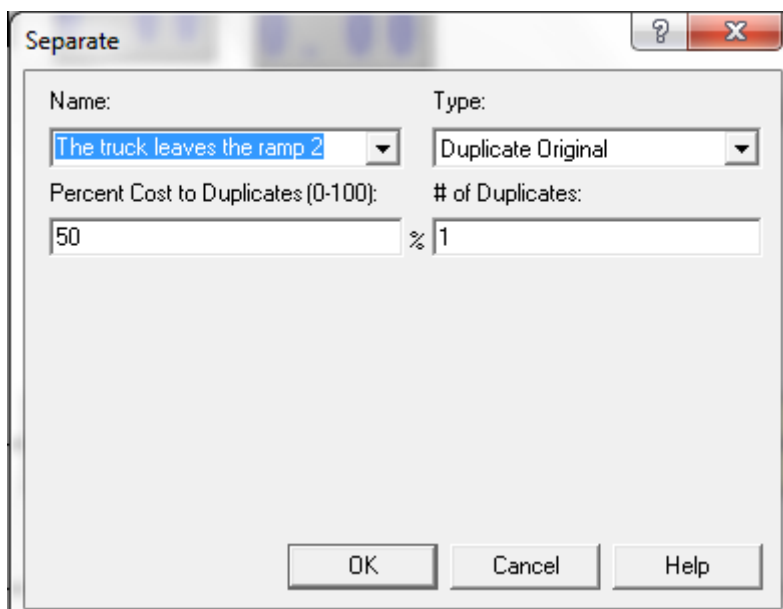
Έπειτα στην μονάδα απελευθέρωσης, αποδεσμεύεται η ράμπα 2 από το φορτηγό (πόρος ISU ramp 2), η οποία είναι ελεύθερη για να την ανέβει το επόμενο φορτηγό.

Μονάδα απελευθέρωσης 3.6.



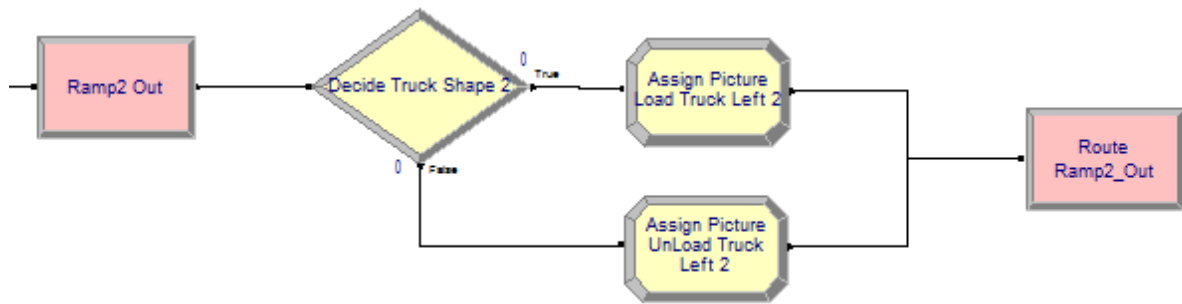
Τέλος σε αυτό το κομμάτι, η μονάδα διαχωρισμού στέλνει την πρωτότυπη οντότητα στο τέλος της περιοχής της ράμπας 2, ενώ το αντίγραφο (το ημι-ρυμουλκούμενο δηλαδή) συνεχίζει προς την φόρτωση του από το όχημα εμπρόσθια στοιβάσας στο πίσω μέρος του τρένου.

Μονάδα διαχωρισμού 3.7.



Στο επόμενο κομμάτι έχουμε να κάνουμε με την πρωτότυπη οντότητα και της κινήσεις που ακολουθεί προς την πύλη εξόδου. Έτσι αποτελείται από μια μονάδα σταθμό, μια μονάδα απόφασης, δυο μονάδες εκχώρησης και μια μονάδα διαδρομών που οδηγεί στην πύλη εξόδου.





Η μονάδα σταθμός είναι ουσιαστικά το τέλος της περιοχής της ράμπας 2.

Μονάδα σταθμός 3.8.

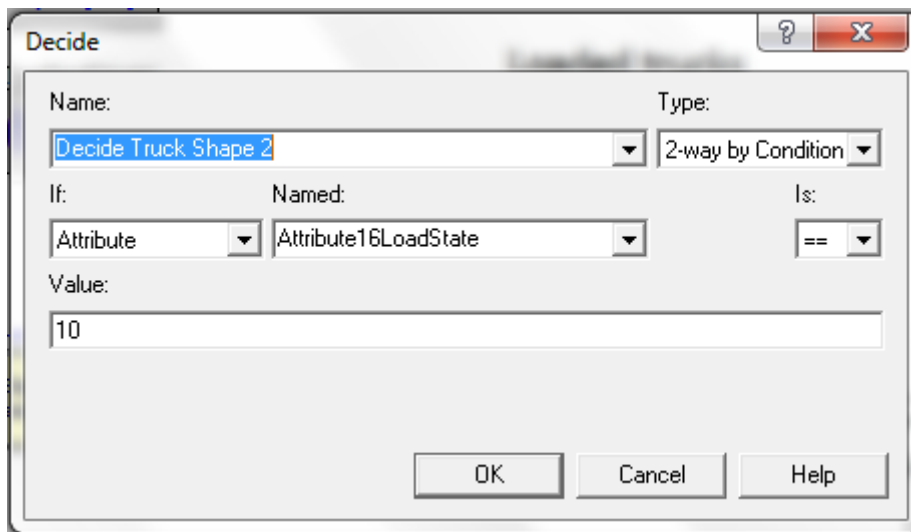
The image shows a 'Station' configuration dialog box. It contains the following fields and options:

- Name:** A text box containing 'Ramp2\_Out'.
- Station Type:** A dropdown menu set to 'Station'.
- Station Name:** A dropdown menu set to 'Ramp2\_Out'.
- Parent Activity Area:** An empty dropdown menu.
- Associated Intersection:** An empty dropdown menu.
- Report Statistics:** A checked checkbox.

At the bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

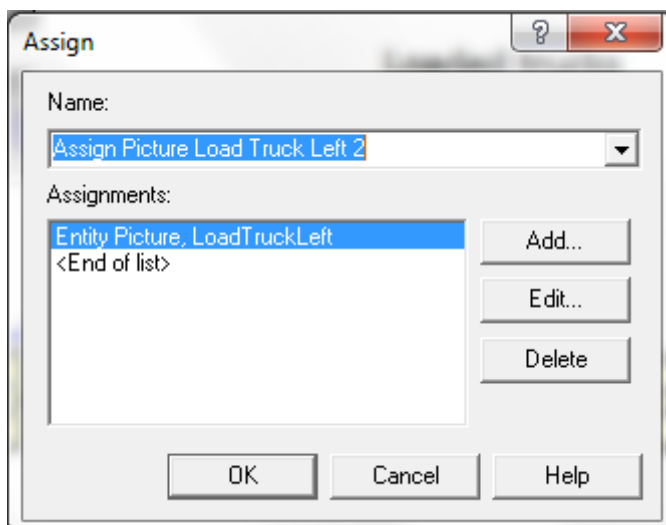
Στην συνέχεια έχουμε μια μονάδα απόφασης (δυσ εξόδων με βάση την συνθήκη) που σύμφωνα με το χαρακτηριστικό Attribute16LoadState διαχωρίζει τα φορτηγά στις επόμενες δυο μονάδες εκχώρησης για να πάρουν εικόνα φορτηγού άδειου ή φορτωμένου.

Μονάδα απόφασης 3.9.



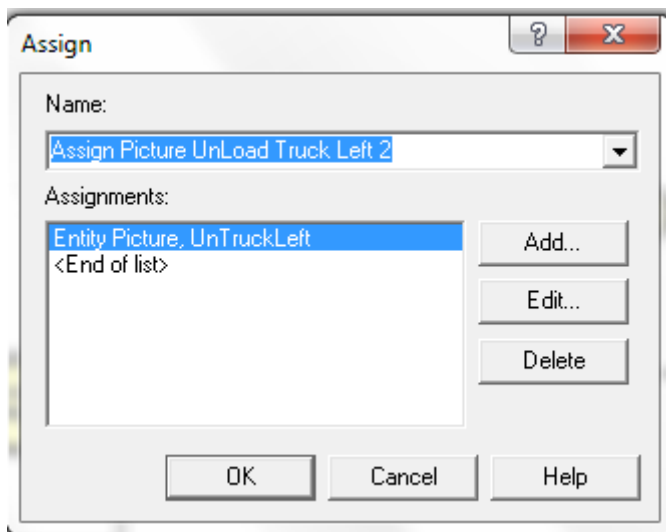
Στην άνω μονάδα εκχώρησης δίνεται εικόνα στα άδεια φορτηγά που πλέον φεύγουν φορτωμένα με ονομασία εικόνας LoadTruckLeft.

Μονάδα εκχώρησης 3.10.



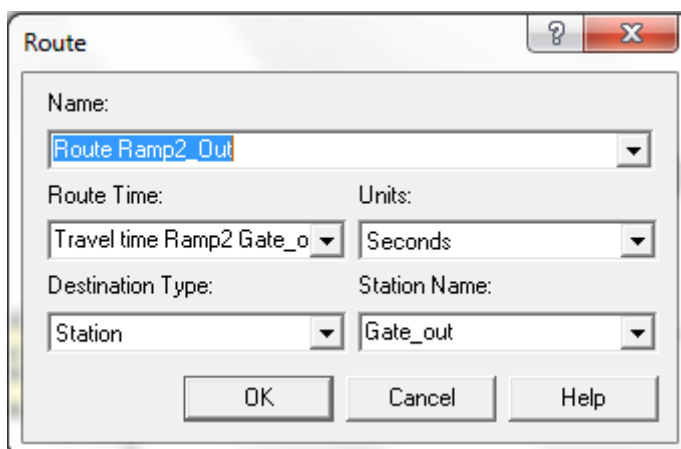
Στην κάτω μονάδα εκχώρησης δίνεται καινούρια εικόνα στα φορτηγά που φεύγουν, τα οποία πλέον ξεφορτώθηκαν και είναι άδεια, με ονομασία εικόνας UnTruckLeft.

Μονάδα εκχώρησης 3.11.



Τέλος σε αυτό το κομμάτι η μονάδα διαδρομών στέλνει τα φορτηγά από την περιοχή της ράμπας 2 στην πύλη εξόδου σε χρόνο που ορίζεται ως Travel Time Ramp2 Gate\_Out και ισούται με 120 δευτερόλεπτα όπως αναφέραμε στα στοιχεία εισόδου.

Μονάδα διαδρομής 3.12.



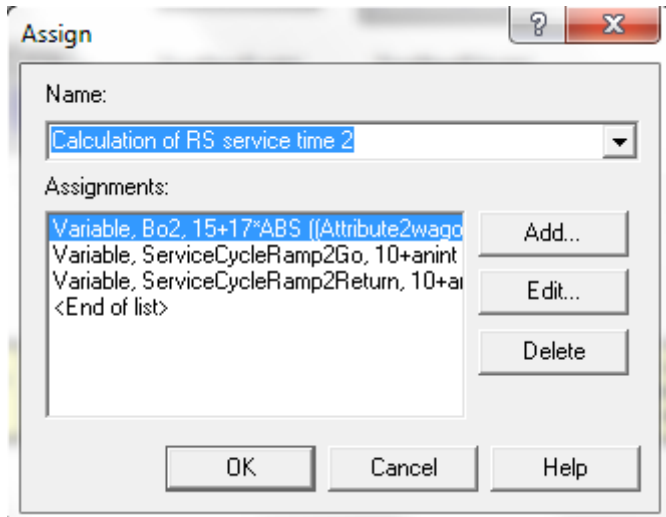
Το επόμενο κομμάτι αφορά την πορεία που ακολουθεί το αντίγραφο, δηλαδή το ημι-ρυμουλκούμενο που μεταφέρεται πλέον από το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας. Αποτελείται από μια μονάδα εκχώρησης, μια μονάδα σταθμό που ακολουθείται από άλλη μια μονάδα εκχώρησης και μια μονάδα διαδρομών.



Στην πρώτη μονάδα εκχώρησης υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για τις κινήσεις και τους ελιγμούς που χρειάζεται το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας για να φτάσει από

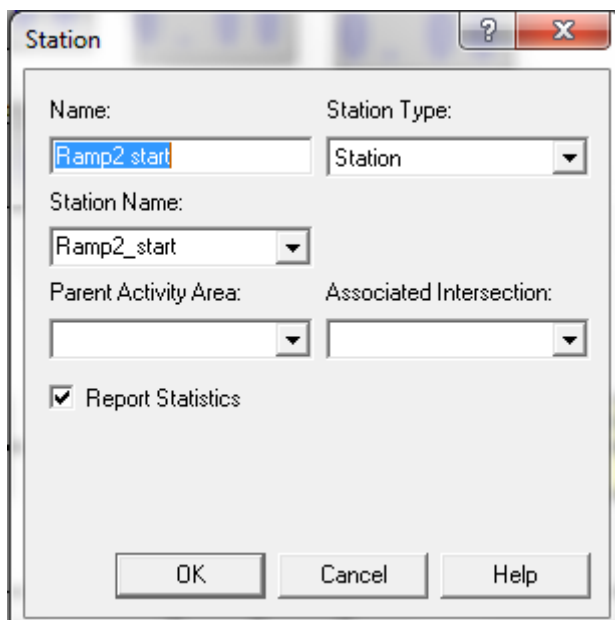
την αρχή της ράμπας 2 στην περιοχή όπου αναμένει το τρένο (χρόνος που στο δεύτερο μέρος υπολογιζόταν με μονάδες VBA).

Μονάδα εκχώρησης 3.13.



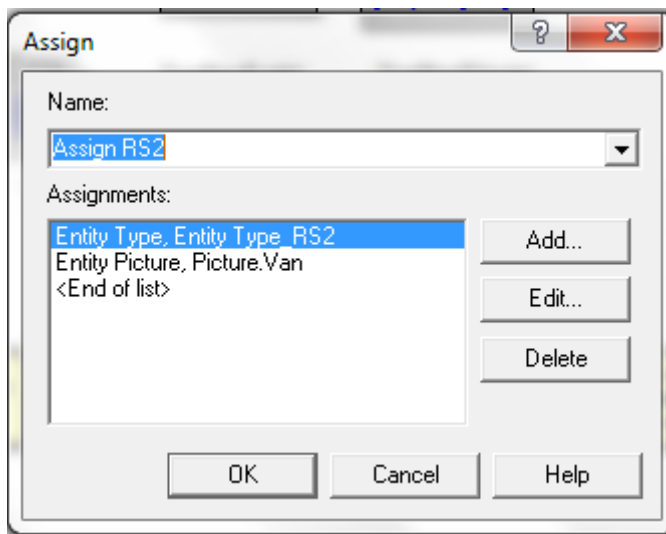
Η μονάδα σταθμός υποδηλώνει την αρχή της ράμπας (όχι την αρχή της περιοχής της ράμπας) και είναι το σημείο από όπου ξεκάνει το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας για να πάει προς το τρένο.

Μονάδα σταθμός 3.14.



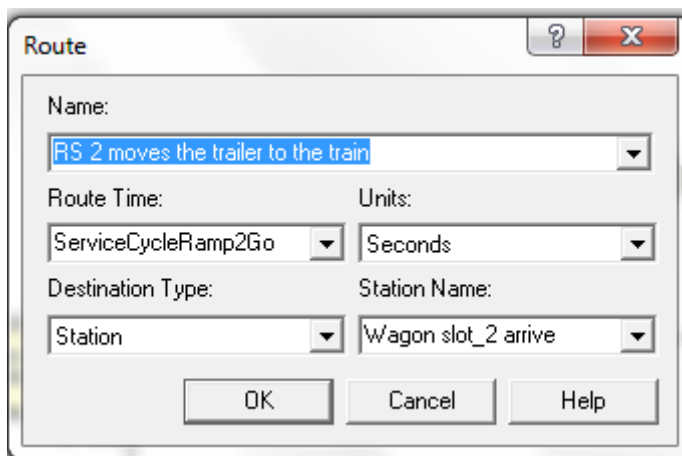
Στην επόμενη μονάδα εκχώρησης, εκχωρούμε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας του τερματικού σταθμού, το οποίο λειτουργεί στην περιοχή της ράμπας 2 (οντότητα RS 2, με εικόνα Picture.Van).

Μονάδα εκχώρησης 3.15.

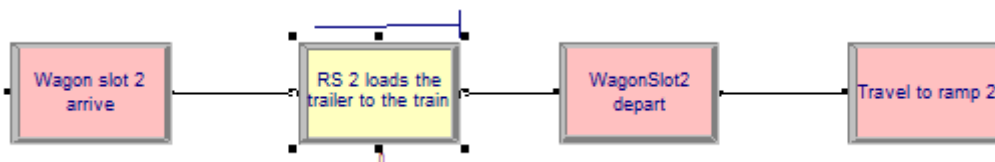


Τέλος σε αυτό το κομμάτι, στην μονάδα διαδρομών ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας για να φτάσει στο πίσω μέρος του τρένου.

Μονάδα διαδρομής 3.16.

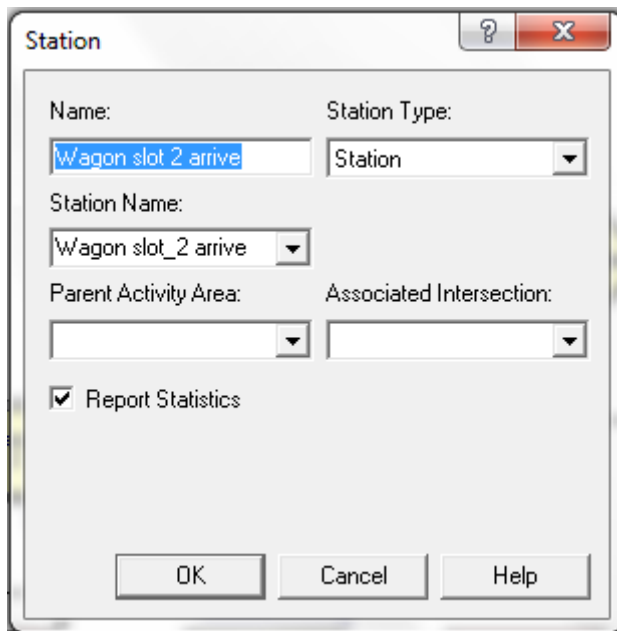


Το επόμενο κομμάτι συνεχίζει το προηγούμενο και αποτελείται από μια μονάδα σταθμό, μια μονάδα διεργασιών, άλλη μια μονάδα σταθμό και μια μονάδα διαδρομών.



Η πρώτη μονάδα σταθμός δηλώνει την άφιξη του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας στην περιοχή που αναμένει το βαγόνι του τρένου που έχει αφιχθεί για να τοποθετηθεί το ημι-ρυμουλκούμενο.

Μονάδα σταθμός 3.17.



Έπεται η φόρτωση του ημι-ρυμουλκούμενου στο τρένο από το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας, με την χρήση μιας μονάδας διεργασιών. Ο χρόνος που χρειάζεται για την συγκεκριμένη διεργασία ισούται με 210 δευτερόλεπτα (ίσως δηλαδή με το χαρακτηριστικό H2 που υπολογίσαμε με χρήση μονάδων VBA, μείον τους χρόνους κινήσεων από και προς την περιοχή του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας).

Μονάδα διεργασιών 3.18.

**Process**

Name: RS 2 loads the trailer to the train Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, Train handling2, 1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Constant Units: Seconds Allocation: Value Added

Value: 210

Report Statistics

Buttons: OK Cancel Help

Στην επόμενη μονάδα σταθμό παρουσιάζεται η αποχώρηση του βαγονιού από την ράμπα εφόσον έχει πλέον τοποθετηθεί το ημι-ρυμουλκούμενο.

Μονάδα σταθμός 3.19.

**Station**

Name: WagonSlot2 depart Station Type: Station

Station Name: WagonSlot2\_depart

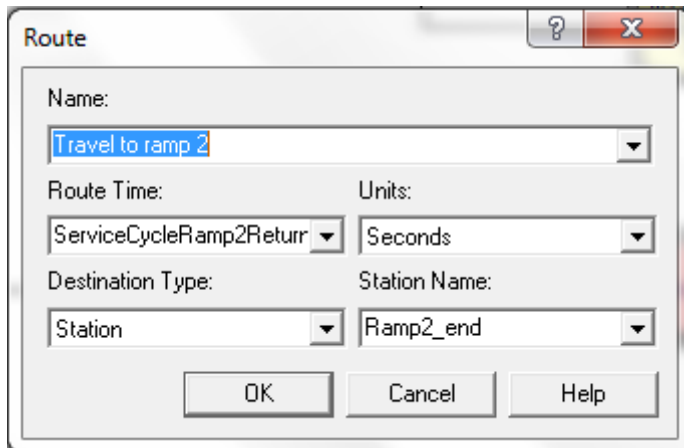
Parent Activity Area: Associated Intersection:

Report Statistics

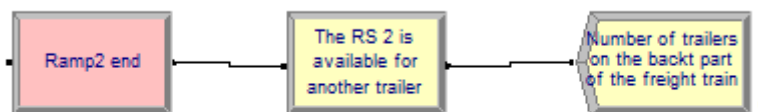
Buttons: OK Cancel Help

Τέλος σε αυτό το κομμάτι στη μονάδα διαδρομών, δηλώνεται ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει στο τέλος της ράμπας 2.

Μονάδα διαδρομής 3.20.



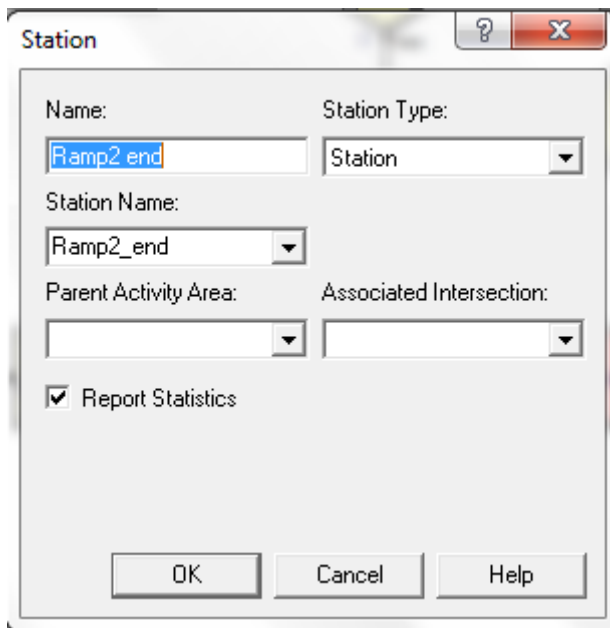
Το τελευταίο κομμάτι του τρίτου μέρους αποδεσμεύει το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας και μετρά τα ημι-ρυμουλκούμενα που αναμένουν στο πίσω μέρος του τρένου. Αποτελείται από μια μονάδα σταθμό, μια μονάδα απελευθέρωσης και μια μονάδα ανάλωσης.



Η μονάδα σταθμός δηλώνει το τέλος της ράμπας 2.

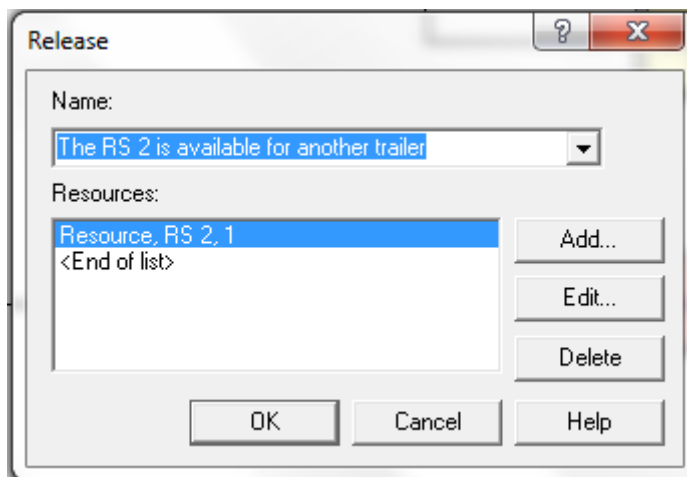


Μονάδα σταθμός 3.21.



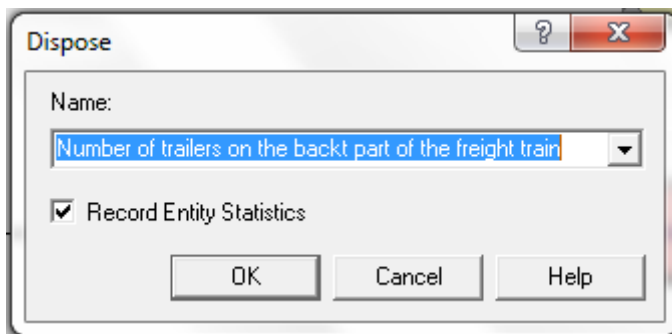
Η μονάδα απελευθέρωσης, αποδεσμεύει τον πόρο RS 2, δηλαδή το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας της περιοχής της δεύτερης ράμπας, έτσι ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει το επόμενο φορτηγό στην ουρά.

Μονάδα απελευθέρωσης 3.22.



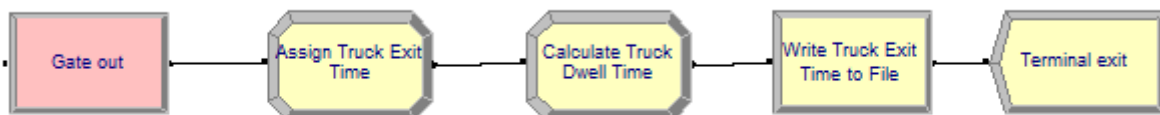
Τέλος η μονάδα ανάλωσης καταμετρεί τα ημι-ρυμουλκούμενα που είναι στοιβαγμένα στο πίσω μέρος του τρένου.

Μονάδα ανάλωσης 3.23.



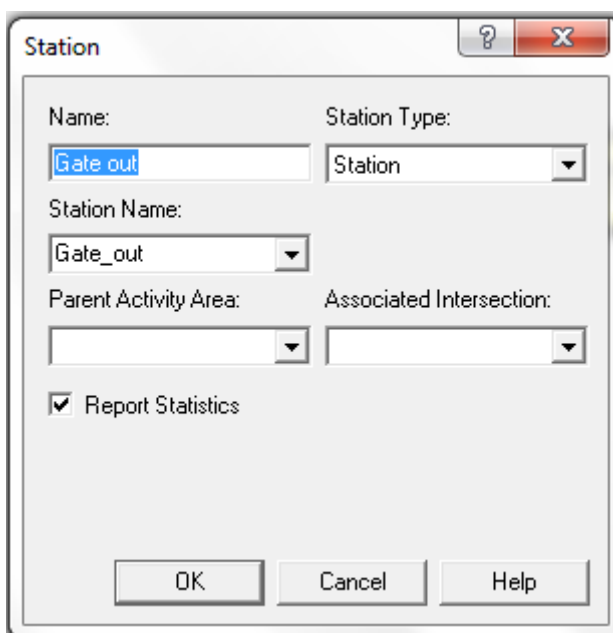
#### 4.4.2.4 Μέρος τέταρτο – Πύλη εξόδου

Το μέρος αυτό του μοντέλου αποτελείται από ένα μόνο κομμάτι που φαίνεται παρακάτω. Περιλαμβάνει μια μονάδα σταθμό, δυο μονάδες εκχώρησης, μια μονάδα εκτύπωσης (readandwrite) και μια μονάδα ανάλωσης.



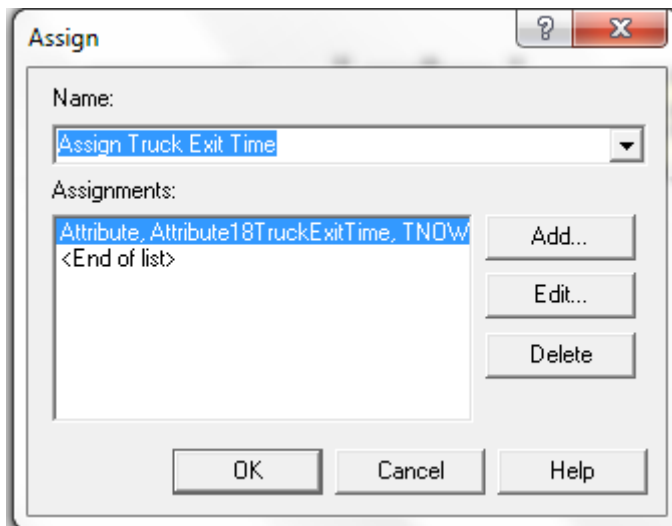
Στην μονάδα σταθμό καταφθάνουν τα φορτηγά που ακολούθησαν τις πορείες Route Ramp1\_Out και Route Ramp2\_Out από το δεύτερο και τρίτο μέρος του μοντέλου αντίστοιχα και υποδηλώνει την πύλη εξόδου του τερματικού σταθμού.

Μονάδα σταθμός 4.1.



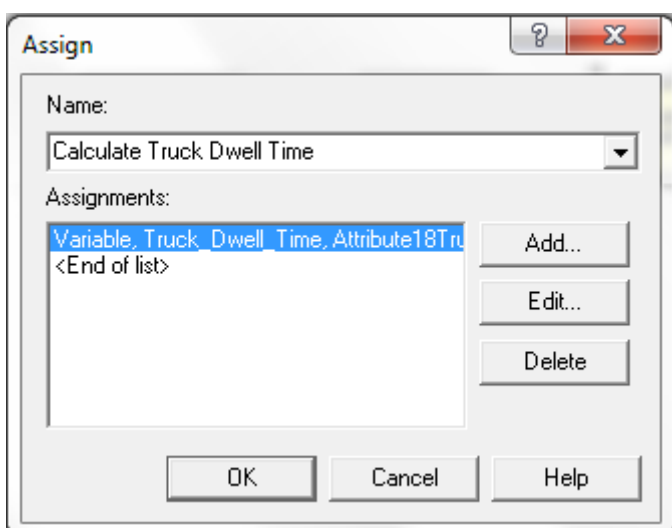
Στην πρώτη μονάδα εκχώρησης, εκχωρούμε ένα χαρακτηριστικό που θα χρειαστεί για τα στοιχεία εξόδου του μοντέλου με ονομασία Attribute18TruckExitTime το οποίο απλά μετρά στο μοντέλο ποια χρονική στιγμή έφτασε εδώ το κάθε φορτηγό.

Μονάδα εκχώρησης 4.2.



Στην επόμενη μονάδα εκχώρησης, εκχωρούμε μια μεταβλητή με ονομασία Truck\_Dwell\_Time η οποία υπολογίζει τον χρόνο παραμονής του κάθε φορτηγού στον τερματικό και μας χρειάζεται επίσης σαν στοιχείο εξόδου του μοντέλου. Ισούται με την χρονική στιγμή που το κάθε φορτηγό αποχωρεί από τον τερματικό σταθμό μείον την χρονική στιγμή που κατέφθασε (δηλαδή ισούται με Attribute18TruckExitTime μείον Attribute1EntryTime).

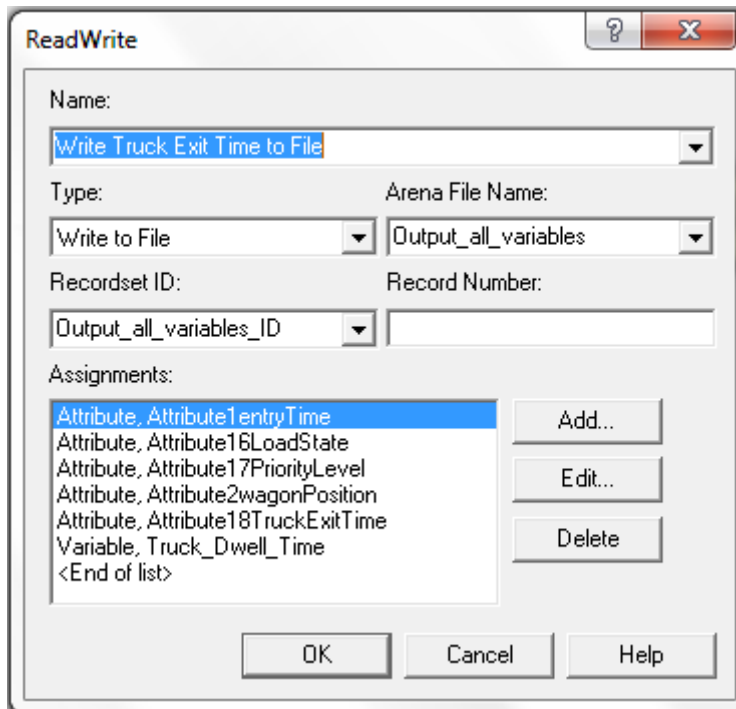
Μονάδα εκχώρησης 4.3.



Ακολουθεί μια μονάδα εκτύπωσης, η οποία εκτυπώνει σε ένα φύλλο excel τα στοιχεία εξόδου που χρειάζεται να μελετήσουμε με το τέλος της λειτουργίας του μοντέλου. Αυτά

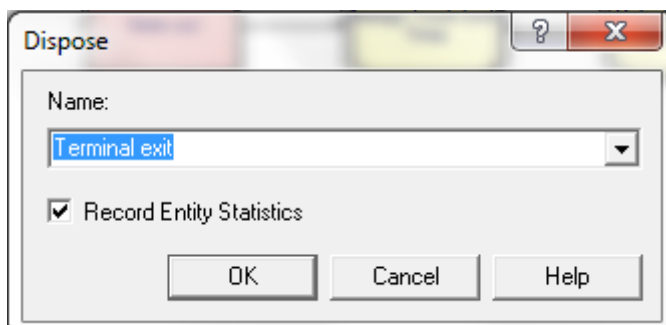
τα στοιχεία εξόδου είναι τα χαρακτηριστικά (Attribute1EntryTime, Attribute16LoadState, Attribute17PriorityLevel, Attribute2WagonPosition, Attribute18TruckExitTime) και η μεταβλητή (Truck\_Dwell\_Time).

Μονάδα εκτύπωσης αποτελεσμάτων 4.4.



Τέλος το τέταρτο μέρος αλλά και το μοντέλο κλείνει με μια μονάδα ανάλωσης η οποία δηλώνει την έξοδο από τον τερματικό και μετρά τα φορτηγά που έφτασαν στην έξοδο. Καθώς το μοντέλο τρέχει μέχρι να εξυπηρετηθούν όλα τα φορτηγά, αυτό σημαίνει ότι τα φορτηγά που θα φτάσουν στην έξοδο του τερματικού θα είναι προφανώς ίσα με όσα αφίχθησαν στον τερματικό σταθμό.

Μονάδα ανάλωσης 4.5.



#### 4.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ

Σε αυτό το σημείο της εργασίας μπορούμε πλέον να προβάλουμε τα στοιχεία εξόδου του μοντέλου. Στο μοντέλο που παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.4 χρησιμοποιήσαμε τα στοιχεία εισόδου του υποκεφαλαίου 4.3 για να κάνουμε μια δοκιμή στο μοντέλο και να παρουσιάσουμε εδώ τα αποτελέσματα αυτής της δοκιμής.

Καταρχήν θα παρουσιάσουμε τα πιο σημαντικά αποτελέσματα που είναι ουσιαστικά η παραμονή των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού, καθώς αυτό δείχνει το πόσο αξιόλογος είναι ο σταθμός και πόσο γρήγορα γίνονται οι μεταφορτώσεις, δηλαδή δείχνει το επίπεδο εξυπηρέτησης του σταθμού. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 4.2, όπως τυπώθηκαν με την μονάδα εκτύπωσης του λογισμικού Arena, σε ένα φύλλο excel. Τα αποτελέσματα είναι ταξινομημένα με βάση τον χρόνο που αναχώρησαν από τον τερματικό σταθμό.

Οι πρώτες τέσσερις στήλες είναι οι ίδιες με του πίνακα 4.1, είναι τα στοιχεία εισόδου που δώσαμε στο πρόγραμμα με την μονάδα ανάγνωσης δεδομένων.

Η πέμπτη στήλη είναι το χαρακτηριστικό Attribute18TruckExitTime, που δηλώνει τον χρόνο αποχώρησης του κάθε φορτηγού από τον τερματικό σταθμό (μέρος τέταρτο του μοντέλου). Υποδηλώνει την χρονική στιγμή που το κάθε φορτηγό αποχώρησε, σε δευτερόλεπτα.

Η έκτη στήλη είναι η αφαίρεση της πέμπτης στήλης μείον την πρώτη, δηλαδή η χρονική στιγμή που το κάθε φορτηγό αποχώρησε από τον τερματικό, μείον την χρονική στιγμή που αφίχθηκε, σε δευτερόλεπτα. Δηλαδή είναι ο χρόνος που το κάθε φορτηγό παρέμεινε στον τερματικό σταθμό (χαρακτηριστικό Truck\_Dwell\_Time).

Έτσι λοιπόν, το πρώτο φορτηγό έφυγε από τον τερματικό σταθμό σε 721 δευτερόλεπτα, ένα από αυτά που κατέφθασαν τελευταία και για την ακρίβεια το προτελευταίο που κατέφθασε στον σταθμό και ακολούθησε την διαδρομή προς την ράμπα 1 - περίπτωση LU, παρέμεινε τον περισσότερο χρόνο εντός του τερματικού, ίσο με 5118 δευτερόλεπτα ή λίγο περισσότερο από 1 ώρα και 25 λεπτά.

Ο μέσος χρόνος παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού, βγαίνει επίσης από την έκτη στήλη, αθροίζοντας τους χρόνους παραμονής και διαιρώντας τους με το πλήθος των φορτηγών. Έτσι ο μέσος χρόνος παραμονής είναι 2824 δευτερόλεπτα ή περίπου 47 λεπτά.

Πίνακας 4.2: Στοιχεία εξόδου σε φύλλο Excel, από την μονάδα εκτύπωσης του λογισμικού Arena.

| Truck arrival time | Loading status | Priority | Wagon Position | Truck departure time | Truck dwell time in terminal |
|--------------------|----------------|----------|----------------|----------------------|------------------------------|
| 0                  | 20             | 1        | 23             | 721                  | 721                          |
| 30                 | 10             | 1        | 1              | 918                  | 888                          |
| 40                 | 20             | 1        | 22             | 1161                 | 1121                         |
| 180                | 10             | 1        | 15             | 1446                 | 1266                         |
| 50                 | 20             | 1        | 24             | 1605                 | 1555                         |
| 300                | 10             | 1        | 11             | 1974                 | 1674                         |
| 60                 | 20             | 1        | 26             | 2042                 | 1982                         |
| 120                | 20             | 1        | 38             | 2472                 | 2352                         |
| 360                | 10             | 1        | 12             | 2502                 | 2142                         |
| 240                | 20             | 1        | 28             | 2912                 | 2672                         |
| 420                | 10             | 1        | 20             | 3030                 | 2610                         |
| 480                | 20             | 1        | 23             | 3334                 | 2854                         |
| 600                | 10             | 1        | 9              | 3558                 | 2958                         |
| 540                | 20             | 1        | 29             | 3774                 | 3234                         |
| 660                | 10             | 1        | 19             | 4086                 | 3426                         |
| 840                | 20             | 1        | 30             | 4193                 | 3353                         |
| 900                | 20             | 1        | 35             | 4608                 | 3708                         |
| 720                | 10             | 1        | 15             | 4614                 | 3894                         |
| 960                | 20             | 1        | 23             | 5038                 | 4078                         |
| 780                | 10             | 1        | 5              | 5142                 | 4362                         |
| 1140               | 20             | 1        | 36             | 5478                 | 4338                         |
| 1020               | 10             | 1        | 19             | 5670                 | 4650                         |
| 1080               | 10             | 1        | 18             | 6198                 | 5118                         |

Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι ακολουθίες κινήσεων στην περιοχή της ράμπας 1 (παρόλο που η διαδρομή από τον κοινό σταθμό προς την ράμπα 1 διαρκεί 60 δευτερόλεπτα λιγότερο από την διαδρομή προς την ράμπα 2) είναι αρκετά πιο χρονοβόρες από τις ακολουθίες κινήσεων στην περιοχή της ράμπας 2. Είναι προφανές ότι με βάση την θεωρία ουρών και καθώς ακολουθείται κανόνας προτεραιότητας FIFO, όσο πιο αργά φτάσει ένα φορτηγό στον τερματικό σταθμό τόσο αυξάνει ο χρόνος παραμονής του εντός του τερματικού σταθμού. Όμως, κάποια φορτηγά που καταφθάνουν αργότερα στον τερματικό σταθμό παραμένουν λιγότερο χρόνο εντός του τερματικού σταθμού από προηγούμενα τους (λόγω των διαφορετικών κινήσεων που ακολουθούνται στις 2 ράμπες).

Στην συνέχεια είναι επίσης χρήσιμο να δούμε και κάποια αλλά στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από την εξαγωγή στατιστικών από το λογισμικό Arena.

Ο συνολικός χρόνος που τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσις χρησιμοποιούνται για τις μεταφορώσεις σε τρένο φαίνεται παρακάτω:

### Accumulated Time

| Accum VA Time                        | Group #3 Name (String) | Value   |
|--------------------------------------|------------------------|---------|
| RS 1 loads the trailer to the train  |                        | 3366.00 |
| RS 1 loads the trailer to the train@ |                        | 0.00    |
| RS 2 loads the trailer to the train  |                        | 2520.00 |



Βέβαια ο χρόνος που έχουμε ορίσει για το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις περιλαμβάνει και τους ελιγμούς και την κίνηση από και προς την περιοχή του τρένου. Το σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να παρατηρήσουμε ότι στο δεύτερο μέρος του μοντέλου, ο κάτω κλάδος δεν χρησιμοποιείται, εφόσον με βάση τα στοιχεία εισόδου αυτής της δοκιμής δεν υπάρχουν φορτηγά που ακολουθούν την περίπτωση LL.

Το επόμενο μέρος των στοιχείων εξόδου αφορά τις ουρές που δημιουργούνται. Όπως θα δούμε και στα αποτελέσματα παρακάτω, τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσις δεν αναμένουν για τις κινήσεις τους και δουλεύουν ασταμάτητα, ενώ οι ουρές που δημιουργούνται στα φορτηγά μέχρι να εξυπηρετηθούν από τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσις είναι μεγάλες και ο χρόνος που περιμένουν μέχρι να δεσμεύσουν τους πόρους (ISU ramp 1 και ISU ramp 2) κυμαίνεται ανάλογα με την στιγμή που κατέφθασαν στον τερματικό. Για την ράμπα 1 έχουμε μέγιστο χρόνο αναμονής ίσο με 4230 δευτερόλεπτα και μέσο χρόνο αναμονής ίσο με 2111 δευτερόλεπτα. Για την ράμπα 2 έχουμε μέγιστο χρόνο αναμονής ίσο με 3478 δευτερόλεπτα και μέσο χρόνο αναμονής ίσο με 1822 δευτερόλεπτα.

## Queue

### Time

| Waiting Time                              | Average | Half Width     | Minimum Value | Maximum Value |
|---|---------|----------------|---------------|---------------|
| RS 1 loads the trailer to the train.Queue | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| RS 2 loads the trailer to the train.Queue | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Seize the trailer seizes the RS 1.Queue   | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Seize the trailer seizes the RS 2.Queue   | 121.42  | (Insufficient) | 0.00          | 144.00        |
| Trailer seizes ramp 2.Queue               | 1822.50 | (Insufficient) | 0.00          | 3478.00       |
| Truck seizes ramp 1.Queue                 | 2110.91 | (Insufficient) | 0.00          | 4230.00       |

Επίσης παρακάτω φαίνεται ο μέγιστος αριθμός φορτηγών που αναμένουν στην ουρά για να ανέβουν στις ράμπες 1 και 2 (9 φορτηγά στην ουρά και για τις 2 ράμπες) καθώς και πόσα περιμένουν ανά πάσα στιγμή (3,5 φορτηγά στην ράμπα 2 και 3,7 φορτηγά στην ράμπα 1) στο διάστημα των 6198 δευτερόλεπτων (στιγμή που αναχωρεί το τελευταίο φορτηγό από τον τερματικό , βλ. πίνακα 4.2 στήλη 5).

| Number Waiting                             | Average | Half Width     | Minimum Value | Maximum Value |
|--|---------|----------------|---------------|---------------|
| ramp 1.Queue                               | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| RS 1 loads the trailer to the train.Queue  | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| RS 1 loads the trailer to the train@.Queue | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| RS 2 loads the trailer to the train.Queue  | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Seize the trailer seizes the RS 1.Queue    | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Seize the trailer seizes the RS 1@.Queue   | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Seize the trailer seizes the RS 2.Queue    | 0.2351  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| Trailer seizes ramp 1.Queue                | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Trailer seizes ramp 2.Queue                | 3.5286  | (Insufficient) | 0.00          | 9.0000        |
| Truck seizes ramp 1.Queue                  | 3.7464  | (Insufficient) | 0.00          | 9.0000        |

Επόμενο σημαντικό στοιχείο που μπορούμε να βγάλουμε από την προσομοίωση και την εξαγωγή δεδομένων του λογισμικού είναι η χρησιμοποίηση των πόρων που περιέχει ο τερματικός σταθμός. Στα παρακάτω αποτελέσματα φαίνεται η μέση χρησιμοποίηση του κάθε πόρου ανά πάσα στιγμή. Παρατηρούμε ότι οι 2 ράμπες αλλά και τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας λειτουργούν σχεδόν συνέχεια σε αυτό το διάστημα των 6198 δευτερολέπτων (81,6% έως 93,7% η μέση χρήση των τεσσάρων αυτών πόρων του τερματικού σταθμού).



## Resource

### Usage

| Instantaneous Utilization | Average | Half Width     | Minimum Value | Maximum Value |
|---------------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| ISU ramp 1                | 0.9371  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| ISU ramp 2                | 0.8159  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| Resource 1                | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| Resource 10               | 0.00    | (Insufficient) | 0.00          | 0.00          |
| RS 1                      | 0.9371  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| RS 2                      | 0.8375  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| Train handling            | 0.5431  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |
| Train handling2           | 0.4066  | (Insufficient) | 0.00          | 1.0000        |

Τέλος ο χρόνος παραμονής των φορτηγών μπορεί να φανεί και στα στατιστικά που εξάγει το λογισμικό, όχι με τόση λεπτομέρεια όπως σε φύλλο excel. Δίνεται ο μέσος και ο μέγιστος χρόνος παραμονής των φορτηγών εντός του σταθμού.

## User Specified

### Time Persistent

| Variable         | Average | Half Width     | Minimum Value | Maximum Value |
|------------------|---------|----------------|---------------|---------------|
| Truck_Dwell_Time | 2480.23 | (Insufficient) | 0.00          | 5118.00       |

Μια πολύ σημαντική παρατήρηση σε αυτό το σημείο είναι ότι καθώς ο μέγιστος χρόνος παραμονής είναι ο ίδιος με τα αποτελέσματα που εκδόθηκαν από την μονάδα εκτύπωσης δεδομένων, ο μέσος χρόνος παραμονής δεν είναι ο ίδιος. Τον είχαμε υπολογίσει ίσο με 2824 δευτερόλεπτα από το φύλλο excel γνωρίζοντας τους ακριβείς χρόνους άφιξης και αποχώρησης των φορτηγών, άρα το αποτέλεσμα που προκύπτει από τα στατιστικά της Arena είναι λανθασμένο. Αυτό είναι σημαντικό για την αξιολόγηση του μοντέλου, καθώς παρατηρείται ότι είναι χρήσιμο να επανελέγχονται τα αποτελέσματα με πιο μηχανικό τρόπο και να μην βασιζόμαστε μόνο στο αποτέλεσμα του μοντέλου. Για αυτό ακριβώς είναι πολύ χρήσιμη η μονάδα ανάγνωσης και εκτύπωσης δεδομένων του λογισμικού Arena που μας επιτρέπει να κάνουμε πιο εξεζητημένους ελέγχους αποτελεσμάτων.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την πρώτη δοκιμή στο 1<sup>ο</sup> σενάριο του μοντέλου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3:

Πίνακας 4.3: Συνοπτικά αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής του 1<sup>ου</sup> σεναρίου του μοντέλου.

|   |         |
|---|---------|
| Αποτελέσματα  |         |
| Μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού | 5118sec |
| Μέσος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού    | 2824sec |
| Χρόνος αποχώρησης τελευταίου φορτηγού από τον τερματικό σταθμό  | 6198sec |
| Μέγιστος χρόνος αναμονής για ράμπα 1                            | 4230sec |
| Μέσος χρόνος αναμονής για ράμπα 1                               | 2111sec |
| Μέγιστος χρόνος αναμονής για ράμπα 2                            | 3478sec |
| Μέσος χρόνος αναμονής για ράμπα 2                               | 1822sec |
| Μέγιστος αριθμός φορτηγών σε ουρά αναμονής για ράμπα 1          | 9       |
| Μέσος αριθμός φορτηγών σε ουρά αναμονής για ράμπα 1             | 3,75    |
| Μέγιστος αριθμός φορτηγών σε ουρά αναμονής για ράμπα 2          | 9       |
| Μέσος αριθμός φορτηγών σε ουρά αναμονής για ράμπα 2             | 3,53    |
| Μέση χρήση ράμπας 1   | 93,7%   |
| Μέση χρήση ράμπας 2   | 81,6%   |

#### 4.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η υφιστάμενη δομή του μοντέλου με τις μονάδες σχεδιασμού επιτρέπει σε ένα έμπειρο χρήστη του λογισμικού να τροποποιήσει τις συνθήκες λειτουργίας της σιδηροδρομικής εγκατάστασης ως προς:

- α) Αλλαγή του ρυθμού και της κατανομής άφιξης των φορτηγών
- β) Προσθήκη επιπλέον μηχανημάτων για την υποβοήθηση των λειτουργιών συγκεκριμένης ράμπας ISU
- γ) Μετακίνηση των ραμπών ISU σε άλλες θέσεις
- δ) Αλλαγή στους κανόνες προτεραιότητας στην εξυπηρέτηση

Με βάση τα ανωτέρω διατυπωθήκαν δυο επιπλέον σενάρια (πέραν του αρχικού πρώτου σεναρίου) και επιλύθηκαν. Ένα επιπλέον σενάριο διατυπώθηκε για περαιτέρω έρευνα καθώς δεν μπορούσε να επιλυθεί με την φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στην συνέχεια.

##### 4.6.1 Σενάριο 2<sup>ο</sup> : Υποβοήθηση των λειτουργιών της πρώτης ράμπας από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας

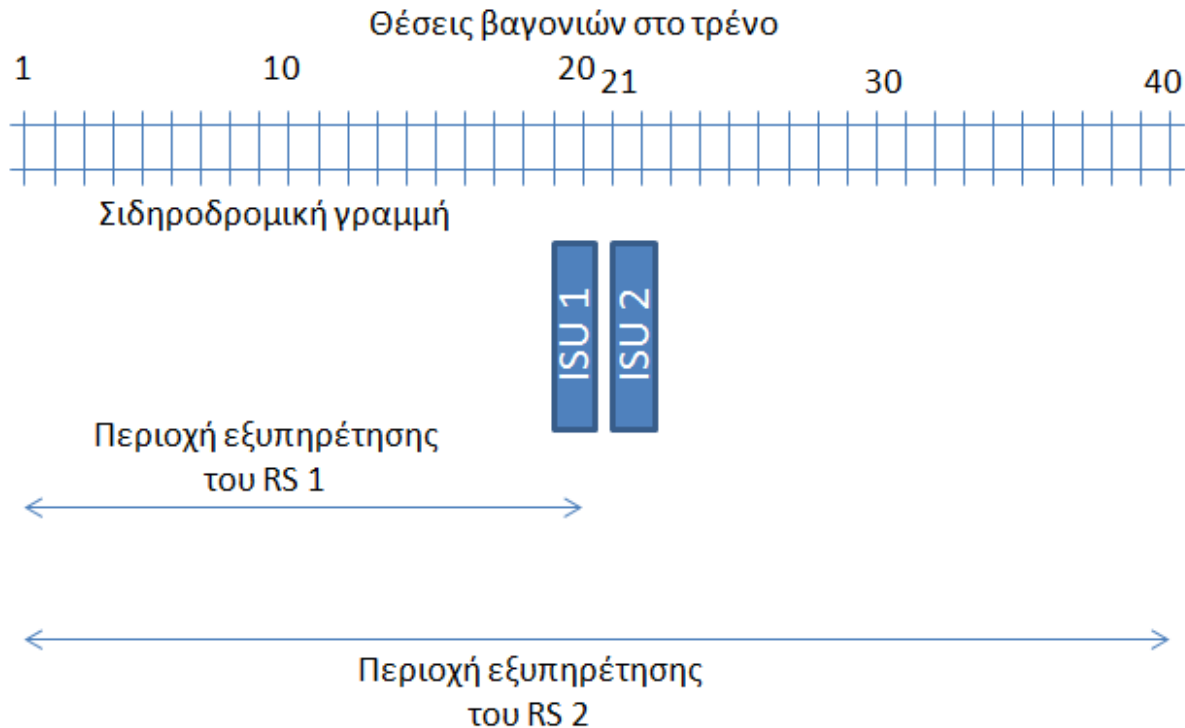
Σε αυτή την περίπτωση εξετάζουμε τι συμβαίνει αν το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας που λειτουργεί στην περιοχή της δεύτερης ράμπας μπορεί να εξυπηρετήσει κάποιες κινήσεις στην πρώτη ράμπα. Το σενάριο επινοείται λόγω του ότι η πρώτη ράμπα παρουσιάζει τις μεγαλύτερες καθυστερήσεις. Έτσι όταν το πρώτο όχημα στοιβασίας κάνει ελιγμούς και κινήσεις και το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας τελειώνει μια εξυπηρέτηση στην περιοχή της δεύτερης ράμπας, τότε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας έρχεται και εξυπηρετεί ένα φορτηγό που περιμένει στην πρώτη ράμπα.

Έτσι σε αυτό το σενάριο έχουμε τα εξής (σχήμα 4.11):

- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 1 εξυπηρετεί την πρώτη ράμπα.
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 2 εξυπηρετεί και τις δυο ράμπες.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 1-20 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 1 και τα δυο οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 21-40 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 2 και το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Σε κάθε ράμπα τα φορτηγά εξυπηρετούνται σύμφωνα με την σειρά άφιξης τους (κανόνας προτεραιότητας FIFO).

- Η ράμπα ISU 1 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 20 και η ράμπα ISU 2 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 21.

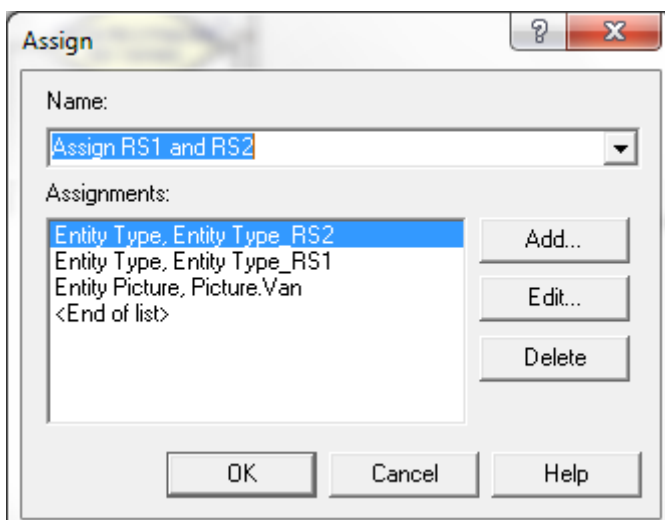
Σχήμα 4.11: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρός της στοιβάσις για το 2<sup>ο</sup> σενάριο



Επιπλέον σε αυτό το σενάριο πρέπει να κάνουμε και μερικές τροποποιήσεις στις μονάδες σχεδιασμού του διαγράμματος ροής του μοντέλου μας.

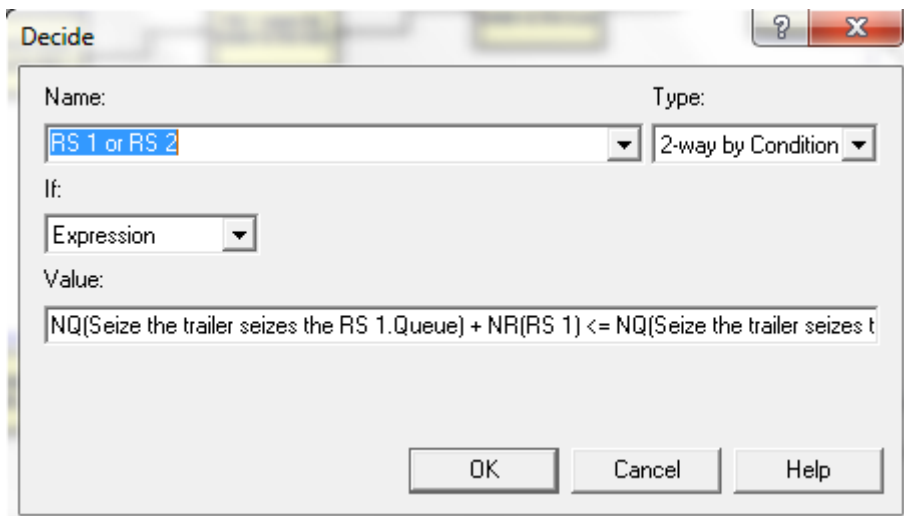
Το μοντέλο του 2<sup>ου</sup> σεναρίου περιέχει τις εξής τροποποιήσεις:

1) Στην μονάδα εκχώρησης 2.5, εκχωρούμε και το δεύτερο όχημα εμπρός της στοιβάσις όπως φαίνεται παρακάτω:



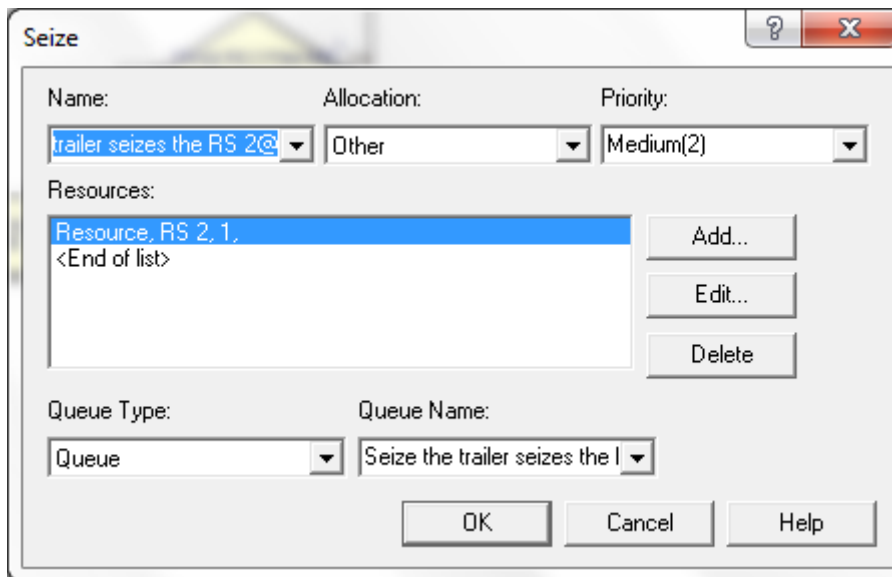
2) Προσθέτουμε μια μονάδα απόφασης πριν την μονάδα δέσμευσης 2.6, στην οποία θέτουμε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις να εξυπηρετεί το φορτηγό στην ουρά όταν ισχύει η συνθήκη  $NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 1.Queue}) + NR(\text{RS 1}) \leq NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 2@.Queue}) + NR(\text{RS 2})$ . Αυτό σημαίνει ότι όταν το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις δεν εκτελεί μεταφορτώσεις, θα εξυπηρετήσει το επόμενο φορτηγό στην ουρά. Επίσης όταν το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις δεν εκτελεί μεταφορτώσεις και το πρώτο εκτελεί, τότε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις θα εξυπηρετήσει το επόμενο φορτηγό στην ουρά.

Μονάδα απόφασης 5.1.

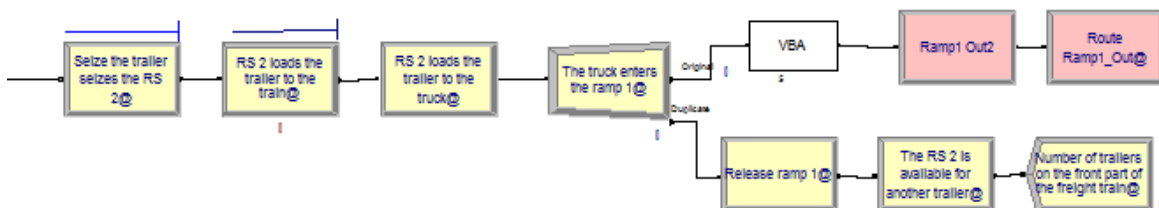


3) Συνδέουμε την ψευδή έξοδο της μονάδας απόφασης 5.1 με το υπόλοιπο κομμάτι του μοντέλου, δηλαδή με την μονάδα δέσμευσης 2.6 και συνδέουμε την αληθή έξοδο της μονάδας απόφασης 5.1 με μια νέα μονάδα δέσμευσης η οποία δεσμεύει το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις.

Μονάδα δέσμευσης 5.2.

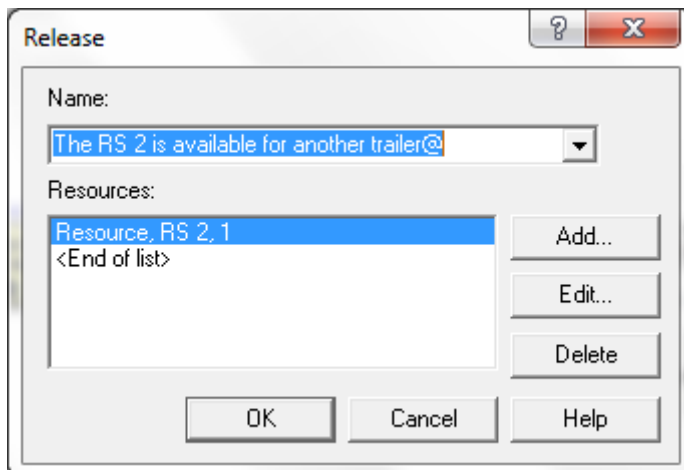


4) Συνδέουμε τον μονάδα δέσμευσης 5.2 με τις ίδιες μονάδες σχεδιασμού (αντίγραφα αυτών ουσιαστικά), που συνδέσαμε και την μονάδα δέσμευσης 2.6, αλλάζοντας απλά τα ονόματα ώστε να αντιπροσωπεύουν το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας, όπως φαίνεται παρακάτω:



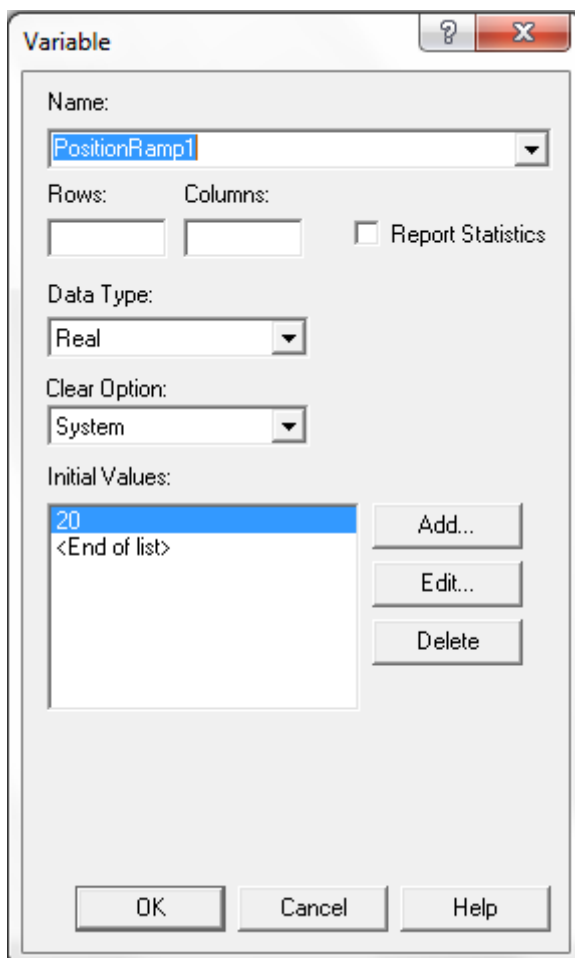
5) Απλά αλλάζουμε την μονάδα απελευθέρωσης του οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας (ανάλογη της μονάδας απελευθέρωσης 2.14), έτσι ώστε να αποδεσμεύει το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας αντί για το πρώτο.

Μονάδα απελευθέρωσης 5.3.



6) Αλλάζουμε τις τιμές των μεταβλητών PositionRamp1 και PositionRamp2 (από 10 και 30 αντίστοιχα που είχαμε στο πρώτο σενάριο) σε 20 και 21, δηλαδή αλλάζουμε θέση στις ράμπες ISU έτσι ώστε το δεύτερο όχημα εμπρόσθια στοιβάσις να μην χάνει χρόνο για να κινηθεί από την μια ράμπα στην άλλη.

Μονάδα μεταβλητών 5.4



## Μονάδα μεταβλητών 5.5

The image shows a 'Variable' dialog box with the following fields and controls:

- Name:** A dropdown menu with 'PositionRamp2' selected.
- Rows:** An empty input box.
- Columns:** An empty input box.
- Report Statistics:** An unchecked checkbox.
- Data Type:** A dropdown menu with 'Real' selected.
- Clear Option:** A dropdown menu with 'System' selected.
- Initial Values:** A list box containing '21' (highlighted) and '<End of list>'. To the right of the list are 'Add...', 'Edit...', and 'Delete' buttons.
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

**4.6.2 Σενάριο 3<sup>ο</sup> : Προσθήκη 2<sup>ου</sup> οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας στην περιοχή της ράμπας 1**

Σε αυτό το σενάριο γίνεται προσθήκη ενός ακόμα οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας για την εξυπηρέτηση της πρώτης ράμπας. Έτσι το πρώτο και το τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας εξυπηρετούν την ράμπα 1 και το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας την ράμπα 2. Η προσθήκη αυτή γίνεται για τους ίδιους λόγους με το δεύτερο σενάριο, που ορίσαμε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας να υποβοηθεί τις μεταφορτώσεις στην περιοχή της πρώτης ράμπας. Έτσι σε αυτό το σενάριο προσθέτουμε άλλο ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας στην περιοχή της ράμπας 1 με ονομασία πόρου RS 3.

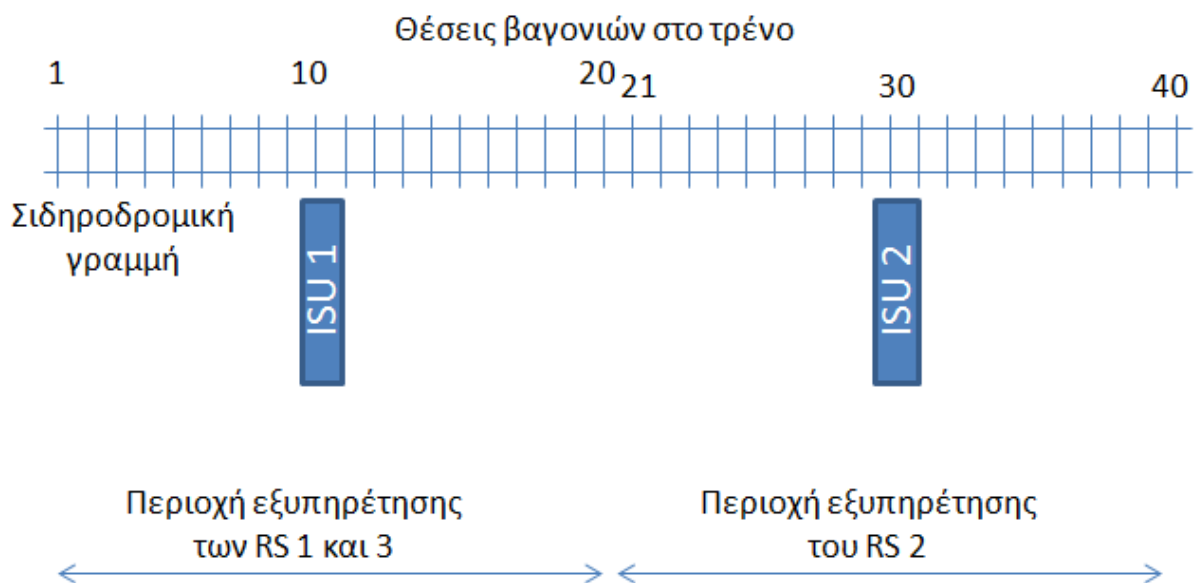
Στην περιοχή της δεύτερης ράμπας δεν έχουμε αλλαγές, οπότε περιμένουμε τα ίδια αποτελέσματα με αυτά του πρώτου σεναρίου. Στην περιοχή της πρώτης ράμπας όμως περιμένουμε ότι τα 2 οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας θα εξυπηρετήσουν πιο γρήγορα τα φορτηγά που καταφθάνουν με αποτέλεσμα μικρότερες καθυστερήσεις στην περιοχή της ράμπας 1, αλλά και συνολικά στον τερματικό σταθμό.



Έτσι σε αυτό το σενάριο έχουμε τα εξής (σχήμα 4.12):

- Τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας 1 και 3 εξυπηρετούν την πρώτη ράμπα.
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 2 εξυπηρετεί την δεύτερη ράμπα.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 1-20 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 1 και τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας 1 και 3.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 21-40 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 2 και το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Σε κάθε ράμπα τα φορτηγά εξυπηρετούνται σύμφωνα με την σειρά άφιξης τους (κανόνας προτεραιότητας FIFO).
- Η ράμπα ISU 1 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 10 και η ράμπα ISU 2 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 30.

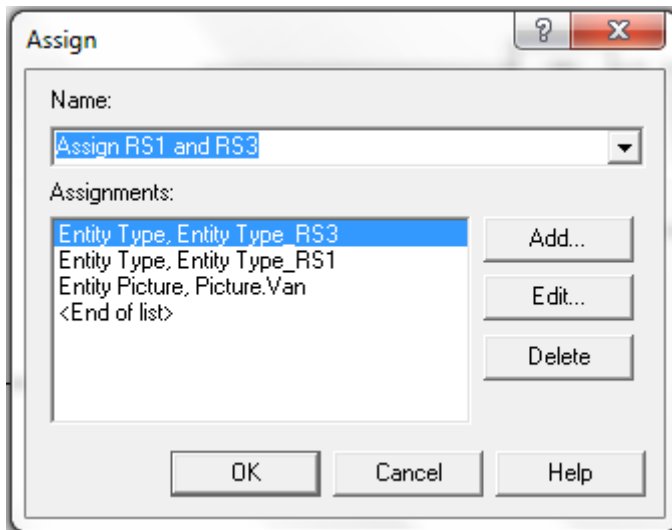
Σχήμα 4.12: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας για το 3<sup>ο</sup> σενάριο



Το μοντέλο του 3<sup>ου</sup> σεναρίου περιέχει τις εξής τροποποιήσεις:

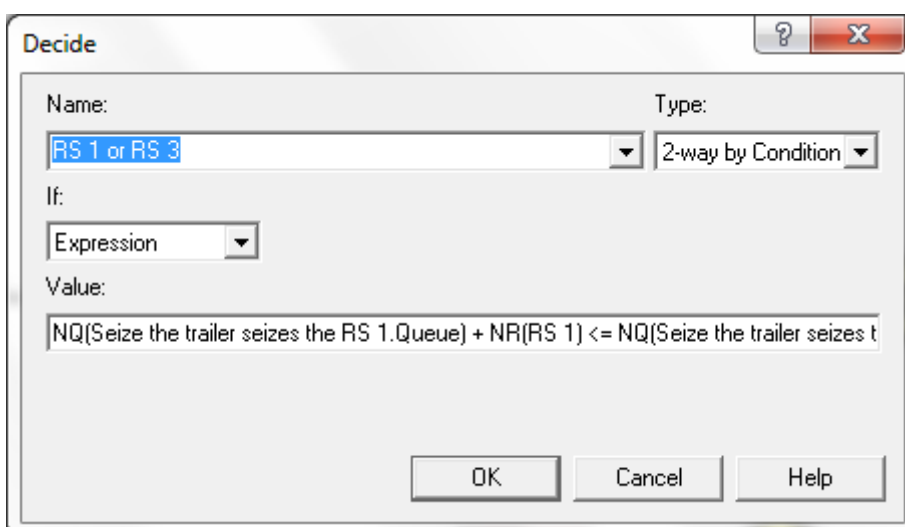
1) Αφαιρούμε όλες τις μονάδες σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για την περίπτωση LL, καθώς και την μονάδα απόφασης 2.3. Ο λόγος που αφαιρούνται όλες αυτές οι μονάδες είναι επειδή δεν μπορούμε να υπερβούμε τον μέγιστο αριθμό μονάδων που προσφέρονται στην φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena. Έτσι καθώς αυτές οι μονάδες σχεδιασμού δεν παίζουν ρόλο με τα στοιχεία εισόδου που θα δώσουμε, μπορούμε να τις αφαιρέσουμε και να δημιουργήσουμε νέες μονάδες.

2) Μεταφέρουμε την μονάδα εκχώρησης 2.5 αμέσως μετά την μονάδα δέσμευσης 2.2 και προσθέτουμε το τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσιας με ονομασία Entity\_Type\_RS3.



3) Αμέσως μετά την νέα μας μονάδα εκχώρησης προσθέτουμε μια μονάδα απόφασης με την συνθήκη  $NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 1.Queue}) + NR(\text{RS 1}) \leq NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 3.Queue}) + NR(\text{RS 3})$ . Με βάση αυτή τη συνθήκη το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσιας εξυπηρετεί τα φορτηγά όταν δεν υπάρχουν ουρές. Όταν υπάρχει ουρά και είναι δεσμευμένο, τότε το τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσιας εξυπηρετεί το επόμενο φορτηγό που περιμένει στην ουρά. Η μια έξοδος αντιστοιχεί στο πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσιας και η άλλη στο τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσιας (αυτό που προσθέσαμε).

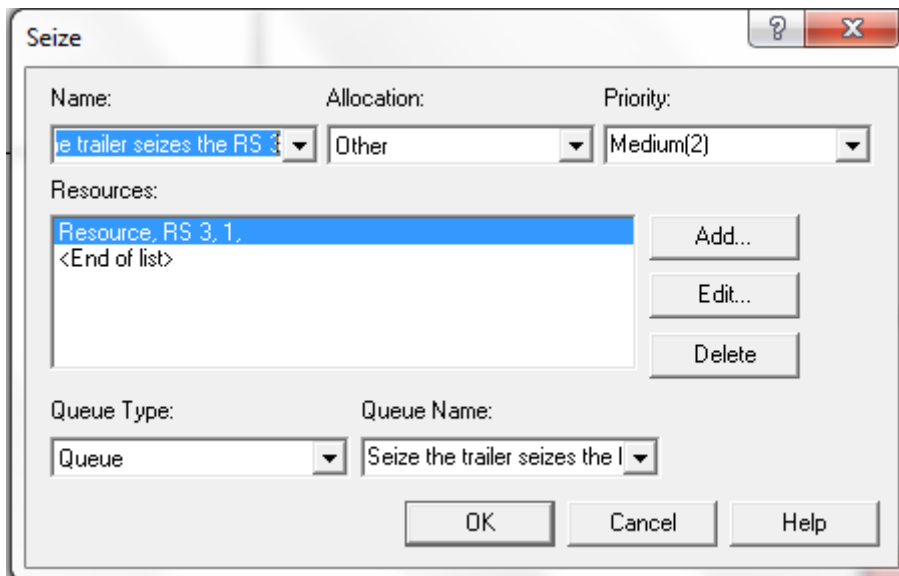
Μονάδα απόφασης 5.6.



4) Αντιγράφουμε τις μονάδες που ακολουθούν την μια περίπτωση και στην 2<sup>η</sup> περίπτωση που δημιουργήθηκε από την μονάδα απόφασης 5.4. Δηλαδή οι διαδικασίες

που ακολουθούνται με το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας, αντιγράφονται και για το τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας. Αλλάζουμε απλά τις ονομασίες των μονάδων (καθώς στο λογισμικό Arena δυο μονάδες με ίδιο όνομα δεν αναγνωρίζονται) και αλλάζουμε τους πόρους που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το τρίτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας λαμβάνει μέρος.

5)Αλλάζουμε την χρήση πόρου στην μονάδα δέσμευσης 2.6 και θέτουμε να χρησιμοποιείται ο πόρος RS 3, όπως φαίνεται παρακάτω:



6)Αλλάζουμε επίσης τον πόρο train handling στην μονάδα διεργασιών 2.7 και τον μετονομάζουμε σε train handling 3.

The screenshot shows the 'Process' dialog box with the following configuration:

- Name: RS 3 loads the trailer to the train
- Type: Standard
- Logic:
  - Action: Seize Delay Release
  - Priority: Medium(2)
  - Resources: Resource, Train handling3, 1
- Delay Type: Constant
- Units: Seconds
- Allocation: Value Added
- Value: AttributeH2
- Report Statistics

7)Τέλος στο αντίγραφο της μονάδας απελευθέρωσης 2.14, αλλάζουμε τον πόρο όπως κάναμε και στο αντίγραφο της μονάδας δέσμευσης 2.6 και ορίζουμε να απελευθερώνεται ο πόρος RS 3.

The screenshot shows the 'Release' dialog box with the following configuration:

- Name: The RS 3 is available for another trailer
- Resources: Resource, RS 3, 1

#### 4.6.3 Σενάριο 4<sup>ο</sup> : Κοινή χρήση των δυο οχημάτων εμπρόσθιας στοιβασίας στις δυο ράμπες ISU.

Σε αυτή την περίπτωση τα δυο οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας εξυπηρετούν από κοινού και τις δυο ράμπες ISU. Δηλαδή όταν το ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας είναι δεσμευμένο το άλλο εξυπηρετεί την αμέσως επομένη μεταφόρτωση ανεξαρτήτως σε ποια ράμπα λαμβάνει μέρος αυτή η μεταφόρτωση.

Η πιο απλή προσέγγιση για να επιτευχτεί η τροποποίηση είναι να προσθέσουμε στις μονάδες εκχώρησης 2.5, 3.15, στις μονάδες δέσμευσης 2.6,3.4 και στις μονάδες απελευθέρωσης 2.14,3.22 τους πόρους RS1 και RS2 όπου αυτά λείπουν (δηλαδή το RS1 στις μονάδες του τρίτου μέρους και το RS2 στις μονάδες του δεύτερου μέρους). Όμως αυτές οι αλλαγές οδηγούν σε έναν βρόγχο στον οποίο τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας απελευθερώνονται ακόμα και αν βρίσκονται πάνω σε διεργασίες μεταφόρτωσης, αφού οι μονάδες απελευθέρωσης είναι κοινές.

Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε μια μονάδα διαδρομής στο τέλος του τρίτου μέρους που να οδηγεί τις κινήσεις των οντοτήτων στην μονάδα απελευθέρωσης του δεύτερου μέρους η οποία θα ήταν πλέον κοινή. Πάλι έχουμε το ίδιο πρόβλημα και το μοντέλο δεν μπορεί να αποδώσει.

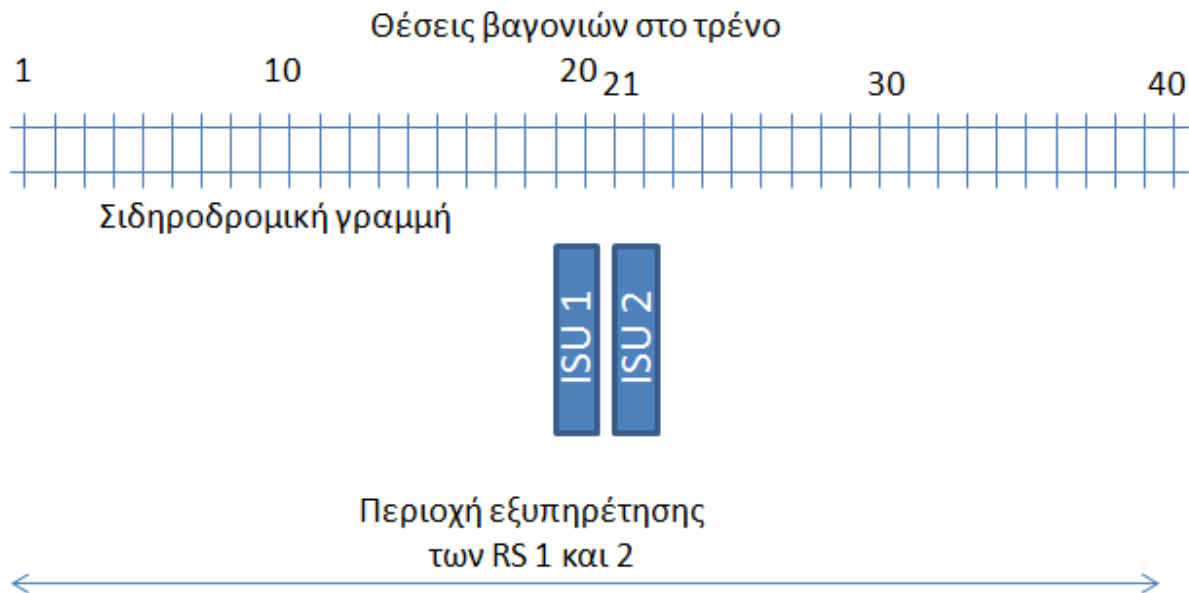
Έτσι μας μένει μόνο μια λύση η οποία δεν είναι εφικτή στην φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena καθώς ο αριθμός των μονάδων σχεδιασμού (blocks) μας περιορίζει. Αυτή η λύση περιλαμβάνει πλέον δυο ξεχωριστούς κλάδους στο δεύτερο και τρίτο μέρος, έναν για το κάθε όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας, έτσι ώστε να απελευθερώνεται μόνο αυτό που είναι έτοιμο για να εξυπηρετήσει το επόμενο φορτηγό. Έτσι εδώ θα παρουσιάσουμε τις τροποποιήσεις για περαιτέρω έρευνα, χωρίς να μπορούμε να τρέξουμε την προσομοίωση και να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα.

Έτσι σε αυτό το σενάριο έχουμε τα εξής (σχήμα 4.13):

- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 1 εξυπηρετεί και τις δυο ράμπες.
- Το όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας 2 εξυπηρετεί και τις δυο ράμπες.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 1-20 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 1 και τα δυο οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Τα φορτηγά που φέρουν ή θα παραλάβουν ημι-ρυμουλκούμενα από τις φορτάμαξες 21-40 εξυπηρετούνται από την ράμπα ISU 2 και τα δυο οχήματα εμπρόσθιας στοιβασίας.
- Σε κάθε ράμπα τα φορτηγά εξυπηρετούνται σύμφωνα με την σειρά άφιξης τους (κανόνας προτεραιότητας FIFO).

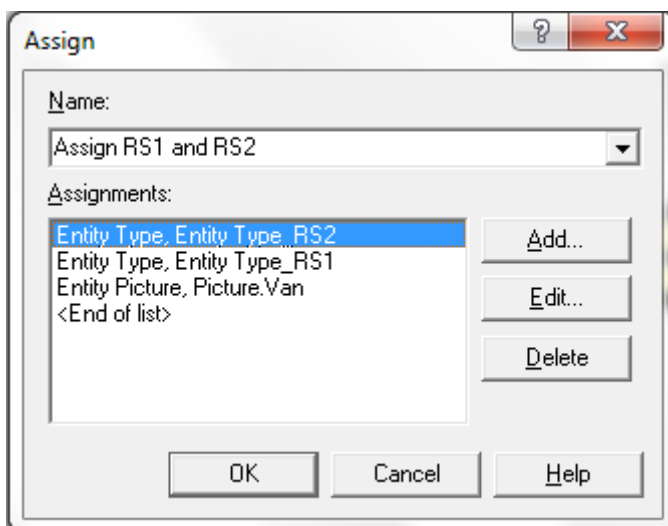
- Η ράμπα ISU 1 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 20 και η ράμπα ISU 2 βρίσκεται απέναντι από το βαγόνι 21.

Σχήμα 4.13: Θέσεις των ραμπών ISU, θέσεις βαγονιών στο τρένο και περιοχές εξυπηρέτησης των οχημάτων εμπρός της στοιβάσις για το 4<sup>ο</sup> σενάριο



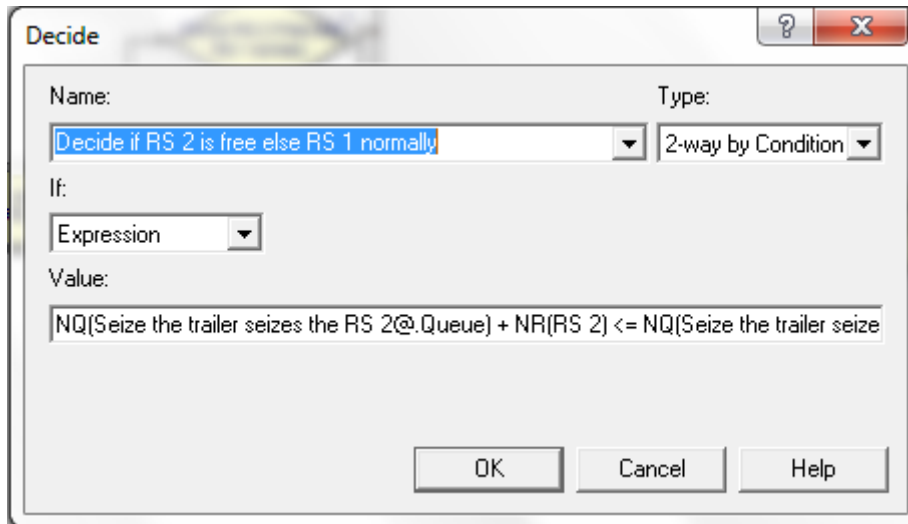
Οι τροποποιήσεις που χρειάζονται στο δεύτερο μέρος του μοντέλου είναι οι εξής:

- 1) Μεταφέρουμε την μονάδα εκχώρησης 2.5 αμέσως μετά από την μονάδα δέσμευσης 2.2 στην οποία προσθέτουμε την οντότητα RS2, με ονομασία Entity\_Type\_RS2.



- 2) Προσθέτουμε μια μονάδα απόφασης αμέσως μετά την τροποποιημένη μονάδα εκχώρησης. Σε αυτήν την μονάδα απόφασης θέτουμε το δεύτερο όχημα εμπρός της στοιβάσις να εξυπηρετεί το φορτηγό στην ουρά όταν ισχύει η συνθήκη  $NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 2@.Queue}) + NR(\text{RS 2}) \leq NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 1.Queue})$

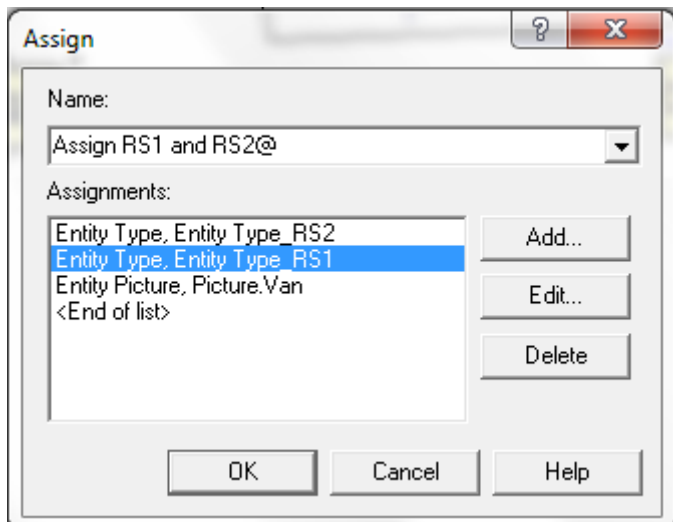
+ NR(RS 1), ακριβώς όπως κάναμε και στην περίπτωση που το 2<sup>ο</sup> όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας βοηθούσε τις μεταφορτώσεις στην ράμπα 1, στο πρώτο τροποποιημένο σενάριο (μονάδα απόφασης 5.1). Έτσι όταν το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας δεν εκτελεί μεταφορτώσεις και το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας εκτελεί, τότε η πρόταση είναι αληθής και το επόμενο ημι-ρυμουλκούμενο θα εξυπηρετηθεί από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.



3) Μετά την μονάδα απόφασης το υπόλοιπο κομμάτι του δεύτερου μέρους συνεχίζεται κανονικά, αλλά με δυο κλάδους, έναν για το κάθε όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας. Ο ένας κλάδος παραμένει ο ίδιος (οι μεταφορτώσεις που εξυπηρετούνται από το RS1, δηλαδή όταν δεν ικανοποιείται η συνθήκη της μονάδας απόφασης) και ο άλλος είναι το αντίγραφο του με αλλαγές στις ονομασίες των μονάδων ώστε η κάθε μονάδα να είναι μοναδική. Στα αντίγραφα των μονάδων δέσμευσης 2.6 και απελευθέρωσης 2.14 βάζουμε σαν πόρο το RS2 αντί για το RS1. Επίσης στο αντίγραφο της μονάδας δέσμευσης 2.6 προσθέτουμε ένα σύμβολο στην ονομασία έτσι ώστε η ουρά να μην έχει ακριβώς την ίδια ονομασία με την ανάλογη της στο τρίτο μέρος (το @ στο τέλος της ονομασίας και της συνθήκης στην μονάδα απόφασης).

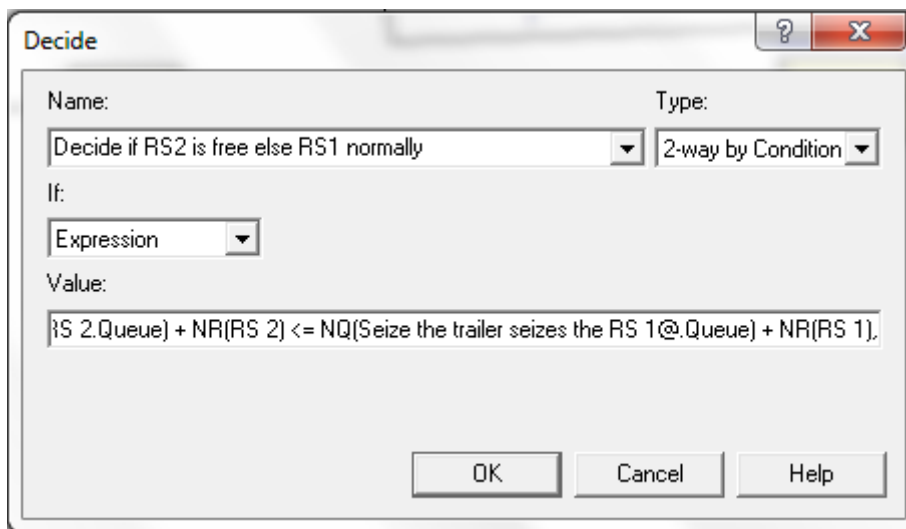
Οι ανάλογες τροποποιήσεις στο τρίτο μέρος του μοντέλου είναι οι παρακάτω:

4) Μεταφέρουμε την μονάδα εκχώρησης 3.15 αμέσως μετά την μονάδα δέσμευσης 3.2 και προσθέτουμε την οντότητα Entity\_Type\_RS1.



5) Προσθέτουμε μια μονάδα απόφασης αμέσως μετά την τροποποιημένη μονάδα εκχώρησης. Σε αυτήν την μονάδα απόφασης θέτουμε το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας να εξυπηρετεί το φορτηγό στην ουρά όταν ισχύει η συνθήκη  $NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 2.Queue}) + NR(\text{RS 2}) \leq NQ(\text{Seize the trailer seizes the RS 1@.Queue}) + NR(\text{RS 1})$ , ακριβώς όπως κάναμε και προηγουμένως (μονάδα απόφασης 5.1). Έτσι όταν το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας δεν εκτελεί μεταφορτώσεις και το πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας εκτελεί, τότε η πρόταση είναι αληθής και το επόμενο ημι-ρυμουλκούμενο θα εξυπηρετηθεί από το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας.

Μονάδα απόφασης 5.7.



6) Μετά την μονάδα απόφασης το υπόλοιπο κομμάτι του τρίτου μέρους συνεχίζεται κανονικά, αλλά με δυο κλάδους, έναν για το κάθε όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας. Ο ένας κλάδος, στον οποίο το RS2 εξυπηρετεί τις μεταφορτώσεις, παραμένει ο ίδιος (όταν ικανοποιείται η συνθήκη της μονάδας απόφασης) και ο άλλος είναι το αντίγραφο του με αλλαγές στις ονομασίες των μονάδων ώστε η κάθε μονάδα να είναι μοναδική. Στα



αντίγραφα των μονάδων δέσμευσης 3.4 και απελευθέρωσης 3.22 βάζουμε σαν πόρο το RS1 αντί για το RS2. Επίσης στο αντίγραφο της μονάδας δέσμευσης 3.4 προσθέτουμε ένα σύμβολο στην ονομασία έτσι ώστε η ουρά να μην έχει ακριβώς την ίδια ονομασία με την ανάλογη της στο δεύτερο μέρος (το @ στο τέλος της ονομασίας και της συνθήκης στην μονάδα απόφασης).

7) Αλλάζουμε τις τιμές των μεταβλητών PositionRamp1 και PositionRamp2 (από 10 και 30 αντίστοιχα που είχαμε στο πρώτο σενάριο) σε 20 και 21, δηλαδή αλλάζουμε θέση στις ράμπες ISU έτσι ώστε τα οχήματα εμπρόσθιας στοιβάσις να μην χάνουν χρόνο για να κινηθούν από την μια ράμπα στην άλλη (όπως ακριβώς κάναμε και στο 2<sup>ο</sup> σενάριο , βλ. μονάδες μεταβλητών 5.4,5.5).

Είναι προφανές ότι δημιουργώντας αντίγραφα των ήδη υπάρχοντων blocks, το μοντέλο μας πλέον περιέχει σχεδόν τα διπλασία, γεγονός που δεν μας επιτρέπει να προχωρήσουμε στην εφαρμογή του μοντέλου με την φοιτητική έκδοση του λογισμικού Arena. Δεν θα γίνουν εικασίες για τα αποτελέσματα, καθώς ο σκοπός μας είναι να προσομοιώσουμε καταστάσεις και όχι να προσπαθήσουμε να βρούμε μια αναλυτική λύση. Παρόλα αυτά, με χρήση των παραπάνω τροποποιήσεων και του επαγγελματικού λογισμικού Arena, μπορούμε να βγάλουμε αποτελέσματα.

#### 4.7 ΔΟΚΙΜΕΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο της Διπλωματικής Εργασίας συγκρίνονται τα τρία σενάρια που αναπτύχθηκαν. Θα γίνουν 30 δοκιμές (ικανοποιητικό επίπεδο σημαντικότητας για συγκρίσεις ανά ζεύγη, ισχύει ο κανόνας των μεγάλων αριθμών για 30 και πάνω) για το κάθε σενάριο και θα καταγραφούν για την κάθε δοκιμή οι χρόνοι παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού. Για τις 30 δοκιμές για το κάθε σενάριο θα παρουσιαστούν οι κατανομές των μέσων χρόνων παραμονής και των μέγιστων χρόνων παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού. Τέλος για το κάθε σενάριο θα υπολογιστεί ένας μέσος χρόνος και ένας μέγιστος χρόνος παραμονής των φορτηγών στον τερματικό σταθμό και θα συγκριθούν.

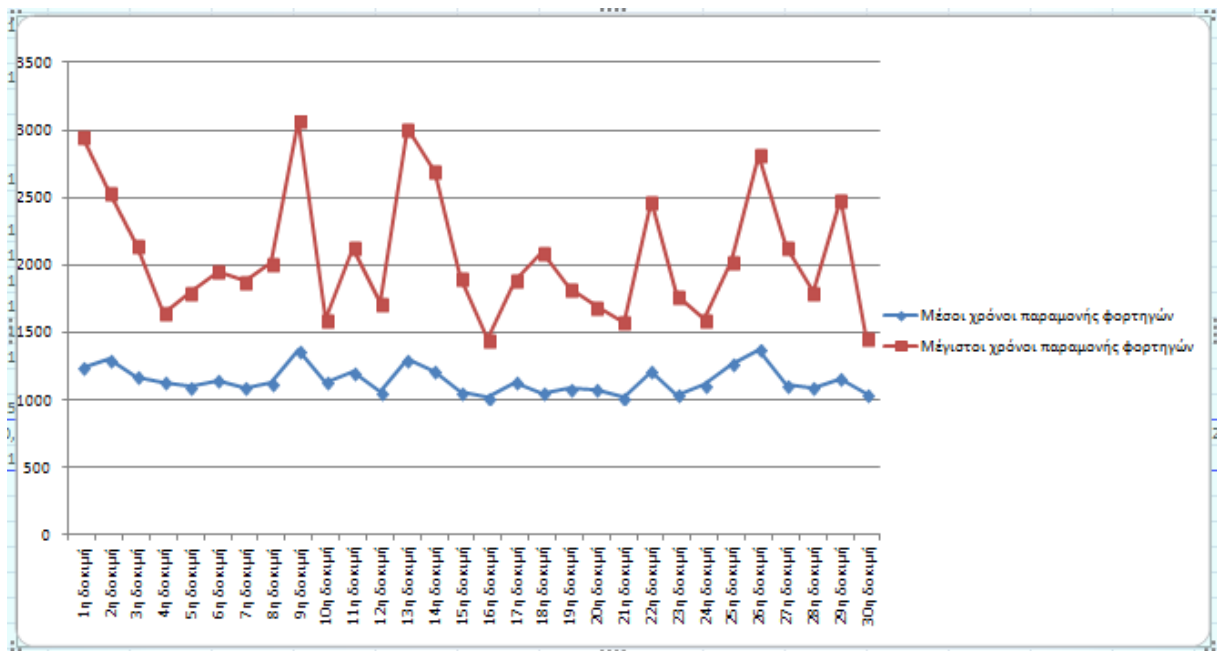
Για την αξιολόγηση των σεναρίων θεωρείται ότι τα φορτηγά αφικνούνται στον τερματικό σταθμό εντός διαστήματος 2 ωρών (ή 7200 δευτερολέπτων). Έτσι για την κάθε δοκιμή δημιουργείτε μια τυχαία γεννήτρια αριθμών. Για την κάθε δοκιμή αλλάζει η πρώτη στήλη του πίνακα 4.1 (truck arrival times) και ορίζονται σαν δεδομένα οι τυχαίες αφίξεις που προκύπτουν από την τυχαία γεννήτρια αριθμών. Ο συνοπτικός πίνακας του ρυθμού αφίξεων των φορτηγών για κάθε δοκιμή βρίσκεται στο παράρτημα Β (πίνακας 1).

Στην συνέχεια για το κάθε σενάριο γίνονται 30 επαναλήψεις χρησιμοποιώντας διαδοχικά τα στοιχεία των στηλών του πίνακα 1, έτσι ώστε η κάθε επανάληψη να αντιστοιχεί και σε μια στήλη. Τα αποτελέσματα των χρόνων παραμονής φορτηγών (truck dwell times) από την κάθε επανάληψη (και για το κάθε σενάριο) ομαδοποιούνται σε νέους πίνακες στο παράρτημα Β (πίνακες 2,3,4 αντίστοιχα για τα σενάρια 1,2 και 3).

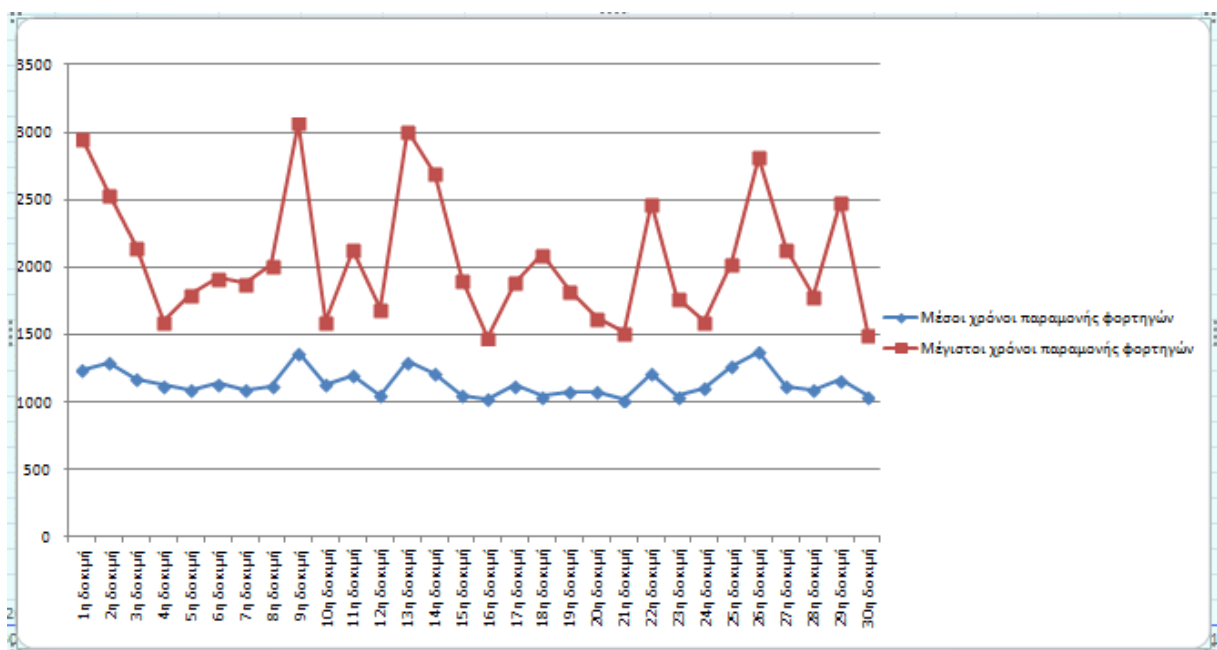
Τέλος έχοντας τα αποτελέσματα των χρόνων παραμονής φορτηγών για την κάθε δοκιμή και για κάθε σενάριο υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης των μέσων χρόνων παραμονής και των μέγιστων χρόνων παραμονής και ομαδοποίησής τους στον πίνακα 5 στο παράρτημα Β.

Στην συνέχεια κατασκευάζονται οι γραφικές παραστάσεις των μέσων και μέγιστων χρόνων παραμονής φορτηγών για το κάθε σενάριο. Στα γραφήματα 4.1, 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται οι κατανομές των μέσων και μέγιστων χρόνων παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για τα σενάρια 1,2 και 3 αντίστοιχα.

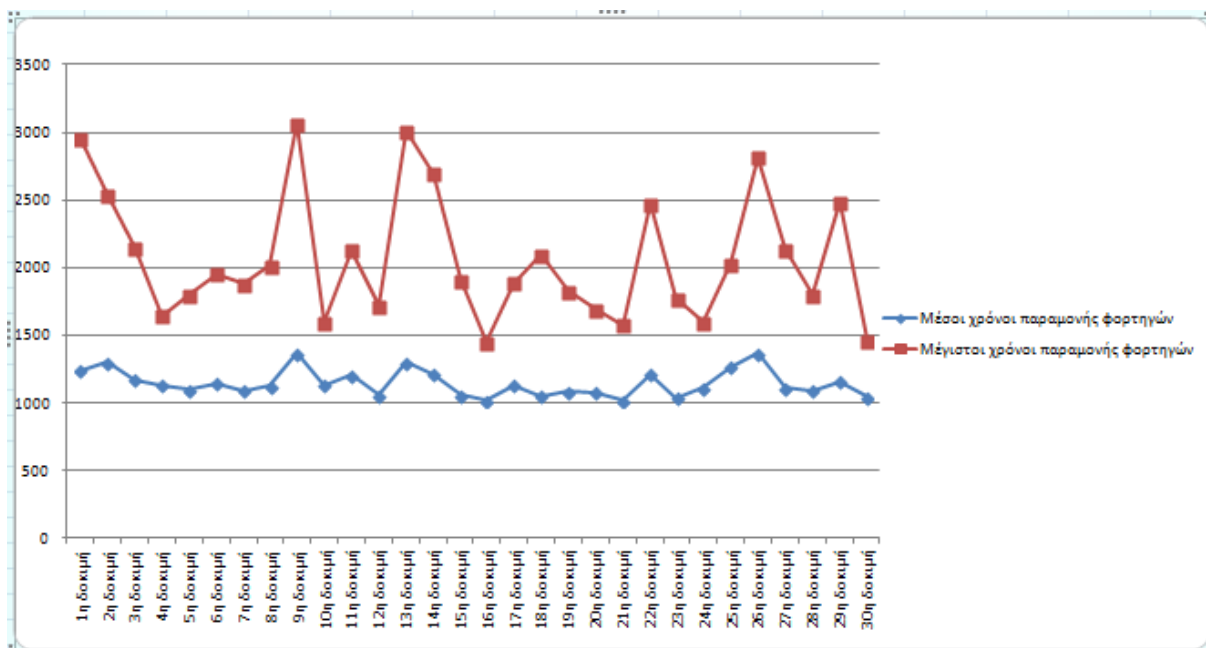
Γράφημα 4.1: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 1, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.



Γράφημα 4.2: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 2, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.



Γράφημα 4.3: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το σενάριο 3, όπως προέκυψαν από 30 δοκιμές.



Τέλος βρίσκεται ο μέσος όρος των 30 δοκιμών των μέσων και μέγιστων χρόνων παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για το κάθε σενάριο. Στο πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα τελικά αυτά αποτελέσματα.

Πίνακας 4.4: Μέσος και μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού για τα 3 σενάρια, μετά από 30 δοκιμές ρυθμών αφίξεων φορτηγών.

| Αποτελέσματα  | Σενάριο 1 | Σενάριο 2 | Σενάριο 3 |
|---|-----------|-----------|-----------|
| Μέσος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού    | 1148      | 1146      | 1148      |
| Μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού | 2074      | 2068      | 2074      |

Παρατηρείται στον πίνακα 4.4 αλλά και στα γραφήματα ότι στα σενάρια 1 και 3 δεν υπάρχουν αλλαγές. Δηλαδή για τον συγκεκριμένο ρυθμό αφίξεων φορτηγών που ορίστηκε, δεν δημιουργούνται ουρές αναμονής στις ράμπες ISU και έτσι το 3<sup>ο</sup> όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις δεν προσφέρει τίποτα ουσιαστικό στην λειτουργία της ράμπας 1 και συνολικά στην λειτουργία του τερματικού σταθμού.

Επιπλέον στο σενάριο 2, όπου το δεύτερο όχημα εμπρόσθιας στοιβάσις δεν χάνει χρόνο για να κινηθεί από την περιοχή της μιας ράμπας στην περιοχή της άλλης, υπάρχει μια ελάχιστη μείωση στους χρόνους παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού. Αυτό συμβαίνει επειδή για τον συγκεκριμένο ρυθμό άφιξης φορτηγών το

πρώτο όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας προλαβαίνει τις περισσότερες κινήσεις στην ράμπα 1, όποτε η συμβολή του δεύτερου οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας είναι πολύ μικρή.

Έτσι το δεύτερο σενάριο είναι το πιο αξιόλογο, έστω και με πολύ μικρή διαφορά από το πρώτο, κάτω από τις συγκεκριμένες προϋποθέσεις για τον ορισμένο ρυθμό άφιξης φορτηγών στον τερματικό σταθμό.

Επίσης στο τρίτο σενάριο, παρόλο που τα αποτελέσματα στους χρόνους αναμονής φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού είναι ίδια με τα αποτελέσματα του πρώτου σεναρίου, η χρήση του τρίτου οχήματος εμπρόσθιας στοιβασίας είναι αντικοινωνική, επομένως το τρίτο σενάριο φέρει μικρότερης αξίας από το πρώτο σενάριο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ**

### **5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγινε μια παρουσίαση των δυνατοτήτων της τεχνικής της προσομοίωσης στην διερεύνηση των λειτουργιών διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων εντός ενός σιδηροδρομικού τερματικού σταθμού που περιλαμβάνει ράμπες ISU. Εφαρμόστηκαν διάφορα σενάρια μηχανολογικού εξοπλισμού και διάφορες δοκιμές για τον τυχαίο ρυθμό αφίξεων φορτηγών στον τερματικό σταθμό.

Άλλωστε συμφώνα και με την βιβλιογραφική επισκόπηση που έγινε στο κεφάλαιο 3, για τα μοντέλα προσομοίωσης που έχουν αναπτυχτεί στο παρελθόν, η προσομοίωση φαίνεται να έχει πολύ μεγάλο ποσοστό επιτυχίας ως προς την αξιολόγηση εύρεση αποτελεσμάτων. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε που στο συγκεκριμένο πεδίο των μεταφορτώσεων των μοναδοποιημένων φορτίων, η προσομοίωση λαμβάνει όλο και μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης σε σχέση με άλλα μαθηματικά μοντέλα και αναλυτικές μεθόδους.

Η χρήση των στοιχείων εισόδου με βάση την παρατήρηση πραγματικών καταστάσεων είναι πολύ σημαντική για το πεδίο της προσομοίωσης και όσο περισσότερες παρατηρήσεις γίνονται τόσο πιο έγκυρα είναι τα στοιχεία εισόδου που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση, με αποτέλεσμα η προσομοίωση να είναι πιο ουσιαστική και να αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την πραγματικότητα.

Έτσι κατανοώντας τις λειτουργίες που λαμβάνουν μέρος εντός των τερματικών σταθμών, γνωρίζοντας για τα μοναδοποιημένα φορτία, τα μηχανήματα και τα συστήματα που εξυπηρετούν τις μεταφορτώσεις των μοναδοποιημένων φορτίων και με εξάσκηση στο λογισμικό προσομοίωσης Arena, έλαβαν μέρος διάφορα σενάρια και τροποποιήσεις στο μοντέλο και έγιναν διάφορες δοκιμές για εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Στα αποτελέσματα των δοκιμών των σεναρίων του μοντέλου επιτεύχθηκε σύγκριση αποτελεσμάτων, στην οποία γίνεται εμφανής η αξιολόγηση των τριών σεναρίων. Προκύπτει ότι το δεύτερο σενάριο έχει μια μικρή υπεροχή ως προς το πρώτο και ότι το πρώτο σενάριο απορρίπτει το τρίτο λόγω κόστους (καθώς στο τρίτο σενάριο έχουμε τα ίδια αποτελέσματα με χρήση ενός επιπλέον μηχανήματος στοιβασίας).

Ένα επίσης πολύ σημαντικό συμπέρασμα για το λογισμικό Arena και την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του είναι ότι ενώ οι μέγιστοι χρόνοι παραμονής των φορτηγών συμπίπτουν με τους αντίστοιχους τους στα εξαγόμενα αποτελέσματα από την μονάδα εκτύπωσης, οι μέσοι χρόνοι παραμονής των φορτηγών αποκλίνουν.

Έτσι με βάση όλα τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι η παρούσα Διπλωματική Εργασία βασίστηκε σε δεδομένα και μεθοδολογίες που είχαν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο παρελθόν, με αποτέλεσμα να προκύψουν κάποια σημαντικά συμπεράσματα για τις λειτουργίες διακίνησης μοναδοποιημένων φορτίων εντός σιδηροδρομικών τερματικών σταθμών.

## 5.2 ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Για την περαιτέρω μελέτη του αντικείμενου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η διερεύνηση των παρακάτω:

1)Θα ήταν χρήσιμο να συμπεριληφθούν και άλλα στοιχεία εισόδου, όπως καταγράφηκαν και στην έρευνα του ΕΜΠ, ώστε να μπορούν να προσομοιωθούν και άλλα συστήματα βήμα προς βήμα όπως ακριβώς έγινε στα σενάρια του μοντέλου.

2)Πολύ αξιόλογη θα ήταν η διερεύνηση του τετάρτου σεναρίου του μοντέλου που αναπτύχθηκε στην παρούσα Διπλωματική Εργασία και η εφαρμογή του με χρήση του επαγγελματικού λογισμικού Arena, η οποία δεν πραγματοποιείται στην φοιτητική έκδοση.

3)Εκτός από τις δοκιμές που εξετάστηκαν με αλλαγές στον ρυθμό αφίξεων των φορτηγών, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν και αλλαγές στα υπόλοιπα στοιχεία εισόδου του πίνακα 4.1, όπως στο επίπεδο προτεραιότητας και στην θέση του βαγονιού στο τρένο.

4)Θα μπορούσαν να εξεταστούν περιπτώσεις όπου συμβαίνουν απρόβλεπτα προβλήματα στον τερματικό σταθμό, όπως η αναγκαστική χρήση ενός οχήματος εμπρόςθιας στοιβάσιας και για τις δυο ράμπες, καθώς το άλλο παρουσίασε βλάβη ή μια περίπτωση όπου όλα τα φορτηγά καταφθάνουν μέσα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

5)Επιπλέον εφικτά σενάρια μπορούν να επινοηθούν με βάση την κάθε περίπτωση που μπορεί να παρουσιαστεί. Έτσι με αλλαγές στα στοιχεία εισόδου, στα χαρακτηριστικά, στους πόρους και στις οντότητες του μοντέλου μπορούν να γίνουν περαιτέρω συγκρίσεις των λειτουργιών διακίνησης ημι-ρυμουλκούμενων σε σιδηροδρομικό τερματικό σταθμό με ράμπες ISU.

6)Επιπλέον χρήση της φοιτητικής έκδοσης του λογισμικού Arena μπορεί να γίνει στο πάρων μοντέλο με την χρήση περισσότερων μονάδων VBA στις οποίες θα περιλαμβάνονται διεργασίες που συμβαίνουν σε άλλες μονάδες, που σε αυτή την περίπτωση αφαιρούνται. Έτσι γίνεται εξοικονόμηση στον μέγιστο αριθμό των μονάδων σχεδιασμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα τροποποιήσεων στο μοντέλο.

7)Γενικά στο πεδίο των μοναδοποιημένων φορτίων υπάρχουν πολύ λίγοι ερευνητές στην Ελλάδα (με σημαντική συμβολή φυσικά) και γενικά οι μεταφορές και οι μεταφορτώσεις μοναδοποιημένων φορτίων δεν είναι πολύ ανεπτυγμένες σε αντίθεση με τον διεθνή χώρο, γεγονός που δίνει τις προϋποθέσεις να διεξαχθούν παρόμοιες έρευνες και από άλλους ερευνητές της χώρας.

8)Εν τέλει παρόλο που το λογισμικό Arena είναι πολύ χρήσιμο, θα μπορούσε το ίδιο μοντέλο να αναπτυχτεί και σε άλλα λογισμικά προσομοίωσης και να συγκριθούν και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα. Η μεθοδολογία παραμένει η ίδια απλά το κάθε λογισμικό έχει τις «ιδιαιτερότητες» του. Σίγουρα χρειάζεται εξάσκηση πάνω στο πρόγραμμα ώστε να αποφεύγονται τα λάθη.



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ****Ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία**

Αμπακούμκιν, Κ.Γ.(1990). Μοναδοποιημένα φορτία – συνδυασμένες μεταφορές εμπορευμάτων. s.l. : Συμμετρία, 1990.

Αντωνοπούλου, Δ. (2010). Διπλωματική Εργασία “Συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων σε λιμενικές εγκαταστάσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γκαϊτατζή, Ξ. (2009). Διπλωματική Εργασία “Οι σταθμοί διαλογής στο σύστημα των εμπορευματικών μεταφορών. Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας. Οι σταθμοί διαλογής στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο”, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μπατσάρας, Β. (2005). Τα εμπορευματικά κέντρα και η συμβολή τους στην ανάπτυξη των συνδυασμένων μεταφορών.

Παπανικολάου, Ν. (2008). Σχεδιασμός και επιλογή εξοπλισμού για την εξυπηρέτηση της χερσαίας πλευράς λιμενικής εγκατάστασης διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων. 2008.

Σημειώσεις μαθήματος Συνδυασμένων μεταφορών – Μοναδοποιημένων φορτίων, Μπαλλής, Α.

Σπυράκος, Β.Ι. και Μιχαλόπουλος, Α. (2006). Σιδηροδρομικός εμπορευματικός σταθμός Θριάσιου πεδίου, Τεχνικά χρονικά, ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε., Υπηρεσία Σιδηροδρομικών Έργων.

Χατζηλεοντιάδου, Σ. και Χατζηλεοντιάδης, Λ. (2005). Μέθοδοι και Τεχνικές Μοντελοποίησης Συνεργατικών Αλληλεπιδράσεων, στον τόμο Εισαγωγή στην εργασία υποστηριζόμενη από υπολογιστή – Συστήματα, Μοντέλα Συνεργασίας για Εργασία, Μάθηση , Κοινότητες Πρακτικής και Δημιουργίας της Γνώσης , Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Adamko, N. and Klima, V. (2008). Optimization of railway terminal design and operations using Villon generic simulation model, Dept of Transportation Networks, University of Žilina, Univerzitna 1, SK-01026 Žilina, Slovak Republic.

Assuma, V. and Vitetta, A. (2006). Microsimulation models in a ro-ro high speed services, Intermodal container terminal: Ordinary and perturbed conditions, Department of Computer Science Mathematics Electronics and Transportation, University Mediterranea of Reggio Calabria.

- Ballis, A. (2001) 'An expert system approach to intermodal terminal design', WCRR, 25–29 November, Cologne, CD-ROM.
- Ballis, A. and Golias, J. (2002). Comparative evaluation of existing and innovative rail–road freight transport terminals, *Transportation Research Part A* 36 (2002) 593–611.
- Ballis, A. and Abacoumkin, C. (1996). A container terminal simulation model with animation capabilities, *Journal of advanced transportation*, Vol. 30, No. 1, pp 37-57.
- Ballis, A. and Stathopoulos, A. (2002). Innovative Transshipment Technologies: Implementation in Seaports and Barge Terminals. *Transportation Research Record*. Issue Number: 1782. 2002.
- Bish, E. K., Leong, T. Y., Li, C. L., Ng, W. C. and Simchi-Levi, D. (2001). Analysis of a new vehicle scheduling and location problem, *Naval Research Logistics* 48: 363–385.
- Bose, P. (1983). Applications of computer model techniques for railroad intermodal terminal configuration, equipment and operational planning. *Transp. Res. Rec.*, 907.
- BRAVO project, Deliverable D7: Description of Three Solutions for Unaccompanied CT of Conventional Semi-Trailers, Market Analysis and Decision Criteria, Conclusions and Recommendations on Prototype Development. European Commission Directorate-General Transport and Energy, 2005.
- CargoSpeed Project (Contract No: G3RD-CT-2000-00450) Coordinator: Lars Stemmler. 2001-2003 European Commission, DG Research. <http://www.cargospeed.net>. Accessed July 25, 2008.
- Carson, Y. and Maria, A. (1997). SIMULATION OPTIMIZATION: METHODS AND APPLICATIONS. State University of New York at Binghamton Department of Systems Science and Industrial Engineering Binghamton, NY 13902-6000, U.S.A.
- Castilho, B.J. de (1993) 'High-throughput intermodal container terminals: technical and economic analysis of a new direct transfer system', In: C.F. Daganzo (ed.) (1993) *Transportation and Traffic Theory – Proceedings 12th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation*, Berkeley, CA, 21–23 July, pp. 237–254.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J. and Xi, L. (2007). A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal, *European Journal of Operational Research* 181: 40–58.
- Corry, P. and Kozan, E. (2007). Optimized loading patterns for intermodal trains. *OR Spectrum* (2008) 30:721–750 DOI 10.1007/s00291-007-0112-5.

Crainic, T. G. and Kim, K. H. (2007). Intermodal transportation, in C. Barnhart and G. Laporte (eds), *Transportation*, Vol. 14 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Elsevier, pp. 467–537.

Cumhur Atilgan. *Short Sea Shipping and Combined Transport Between Turkey and Europe*. RODER & UN Ro-Ro Group of Companies. Turkey, Istanbul, 2005.

Demirci, E. (2003). Simulation modeling and analysis of a port investment, *SIMULATION* 2003; 79; 94 DOI: 10.1177/0037549703254523.

Duinkerken, M.B. et al (2007). Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals.

Dragovi, B., Park, N. K. and Radmilovi, Z. (2006). 'Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches', *Maritime Policy & Management*, 33:3, 281 — 299.

Edmond, E. D., and Maggs, R. P. (1978). "How useful are queue models in port investment decisions for container berths?" *J. Oper. Res. Soc.*, 29 (8), 741–750.

European Commission/DG-TREN, ITIP Project, *Innovative Technologies for Intermodal transfer Points*. Contract NO: 2000-AM.10005.

Ferreira, L. and Sigut, J. (1995). Modelling intermodal freight terminal operations, *Road and Transport Research: a journal of Australian and New Zealand research and practice*, 4(4), pp. 4-16.

Froyland, G., Koch, Th., Megow, N., Duane, E., Wren, H.(2007). Optimizing the landside operation of a container terminal. *OR Spectrum* 30:53-75, 2007.

Gambardella, L.C, Rizzoli, A.E and Zaffalon, M. (1998). *Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal*, IDSIA - Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale Corso Elvezia 36, 6900 Lugano, Switzerland.

Goodchild, A. V. and Daganzo, C. F. (2006). Double-cycling strategies for container ships and their effect on ship loading and unloading operations, *Transportation Science* 40: 473– 483.

Goodchild, A. V. and Daganzo, C. F. (2007). Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation, *Transportation Research Part B* 41: 875–891.

Hartmann, S. (2004). Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics, *OR Spectrum* (2004) 26: 171–192.

Hastings Phil, 1992 Annual Report. *European Combined Transport, International Cargo Handling Co-ordination Association (ICHCA) 1992*.

Hood Malcolm, Inland Intermodalism - Signs of a Mini-Revolution, Cargo Systems, October 1981, pp. 20-25.

House of Commons (2008) Planning Bill as amended in Public Bill Committee, 15 February (London: HMSO).

Imai, A., Chen, H. C., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2007). The simultaneous berth and quay crane allocation problem, *Transportation Research Part E*, doi:10.1016/j.tre.2007.03.003.

Imai, A., Nishimura, E., Hattori, M. and Papadimitriou, S. (2007). Berth allocation at indented berths for mega-containerships, *European Journal of Operational Research* 179: 579–593.

Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2003). Berth allocation with service priority, *Transportation Research Part B* 37: 437–457.

Imai, A., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2008). Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity, *Transportation Research Part E* 44: 136–151.

Imai, A., Sun, X., Nishimura, E. and Papadimitriou, S. (2005). Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach, *Transportation Research Part B* 39: 199–221.

Jennings, N. R. (2001). An agent-based approach for building complex software systems, *Communications of the ACM* 44(4): 35–41.

Kang, J., Ryu, K. R. and Kim, K. H. (2006). Deriving stacking strategies for export containers with uncertain weight information, *Journal of Intelligent Manufacturing* 17: 399–410.

Kavička, A.; Klima, V.; Adamko, N. (2005). Agentovo orientovaná simulácia dopravných uzlov: Monografia [Agent oriented simulation of transport nodes: Monograph]. Žilina: EDIS. 206 p.

Kavička, A.; Klima, V. (2005). ABAsim: Agent-based architecture of simulation models, in *Simulation Almanac*, Czech and Slovak Simulation Society, Prague, 63–72.

Kelton W. D., Sadowski R. P., Sturrock D. T. (2004) *Simulation with Arena*, Third Edition, McGraw Hill.

Kia, M., Shayan, E. and Ghotb, F. (2002). Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation, Industrial research institute Swinburne (IRIS), Swinburne university of technology, Melbourne 3122, Australia.

- Kim, K. H. and Bae, J. W. (1998). Re-marshaling export containers in port container terminals, *Computers and Industrial Engineering* 35: 655–658.
- Kim, K. H. and Hong, G. P. (2006). A heuristic rule for relocating blocks, *Computers and Operations Research* 33: 940–954.
- Kim, K.H and Gunther, H.O. (2006). Container terminals and terminal operations, *OR SPECTRUM* Volume 28, Number 4 : 437-445.
- Kim, K. H. and Kim, H. B. (1999). Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals, *International Journal of Production Economics* 59: 415–423.
- Kim, K. H. and Kim, H. B. (2002). The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers, *Transportation Research Part B* 36: 821–835.
- Kim, K. H. and Lee, J. S. (2006). Satisfying constraints for locating export containers in port container terminals, *Lecture Notes in Computer Science* 3982: 564–573.
- Kim, K. H. and Park, Y. M. (2003). A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers, *European Journal of Operational Research* 148: 92–101.
- Kozan, E. (1997). Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals. *Transportation Planning and Technology*, 20(3), 235–248.
- Kozan, E. (2003) Container Transfer Logistics at Multimodal Container Terminals. In Post, David (Ed.) MODSIM 2003 International Congress on Modelling and Simulation, 14 - 17 July 2003, Jupiters Hotel & Casino, Townsville, Australia. Kozan, E. (2006). Optimum Capacity for Intermodal Container Terminals, *Transportation Planning and Technology*, 29:6, 471 – 482.
- Kozan, E. and Preston, P. (2006). Mathematical modelling of container transfers and storage locations at seaport terminals, *OR Spectrum* 28: 519–537.
- Lau, H. and Zhao, Y. (2007). Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals, *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.2007.05.015.
- Lee, B.K., Jung, B.J., Kim, K.H., Park, S.O. and Seo, J.H. (2006). A simulation study for designing a rail terminal in a container port, *Winter Simulation Conference, Proceedings of the 38<sup>th</sup> conference of Winter simulation*, Pages 1388-1397.

Lee, D.-H. and Jin, J. G. (2013). Feeder vessel management at container transshipment terminals, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 49, Issue 1, Pages 201–216.

Legato, P. and Mazza, R.M. (2001). Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation, *European Journal of Operational Research*, Volume 133, Issue 3, Pages 537-547.

Lieberman E., Rathi A. K. (1997) *Traffic Simulation*, Chapter 10 in *Traffic Flow Theory*. Oak Ridge National Laboratory.

Liu, C.I., Jula, H. and Ioannou, P.A. (2001) 'A simulation approach for performance evaluation of proposed container terminals', *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, Oakland, CA, 25–29 August, pp. 563–568.

Lohr Groupe, Modalohr Presentation. <http://www.oevg.at> last accessed July 2008.

Lowe D. *Intermodal Freight Transport*, Elsevier, 2005.

Luo, M. and Grigalunas, T.A. (2003). A Spatial-Economic Multimodal Transportation Simulation Model For US Coastal Container Ports, *Maritime Economics & Logistics* (2003) 5, 158-178, doi:10.1057/palgrave.mel.9100067.

Mahoney John. *Intermodal Freight Transportation*. ENO Foundation for Transportation, INC. Connecticut, 1985.

Martinez, F.M., Gutierrez, I.G., Oliveira, A.O. and Arreche Bedia, L.M. (2004). Gantry crane operations to transfer containers between trains: A simulation study of a Spanish terminal, *Transportation Planning and Technology*, Volume 27, Issue 4.

Meisel, F. and Bierwirth, C. (2006). Integration of berth allocation and crane assignment to improve the resource utilization at a seaport container terminal, *Operations Research Proceedings 2005*, Springer, pp. 105–110.

Moccia, L., Cordeau, J. F., Gaudioso, M. and Laporte, G. (2006). A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal, *Naval Research Logistics* 53: 45–59.

Ng, W., and Wong, C. (2006). Evaluating the Impact of Vessel-Traffic Interference on Container Terminal Capacity, *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering* © Asce March/April 2006.

Noritake, M., and Kimura, S. (1983). "Optimum number and capacity of seaport berths." *J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng.*, 109 (3), 323–339.

- Noteboom, T. and Rodrigue, J.P. (2009). Inland Terminals, Regions and Supply Chains, Dry Port Development in Asia and other Regions: Theory and Practice, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.
- NTUA, Athens, Greece (2010). Cream report on: Analysis of ISU system operations, CREAM, Sustainable Surface Transport, Project N°: FP6 – 038634.
- Paixao, AC and Marlow, PB (2003). Fourth generation ports – a question of agility? International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 2003: 33/4:355-376.
- Park, Y. M. and Kim, K. H. (2003). A scheduling method for berth and quay cranes, OR Spectrum 25: 1–23.
- Parola, F. and Sciomachen, A. (2005). Intermodal container flows in a port system network:: Analysis of possible growths via simulation models, International Journal of Production Economics, Volume 97, Issue 1, Pages 75-88.
- Petering, M. (2011). Decision support for yard capacity, fleet composition, truck substitutability, and scalability issues at seaport container terminals, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 47, Issue 1, Pages 85–103.
- Ramani, K. V. (1996). An interactive simulation model for the logistics planning of container operations in seaports, Simulation 66 (5): 291-300.
- Rizolli, A., Fornara, N. and Gambardella, L.M. (2002). A simulation tool for combined rail/road transport in intermodal terminals. Mathematics and Computers in Simulation, Volume 59, Issues 1-3, Pages 57-71.
- Rodrigue, J.P. (2008). The Thruport concept and transmodal rail freight distribution in North America, Department of Economics and Geography, Hofstra University, Hempstead, NY 11549, USA, Journal of Transport Geography 16 (2008) 233–246.
- Sahin, I. (1999). Railway traffic control and train scheduling based on inter-train conflict management. Transp. Res. 33, 511–534.
- Samarra, M., Cordeau, J. F., Laporte, G. and Monaco, M. F. (2007). A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem, Journal of Scheduling 10: 327–336.
- Samuel, H. (1961). Railway operating practice, British railways school of transport, Derby, Odhams press limited long acre, London.
- Sarosky, T. and Wilcox, T. (1994). Simulation of a railroad intermodal terminal, Simulation Conference Proceedings, 1994, Winter, Pages 1233-1238.

Schutt, H. and Ficke, S. (2008). RoRo/LoLo terminal simulation Modelling intermodal terminals to calculate their capacity.

Shabayek, A. A. and Yeung, W. W. (2001). "Effect of seasonal factors on performance of container terminals." *J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng.*, 127 (3), 135–140.

Steenken, D., Vob, S. and Stahlbock, R., 2004, Container terminal operation and operations research—a classification and literature review. *OR Spectrum*, 26(1), 3–49.

Tahar, R. M. and Hussain, K. (2000). Simulation and analysis for the Kelang Container Terminal operations, *Logistics Information Management*, Volume 13 (1), 2000, pp. 14-20.

Vacca, I., Bierlaire, M., Sallani, M. (2007). Optimization at Container Terminals: Status, Trends and Perspectives, Conference paper STRC 2007.

Van Hee, K. M., and Wijbrands, R. J. (1988). "Decision support system for container terminal planning." *Eur. J. Oper. Res.*, 34 (3), 262–272.

Vis, I. F. A. and De Koster, R., 2003, Transshipment of containers at a container terminal: an overview. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 1–16.

www.bravo-project.com last accessed July 25, 2008 (the project was led by the co-author Klaus-Uwe Sondermann).

Woodburn, A. (2008). 'Intermodal Rail Freight in Britain: A Terminal Problem?', *Planning Practice and Research*, 23:3, 441 — 460.

Yang, J. H. and Kim, K. H. (2006). A grouped storage method for minimizing relocations in block stacking systems, *Journal of Intelligent Manufacturing* 17: 453–463.

Yun, W. Y. and Choi, W. S. (1999). A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. Department of Industrial Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735 South Korea

Zarecky, S., Grun, J. and Zilka, J. (2008). Επιστημονικο αρθρο συνεδριου Transport Problems.

### **Ηλεκτρονική βιβλιογραφία και πηγές μέσω διαδικτύου**

<http://resources.esri.com>

<http://en.wikipedia.org/wiki>

<http://www.isocontainers.com>

<http://fr.wikipedia.org/wiki>

<http://www.terbergtechnik.nl>

<http://www.ozgul.com.tr>



<http://www.atmwagons.co.uk>  
<http://www.rmweb.co.uk>  
<http://www.brickshelf.com>  
[www.modalohr.com](http://www.modalohr.com)  
[www.cargoroo.de](http://www.cargoroo.de)  
[www.flexiwaggon.se](http://www.flexiwaggon.se)  
<http://www.ipg-potsdam.de>  
[www.schoolboard.be](http://www.schoolboard.be)  
[www.dimensionsinfo.com](http://www.dimensionsinfo.com)  
<http://www.mafi.eu>  
<http://mescranes.com>  
<http://www.kalmarind.com>  
<http://www.craneschina.cn>  
<http://www.bromma.com>  
<http://img.diytrade.com>  
<http://www.portrucks.com>  
<http://www.jimbo.net>  
[www.tex.unipi.gr](http://www.tex.unipi.gr)  
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/>  
<http://img209.imageshack.us/>  
<http://3.bp.blogspot.com/>  
[www.upds.com](http://www.upds.com)  
[www.halcrow.com](http://www.halcrow.com)  
[www.karmakerala.com](http://www.karmakerala.com)  
[www.library.tee.gr](http://www.library.tee.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### **Οδηγός χρήσης του λογισμικού - ROCKWELL SOFTWARE ARENA**

#### **Τι είναι το λογισμικό Arena;**

Το λογισμικό Arena προσφέρει την δυνατότητα μοντελοποίησης και προσομοίωσης στην δουλειά του κάθε χρηστή. Είναι σχεδιασμένο για να αναλύει τις επιπτώσεις των αλλαγών που συνεπάγονται σημαντικούς και πολύπλοκους ανασχηματισμούς που έχουν σχέση με την αλυσίδα προμηθειών, την παραγωγή, τις διεργασίες, τα logistics, την διανομή και την αποθήκευση και τα συστήματα παροχής υπηρεσιών. Το λογισμικό Arena παρέχει την μέγιστη ευελιξία και εύρος εφαρμογών ώστε το μοντέλο να έχει το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας και περιπλοκότητας.

Τα τυπικά σενάρια περιλαμβάνουν:

- Λεπτομερής ανάλυση οποιουδήποτε τύπου συστήματος παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων και των εξαρτημάτων χειρισμού υλικών.
- Ανάλυση περίπλοκων υπηρεσιών και συστημάτων διαχείρισης πελατών.
- Ανάλυση των παγκόσμιων αλυσίδων προμηθειών που περιλαμβάνουν αποθήκευση, μεταφορά και συστήματα logistics.
- Πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος που βασίζεται σε βασικές μετρήσεις όπως το κόστος, την διακίνηση, τους χρόνους κύκλων και των χρήσεων.
- Εντοπισμός σημείων συμφόρησης στις διεργασίες όπως οι ουρές που δημιουργούνται και η υπερβολική χρησιμοποίηση πόρων.
- Σχεδιασμός προσωπικού, εξοπλισμού και απαιτήσεων σε υλικά.

Με το λογισμικό Arena μπορούμε να:

- Μοντελοποιήσουμε τις διεργασίες προσδιορισμού, καταγραφής και επικοινωνίας
- Προσομοιώσουμε την μελλοντική απόδοση του συστήματος μας ώστε να κατανοήσουμε περίπλοκες σχέσεις και να αναγνωρίσουμε τις πιθανότητες για βελτίωση.
- Φανταστούμε τις λειτουργίες του συστήματος μας με κινούμενα δυναμικά γραφικά.
- Αναλύσουμε πως θα λειτουργήσει το σύστημα στην «όπως είναι» διαμόρφωση του και κάτω από μυριάδες πιθανές «να είναι» εναλλακτικές ώστε να μπορούμε με σιγουριά να επιλέξουμε τον καλύτερο τρόπο λειτουργίας της δουλειάς μας.

#### **Το περιβάλλον μοντελοποίησης της Arena**

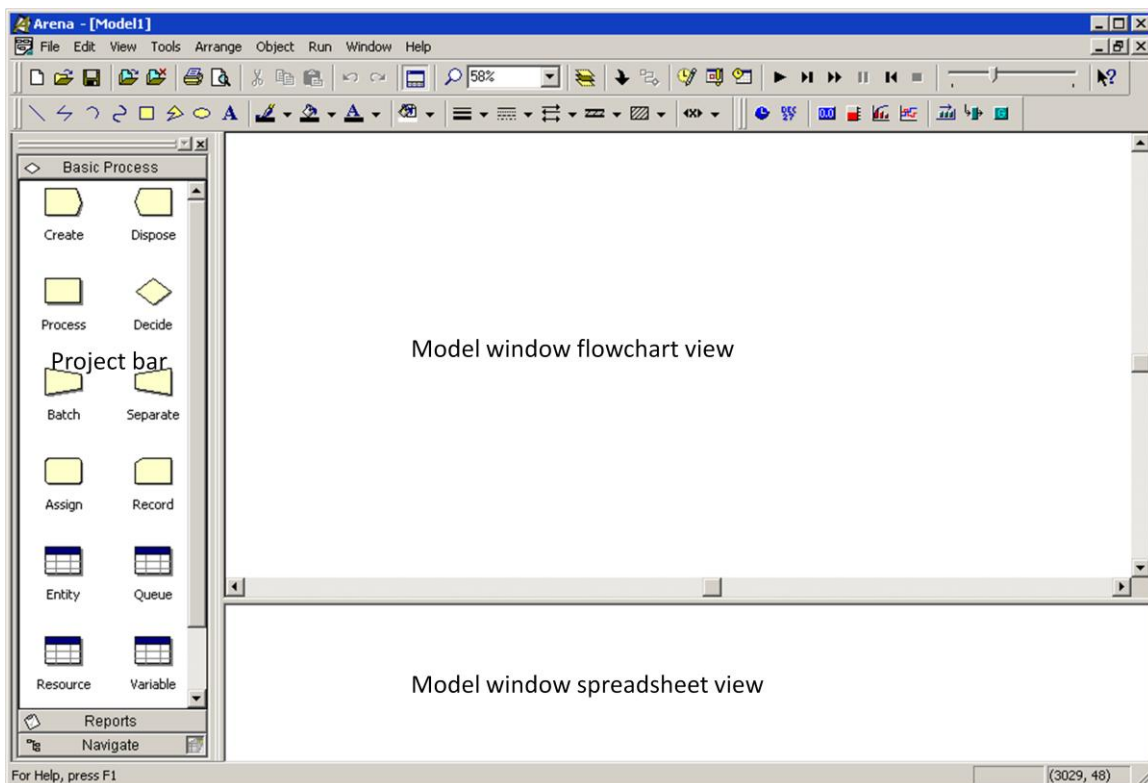
Για την μοντελοποίηση των εργασιών μας στην Arena, δουλεύουμε σε τρεις κύριες περιοχές του παράθυρου εφαρμογής (εικόνα 1).

Η στήλη εργασιών (project bar) περιέχει πάνελ με τους κύριους τύπους αντικειμένων που δουλεύουμε:

- Βασικές διεργασίες (Basic Process), Προηγμένες διεργασίες (Advanced Process) και Προηγμένα πάνελ μεταφοράς (Advanced Transfer panels): Περιέχει τα σχήματα σχεδιασμού, που ονομάζονται μονάδες (modules), που χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε τις διεργασίες μας.
- Πάνελ εκθέσεων (Reports panel): Περιέχει τις εκθέσεις που είναι διαθέσιμες για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων.
- Πάνελ πλοήγησης (Navigate panel): Επιτρέπει την εμφάνιση διαφορετικών όψεων του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένης και της πλοήγησης μεταξύ ιεραρχημένων υπό-μοντέλων και της εμφάνισης του μοντέλου σε όψη αλληλεπίδρασης με τον χρήστη (thumbnail view).

Στο παράθυρο μοντελοποίησης (model window), υπάρχουν δυο κύριες περιοχές. Η όψη του διαγράμματος ροής (flowchart view) περιλαμβάνει όλα τα γραφικά του μοντέλου, συμπεριλαμβανομένων του διαγράμματος ροής διεργασιών, των κινήσεων των γραφικών (animation) και άλλων στοιχείων σχεδιασμού. Η από κάτω όψη (spreadsheet view) εμφανίζει τα δεδομένα του μοντέλου όπως χρόνους, κόστη και άλλες παραμέτρους.

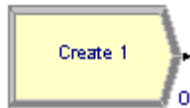
Εικόνα 1: Παράθυρο εφαρμογής του λογισμικού Arena



## Σχήματα σχεδιασμού (modules) της Arena

### Μονάδες διαγράμματος ροής (flowchart modules)

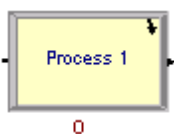
Τα σχήματα σχεδιασμού (μονάδες) του διαγράμματος ροής είναι τα σετ των αντικειμένων που τοποθετούνται μέσα στο παράθυρο του μοντέλου για να περιγράψουν την προσομοίωση των διεργασιών. Θα αναφέρουμε εδώ τα κυριότερα από αυτά και αυτά που έχουν σχέση με το μοντέλο μας συνοπτικά.



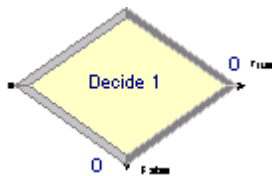
**Create module:** Η μονάδα δημιουργίας προορίζεται ως το αρχικό σημείο των οντοτήτων (entities) στο μοντέλο προσομοίωσης. Οι οντότητες δημιουργούνται με βάση κάποιο πρόγραμμα ή με βάση τους χρόνους μεταξύ των αφίξεων. Στην συνέχεια φεύγουν από την μονάδα και ξεκινάνε τις διεργασίες μέσα στο σύστημα. Ο τύπος της οντότητας καθορίζεται σε αυτή την μονάδα. Μια τυπική χρήση αυτής της μονάδος είναι οι αφίξεις φορτηγών (entities) σε ένα τερματικό σταθμό.



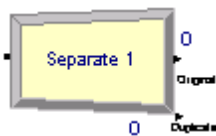
**Dispose module:** Η μονάδα ανάλωσης προορίζεται ως το τελικό σημείο των οντοτήτων σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Τα στατιστικά της οντότητας μπορούν να εκτεθούν πριν η οντότητα να φύγει από το σύστημα. Τυπική χρήση αυτής της μονάδος είναι οι αναχωρήσεις φορτηγών από τον τερματικό σταθμό.



**Process module:** Η μονάδα επεξεργασίας είναι σχεδιασμένη ως η κύρια μέθοδος επεξεργασίας στην προσομοίωση. Υπάρχουν διαθέσιμες επιλογές για τον περιορισμό δέσμευσης ή απελευθέρωσης πόρων. Επιπλέον, υπάρχει μια επιλογή για την χρησιμοποίηση ενός υπό – μοντέλου και τον καθορισμό ιεραρχημένης ορισμένης από τον χρήστη λογικής. Ο χρόνος επεξεργασίας διαθέτεται στην οντότητα και μπορεί να θεωρηθεί προστιθέμενη αξία, μη προστιθέμενη αξία, μεταφορά, καθυστέρηση ή άλλο. Το ανάλογο κόστος προστίθεται στην κατάλληλη κατηγορία. Τυπική χρήση αυτής της μονάδας είναι η φόρτωση / εκφόρτωση ενός εμπορευματοκιβωτίου σε ένα φορτηγό.



**Decision module:** Η μονάδα απόφασης επιτρέπει την λήψη αποφάσεων στις διεργασίες του συστήματος. Περιλαμβάνει επιλογές για να ληφθούν αποφάσεις με βάση κάποια ή κάποιες συνθήκες ή με βάση κάποια πιθανότητα (πχ 75% αληθές, 25% ψευδές). Οι συνθήκες μπορεί να είναι βασισμένες στην αξία των χαρακτηριστικών (πχ προτεραιότητα), των μεταβλητών (πχ άρνηση κάποιας τιμής), στον τύπο της οντότητας ή σε κάποια έκφραση. Υπάρχουν δυο έξοδοι στην τυπική μονάδα απόφασης (2-way by chance or by condition), η μια με ονομασία αληθής (true) και η άλλη με ονομασία ψευδής (false). Στις πιο πολύπλοκες μονάδες αποφάσεων υπάρχουν N έξοδοι (N-way by chance or condition). Τυπική χρήση αυτής της μονάδας είναι ο χωρισμός φορτηγών με βάση την προτεραιότητα ή το φορτίο.



**Separate module:** Η μονάδα διαχωρισμού χρησιμοποιείται για να αντιγραφεί μια εισερχόμενη οντότητα σε πολλαπλές οντότητες. Οι κανόνες για την διάθεση κόστων και χρόνων στο αντίγραφο είναι επίσης καθορισμένες. Οι κανόνες για την καταχώρηση χαρακτηριστικών σε οντότητες είναι επίσης καθορισμένες. Όταν αντιγράφονται οντότητες, γίνεται ο καθορισμός του αριθμού των αντιγράφων και στέλνεται από την μονάδα. Η αρχικά εισερχόμενη οντότητα φεύγει επίσης από την μονάδα.



**Assign module:** Η μονάδα εκχώρησης χρησιμοποιείται για την εκχώρηση νέων τιμών σε μεταβλητές, σε χαρακτηριστικά, τύπους και εικόνες οντοτήτων ή σε άλλες μεταβλητές του συστήματος. Πολλαπλές εκχωρήσεις μπορούν να γίνουν με μια μόνο μονάδα εκχώρησης. Τυπική χρήση αυτής της ομάδος είναι να ορίσουμε τους χρόνους που χρειάζεται ένα φορτηγό για να κινηθεί από έναν κόμβο του σταθμού σε έναν άλλο.



**Delay module :** Η μοναδά καθυστέρησης καθυστερεί μια οντότητα για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν μια οντότητα φτάνει στην μονάδα καθυστέρησης, αξιολογείται η

χρονοκαθυστέρηση της και η οντότητα παραμένει στην μονάδα για το προκύπτον χρονικό διάστημα. Το χρονικό αυτό διάστημα διατίθεται στους χρόνους προστιθέμενης και μη αξίας, μεταφοράς, αναμονής ή άλλους της οντοτητας. Τα σχετικά κόστη υπολογίζονται και διατίθενται με ανάλογο τρόπο. Ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεφορτώσει ένα όχημα εμπρόσθιας στοιβασίας ένα εμπορευματοκιβώτιο από μια ράμπα ISU μπορεί να παρουσιαστεί σε μια μονάδα καθυστέρησης.



**ReadWrite module** : Αυτή η μονάδα (ανάγνωση/ εκτύπωση δεδομένων) χρησιμοποιείται για την ανάγνωση δεδομένων από ένα αρχείο εισόδου ή από το πληκτρολόγιο και την εκχώρηση των τιμών των δεδομένων σε μια λίστα μεταβλητών ή χαρακτηριστικών. Επίσης αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για να καταγράψει δεδομένα σε μια συσκευή εξόδου, όπως μια οθόνη ή ένα αρχείο. Μια τυπική χρήση αυτής της μονάδας είναι η ανάγνωση των χρόνων εισόδου φορτηγών σε ένα τερματικό σταθμό και η εκτύπωση των χρόνων παραμονής τους εντός του σταθμού.



**Seize module** : Η μονάδα δέσμευσης διαθέτει μονάδες από έναν ή περισσότερους πόρους σε μια οντότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δεσμευτούν μονάδες κάποιου συγκεκριμένου πόρου, ενός μέλους ενός σετ πόρων, ή ένας πόρος που χειρίζεται με εναλλακτική μέθοδο, όπως σαν χαρακτηριστικό ή έκφραση. Όταν μια οντότητα εισέρχεται στην μονάδα, περιμένει στην ουρά μέχρι όλοι οι καθορισμένοι πόροι να είναι συγχρόνως διαθέσιμοι. Μια τυπική χρήση της μονάδας είναι η δέσμευση ενός μηχανήματος εμπρόσθιας στοιβασίας από ένα φορτηγό που χρειάζεται εκφόρτωση.



**Release module** : Η μονάδα απελευθέρωσης χρησιμοποιείται για να απελευθερώσει τις μονάδες ενός πόρου που μια οντότητα έχει προηγουμένως δεσμεύσει. Η μονάδα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απελευθερώσει μεμονωμένους πόρους ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απελευθερώσει πόρους μέσα σε ένα σύνολο. Για κάθε πόρο που απελευθερώνεται, καθορίζονται το όνομα και η ποσότητα που απελευθερώνεται. Τυπική χρήση της μονάδας είναι η απελευθέρωση ενός μηχανήματος εμπρόσθιας στοιβασίας έτσι ώστε να μπορεί να εξυπηρετήσει την επόμενη άφιξη.



**Route module** : Η μονάδα διαδρομών μεταφέρει μια οντότητα σε έναν καθορισμένο σταθμό (station module βλ. παρακάτω) ή στον επόμενο σταθμό που έχει οριστεί στην ακολουθία επισκέψεων σταθμών να περάσει η οντότητα. Ένας χρόνος καθυστέρησης μεταφοράς στον επόμενο σταθμό μπορεί να οριστεί. Έτσι όταν μια οντότητα εισέρχεται στην μονάδα διαδρομών, μεταφέρεται στον σταθμό προορισμό με βάση τα χαρακτηριστικά ή τις ακολουθίες που έχουν επιλεγεί, χρησιμοποιώντας τον καθορισμένο χρόνο διαδρομής. Τυπική χρήση αυτής της μονάδας σε ένα εμπορευματικό σταθμό είναι η μεταφορά ενός φορτηγού από την αρχή που εισέρχεται, στον χώρο που θα φορτωθεί/ εκφορτωθεί (ή ότι άλλη εργασία ακολουθήσει πριν εξέλθει) και από εκεί στον χώρο που θα εξέλθει από τον εμπορευματικό σταθμό.



**Station module** : Η μονάδα σταθμών ορίζει έναν σταθμό (ή μια ομάδα σταθμών) που αντιστοιχούν σε μια φυσική ή λογική τοποθεσία όπου συμβαίνουν διάφορες διεργασίες. Αν η μονάδα ορίζει μια ομάδα σταθμών, τότε ορίζει αποτελεσματικά πολλαπλές τοποθεσίες διεργασιών. Ο σταθμός (ή ο κάθε σταθμός της καθορισμένης ομάδας σταθμών) έχει έναν τομέα δραστηριοτήτων που χρησιμοποιείται για την έκθεση όλων των δεδουλευμένων χρόνων και κοστών των οντοτήτων εντός του σταθμού. Γενικά αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε τις διαφορετικές περιοχές του σταθμού που συμβαίνουν σημαντικές διεργασίες όπως είσοδοι, έξοδοι, ράμπες, γραμμές, περιοχές φορτοεκφορτώσεων, στοιβασίας, αποθήκευσης κλπ.

### Μονάδες δεδομένων (data modules)

Οι μονάδες δεδομένων είναι ένα σεντ αντικειμένων στο παράθυρο όψης κάτω δεξιά (spreadsheet view) του μοντέλου που ορίζουν τα χαρακτηριστικά των διαφόρων στοιχείων επεξεργασίας, όπως οι πόροι και οι ουρές. Δεν είναι blocks (κουτιά) διεργασιών όπως οι μονάδες διαγραμμάτων ροής και ορίζονται συνήθως (παίρνουν τιμές κλπ) εντός των blocks. Οι πιο σημαντικές από αυτές (κυρίως αυτές που χρησιμοποιήσαμε) είναι οι παρακάτω.

**Entity module** : Αυτή η μονάδα δεδομένων (μονάδα οντοτήτων) ορίζει διάφορους τύπους οντοτήτων και τις αρχικές αντιπροσωπευτικές τιμές του σε μια προσομοίωση. Ορίζονται επίσης πληροφορίες για τα αρχικά και τα ενδιάμεσα κόστη της οντότητας. Η χρήση αυτής της μονάδας είναι ο ορισμός των οντοτήτων μας, πχ φορτηγά άδεια / φορτωμένα που θα εξυπηρετηθούν εντός του εμπορευματικού σταθμού.

**Queue module** : Η μονάδα ουρών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αλλαγή του κανόνα κατάταξης (προτεραιότητας) σε μια καθορισμένη ουρά. Ο αρχικός κανόνας (ορισμένος από το λογισμικό) για όλες τις ουρές είναι FIFO (first in – first out) εκτός αν οριστεί διαφορετικά σε αυτή την μονάδα. Υπάρχει ένα επιπλέον πεδίο που επιτρέπει την ουρά να ορίζεται ως κοινόχρηστη. Γενικά αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για τα σημεία εντός του σταθμού που λαμβάνουν χώρα διεργασίες που δημιουργούνται ουρές εξυπηρέτησης όπως η φόρτωση ενός τρένου από οχήματα εμπρόσθια στοιβάσις.

**Resource module** : Η μονάδα πόρων ορίζει τους πόρους στο σύστημα προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων και των πληροφοριών για τα κόστη και την διαθεσιμότητα πόρων. Οι πόροι μπορεί να έχουν μια σταθερή ικανότητα που δεν διαφέρει κατά την διάρκεια της προσομοίωσης ή μπορεί να λειτουργούν με βάση το πρόγραμμα. Επίσης σε αυτή την μονάδα μπορούν να καθοριστούν και αποτυχίες των πόρων. Τυπική χρήση της μονάδας είναι ο καθορισμός των πόρων που διαθέτει ο τερματικός σταθμός, όπως μηχανολογικός εξοπλισμός (πχ γερανογέφυρες, οχήματα εμπρόσθια στοιβάσις κλπ), ράμπες ISU κλπ.

**Variable module** : Η μονάδα μεταβλητών χρησιμοποιείται για να οριστούν οι διαστάσεις και οι αρχικές τιμές των μεταβλητών. Οι μεταβλητές μπορεί να αναφέρονται σε άλλες μονάδες (πχ στην μονάδα αποφάσεων – decide module), μπορεί να πάρουν νέες τιμές στην μονάδα εκχώρησης (assign module) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε έκφραση. Τυπική χρήση αυτής της ομάδας είναι ο ορισμός του χρόνου παραμονής των φορτηγών εντός του τερματικού σταθμού (και προφανώς οποιασδήποτε μεταβλητής μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε).

**Schedule module** : Η μονάδα χρονοδιαγράμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την μονάδα πόρων (resource module) για τον καθορισμό ενός προγράμματος λειτουργίας για τον κάθε πόρο ή με την μονάδα δημιουργίας (create module) για τον καθορισμό ενός χρονοδιαγράμματος αφίξεων. Επιπλέον, ένα πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να αναφέρεται σε παράγοντες χρονικών καθυστερήσεων με βάση τον χρόνο προσομοίωσης. Χρονοδιαγράμματα διαμορφωμένα με βάση την διάρκεια ορίζονται στο πλαίσιο αυτής της μονάδας.

**File module** : Η μονάδα αρχείου πρέπει να περιλαμβάνεται όποτε υπάρχουν εξωτερικά αρχεία που γίνονται προσβάσιμα με την μονάδα ανάγνωσης και εκτύπωσης δεδομένων (readwrite module). Αυτή η μονάδα αναγνωρίζει το όνομα του αρχείου του συστήματος και καθορίζει την μέθοδο πρόσβασης, την μορφοποίηση και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των αρχείων.

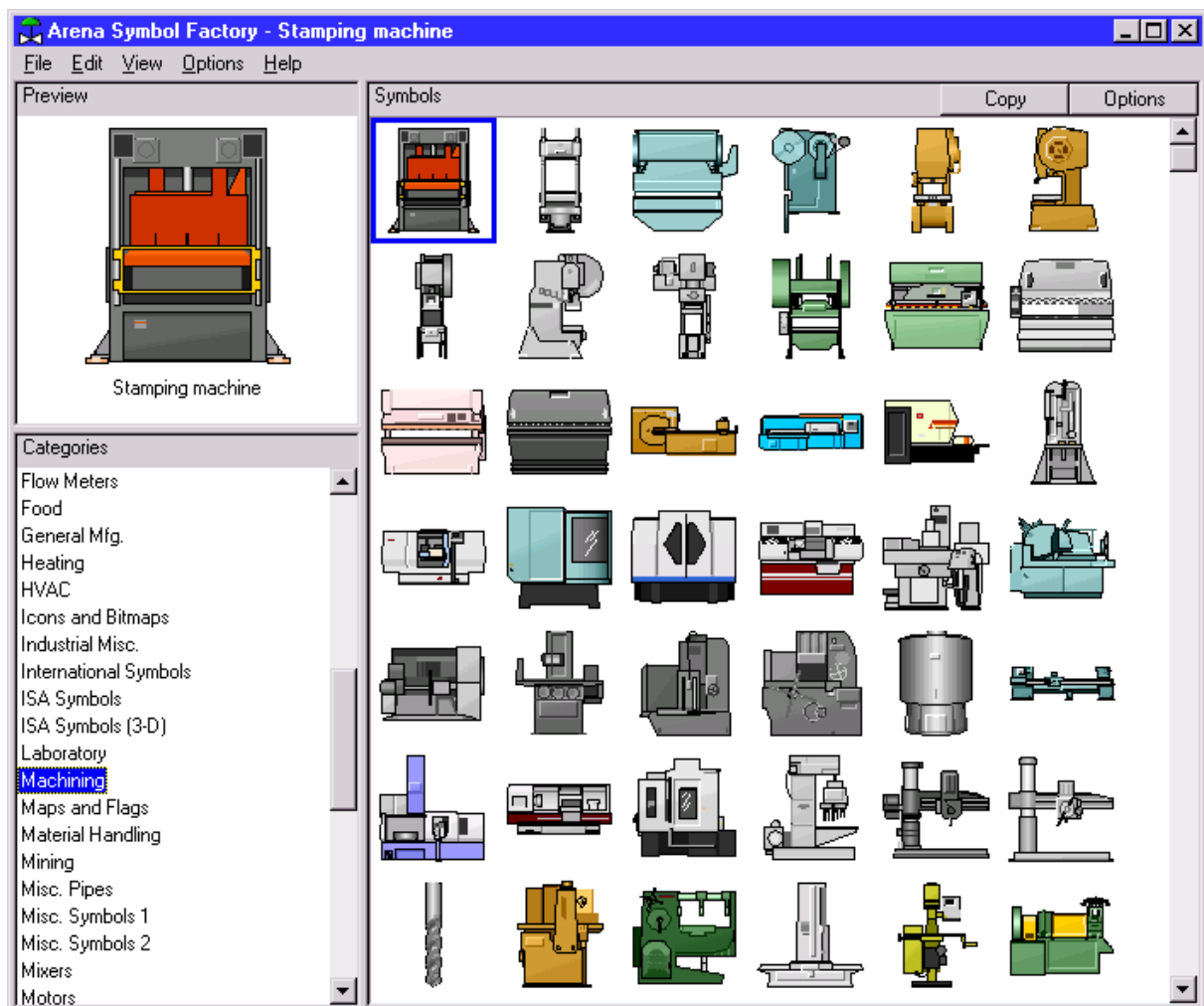
### **Σχήματα και σύμβολα της Arena**



Η βιβλιοθήκες εικόνων του λογισμικού Arena (αρχεία \*.plb) περιέχουν εικόνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν οντότητες, πόροι και παγκόσμιες εικόνες (global pictures). Αυτές οι εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την “εμφύχωση” (animation) του μοντέλου. Επίσης αυτές οι εικόνες μπορούν να αντιγραφούν σε προσωπικές βιβλιοθήκες, να σχεδιαστούν νέες εικόνες στο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων της Arena ή να προστεθούν εικόνες από το “εργοστάσιο” συμβόλων της Arena (Arena Symbol Factory) σε οποιοδήποτε αρχείο \*.plb.

Τα animations των μοντέλων μπορούν επίσης να ενισχυθούν με την χρήση του “εργοστασίου” συμβόλων της Arena (εικόνα 2), που περιέχει πάνω από 4.000 σύμβολα. Αυτά τα σύμβολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οντότητες, πόρους, μεταφορείς, παγκόσμιες εικόνες ή σαν σύμβολα γραφικών εντός του παραθύρου σχεδιασμού του μοντέλου. Αυτά τα σύμβολα μπορούν να αντιγραφούν απευθείας στο παράθυρο σχεδιασμού του μοντέλου, να προστεθούν στις προσωπικές βιβλιοθήκες ή να προστεθούν στα σταθερά αρχεία των βιβλιοθηκών εικόνων της Arena.

Εικόνα 2: “Εργοστάσιο” συμβόλων του λογισμικού Arena (Πηγή Arena User`s Guide)



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β****Συνοπτικοί πίνακες δεδομένων και αποτελεσμάτων δοκιμών στα τρία σενάρια**

Πίνακας 1: Ρυθμός άφιξης φορτηγών – 30 δοκιμές

| 1η δοκιμή  | 2η δοκιμή  | 3η δοκιμή  | 4η δοκιμή  | 5η δοκιμή  | 6η δοκιμή  | 7η δοκιμή  | 8η δοκιμή  | 9η δοκιμή  | 10η δοκιμή |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 124        | 19         | 39         | 4          | 50         | 118        | 911        | 384        | 408        | 298        |
| 214        | 345        | 115        | 103        | 287        | 162        | 1462       | 1032       | 1464       | 710        |
| 356        | 1192       | 1160       | 257        | 439        | 223        | 1514       | 1161       | 1551       | 1122       |
| 604        | 1408       | 1178       | 436        | 553        | 297        | 2138       | 1481       | 1975       | 1247       |
| 1428       | 1475       | 1510       | 585        | 683        | 560        | 2169       | 1901       | 2427       | 1591       |
| 1624       | 2062       | 2007       | 829        | 1421       | 710        | 2216       | 2086       | 2941       | 1615       |
| 1953       | 2492       | 3422       | 1386       | 1979       | 722        | 2288       | 2177       | 3242       | 1901       |
| 2133       | 2561       | 4007       | 1405       | 1986       | 1073       | 2541       | 2278       | 3622       | 2037       |
| 2163       | 2606       | 4077       | 1819       | 2119       | 1414       | 2622       | 2541       | 3683       | 2065       |
| 2547       | 3167       | 4325       | 2356       | 2528       | 2005       | 4080       | 3121       | 3764       | 2241       |
| 2821       | 3412       | 4337       | 2401       | 2904       | 2585       | 4574       | 3133       | 3855       | 3254       |
| 2847       | 3472       | 4718       | 2444       | 3319       | 3053       | 4760       | 3255       | 4177       | 3423       |
| 2887       | 3560       | 5003       | 2789       | 3456       | 3314       | 4890       | 3328       | 4323       | 3998       |
| 2943       | 3742       | 5311       | 3174       | 3592       | 3533       | 5109       | 3382       | 4330       | 4251       |
| 2980       | 4458       | 5590       | 3457       | 3704       | 4717       | 5379       | 3683       | 4520       | 5203       |
| 3049       | 4526       | 5931       | 3846       | 4873       | 4859       | 5711       | 4459       | 4753       | 5318       |
| 4578       | 4538       | 5984       | 4856       | 5781       | 5152       | 5723       | 4819       | 4754       | 5684       |
| 4868       | 4803       | 6410       | 5778       | 6037       | 5611       | 5756       | 4834       | 5016       | 6205       |
| 5152       | 4860       | 6691       | 5964       | 6318       | 5791       | 6235       | 5311       | 5020       | 6264       |
| 5167       | 5145       | 6832       | 5983       | 6349       | 5926       | 6284       | 5637       | 5289       | 6279       |
| 5609       | 5364       | 7053       | 6267       | 6624       | 5992       | 6353       | 6138       | 5413       | 6317       |
| 6703       | 5743       | 7145       | 6380       | 6754       | 6029       | 6822       | 6477       | 6160       | 6601       |
| 6961       | 7044       | 7169       | 6763       | 6823       | 6337       | 7121       | 6731       | 6370       | 6895       |
| 11η δοκιμή | 12η δοκιμή | 13η δοκιμή | 14η δοκιμή | 15η δοκιμή | 16η δοκιμή | 17η δοκιμή | 18η δοκιμή | 19η δοκιμή | 20η δοκιμή |
| 116        | 443        | 151        | 104        | 42         | 689        | 496        | 171        | 744        | 67         |
| 271        | 641        | 397        | 279        | 333        | 897        | 528        | 453        | 1252       | 115        |
| 281        | 648        | 446        | 352        | 731        | 1300       | 539        | 601        | 1353       | 242        |
| 359        | 915        | 1338       | 785        | 863        | 1735       | 545        | 872        | 1406       | 350        |
| 520        | 1009       | 1631       | 2185       | 1452       | 1742       | 1407       | 999        | 1871       | 415        |
| 735        | 1335       | 3354       | 2647       | 1499       | 1943       | 1793       | 1163       | 2111       | 864        |
| 751        | 1446       | 3509       | 2684       | 2812       | 2216       | 1802       | 1348       | 2129       | 1500       |
| 1028       | 1630       | 4024       | 3145       | 2968       | 2973       | 1886       | 1666       | 2171       | 1638       |
| 2017       | 1819       | 4324       | 3167       | 3294       | 3164       | 1970       | 1952       | 2284       | 1832       |
| 2629       | 2325       | 4399       | 3176       | 3598       | 3655       | 2135       | 2247       | 2859       | 2118       |
| 2952       | 2609       | 4526       | 3216       | 3687       | 3908       | 3171       | 2470       | 2930       | 2574       |
| 3085       | 2666       | 4601       | 3549       | 3762       | 4136       | 3464       | 2692       | 3249       | 2823       |

|               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 3375          | 3756          | 4747          | 3720          | 4007          | 4214          | 3871          | 3614          | 3959          | 3954          |
| 3796          | 3780          | 5099          | 3768          | 4588          | 4651          | 4000          | 3809          | 4158          | 4031          |
| 3857          | 3878          | 5306          | 3796          | 5255          | 4859          | 4200          | 4037          | 4183          | 4439          |
| 4048          | 4516          | 5318          | 4205          | 5357          | 6098          | 4236          | 4059          | 4801          | 4968          |
| 4138          | 5029          | 5443          | 4570          | 5484          | 6258          | 4583          | 4184          | 4888          | 5025          |
| 4366          | 5066          | 5511          | 5762          | 5593          | 6599          | 5294          | 4349          | 5267          | 5192          |
| 4663          | 5474          | 5762          | 6588          | 6075          | 6832          | 5375          | 4708          | 5650          | 5201          |
| 4826          | 5880          | 6326          | 6659          | 6377          | 6887          | 5415          | 5611          | 6472          | 5535          |
| 4846          | 5887          | 6349          | 6790          | 6533          | 6935          | 6013          | 5626          | 6544          | 6543          |
| 5764          | 6047          | 6423          | 7089          | 6711          | 7123          | 6528          | 6355          | 6706          | 6883          |
| 6602          | 6708          | 7094          | 7191          | 7177          | 7162          | 6566          | 6962          | 6808          | 7178          |
| 21η<br>δοκιμή | 22η<br>δοκιμή | 23η<br>δοκιμή | 24η<br>δοκιμή | 25η<br>δοκιμή | 26η<br>δοκιμή | 27η<br>δοκιμή | 28η<br>δοκιμή | 29η<br>δοκιμή | 30η<br>δοκιμή |
| 283           | 561           | 65            | 1263          | 418           | 424           | 191           | 1018          | 336           | 838           |
| 392           | 858           | 153           | 1298          | 657           | 492           | 738           | 1082          | 562           | 1299          |
| 650           | 889           | 402           | 1431          | 1311          | 1119          | 915           | 1691          | 1164          | 1645          |
| 691           | 1417          | 782           | 1692          | 1461          | 1244          | 1177          | 1720          | 1918          | 1708          |
| 928           | 1683          | 1545          | 2128          | 1467          | 1820          | 1960          | 1943          | 2112          | 2167          |
| 1174          | 2848          | 1585          | 2220          | 1626          | 1868          | 2056          | 1996          | 2480          | 2248          |
| 1976          | 3429          | 2174          | 2531          | 2710          | 1910          | 2862          | 2074          | 2511          | 2568          |
| 2678          | 3473          | 2528          | 2823          | 3043          | 2172          | 3522          | 2364          | 2989          | 2862          |
| 3108          | 3713          | 2741          | 2912          | 3242          | 4208          | 3666          | 3095          | 3928          | 3209          |
| 3548          | 3807          | 2911          | 2964          | 3329          | 4284          | 3748          | 3399          | 4098          | 3263          |
| 4167          | 3844          | 3337          | 3408          | 3559          | 4972          | 4335          | 3795          | 4257          | 3926          |
| 4514          | 4326          | 3370          | 3713          | 3741          | 4977          | 4485          | 4183          | 4945          | 4649          |
| 4746          | 4884          | 4116          | 4074          | 3907          | 5016          | 5116          | 4407          | 5141          | 4801          |
| 4995          | 5066          | 4226          | 4146          | 3911          | 5335          | 5408          | 4725          | 5665          | 4873          |
| 5150          | 5259          | 5402          | 5041          | 4533          | 5343          | 5570          | 5724          | 5796          | 5086          |
| 5860          | 5406          | 5617          | 5216          | 5075          | 5414          | 5726          | 6148          | 6044          | 5564          |
| 6061          | 5535          | 5869          | 6036          | 5269          | 5446          | 6087          | 6233          | 6052          | 6334          |
| 6205          | 5622          | 6314          | 6146          | 5723          | 5538          | 6241          | 6286          | 6094          | 6457          |
| 6507          | 5727          | 6471          | 6298          | 5830          | 5807          | 6326          | 6551          | 6169          | 6843          |
| 6760          | 5999          | 6568          | 6373          | 5874          | 6038          | 6372          | 6775          | 6404          | 6899          |
| 6884          | 6626          | 6572          | 6776          | 6098          | 6106          | 6640          | 7031          | 6673          | 6936          |
| 7031          | 7050          | 6630          | 7126          | 6377          | 6502          | 6799          | 7057          | 6708          | 6988          |
| 7118          | 7106          | 6670          | 7147          | 6414          | 6804          | 6821          | 7065          | 7031          | 6994          |

Πίνακας 2: Χρόνοι παραμονής φορτηγών – Σενάριο 1

| 1η δοκιμή  | 2η δοκιμή  | 3η δοκιμή  | 4η δοκιμή  | 5η δοκιμή  | 6η δοκιμή  | 7η δοκιμή  | 8η δοκιμή  | 9η δοκιμή  | 10η δοκιμή |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 720        | 720        | 720        | 888        |
| 928        | 720        | 720        | 907        | 771        | 1055       | 888        | 888        | 888        | 720        |
| 1124       | 948        | 1146       | 1172       | 1101       | 888        | 720        | 844        | 740        | 1039       |
| 737        | 1318       | 1251       | 1460       | 1408       | 1425       | 888        | 861        | 725        | 1132       |
| 971        | 1161       | 1184       | 888        | 1100       | 1599       | 1126       | 888        | 720        | 888        |
| 888        | 888        | 888        | 1646       | 888        | 888        | 1082       | 1106       | 888        | 1538       |
| 902        | 1102       | 720        | 983        | 975        | 1879       | 1509       | 1052       | 720        | 1252       |
| 1206       | 1302       | 888        | 1510       | 1276       | 888        | 1624       | 1354       | 975        | 1556       |
| 720        | 720        | 720        | 974        | 1395       | 1956       | 888        | 799        | 720        | 1604       |
| 1350       | 1269       | 1168       | 893        | 720        | 888        | 720        | 1000       | 1422       | 720        |
| 1120       | 1072       | 875        | 988        | 1547       | 720        | 922        | 1166       | 1014       | 1119       |
| 1604       | 1552       | 1684       | 1457       | 1023       | 899        | 1030       | 1516       | 1859       | 720        |
| 2010       | 1750       | 1238       | 1212       | 1387       | 888        | 915        | 1795       | 740        | 888        |
| 2501       | 720        | 1487       | 1457       | 1803       | 888        | 720        | 720        | 1151       | 888        |
| 720        | 1078       | 720        | 1596       | 1162       | 1274       | 1173       | 2022       | 1912       | 1301       |
| 851        | 1562       | 854        | 1114       | 888        | 720        | 720        | 720        | 1312       | 720        |
| 2960       | 1223       | 1674       | 720        | 720        | 1509       | 1369       | 1774       | 2250       | 1463       |
| 1266       | 2022       | 1143       | 949        | 854        | 955        | 1101       | 824        | 720        | 1076       |
| 1959       | 2538       | 2149       | 888        | 888        | 1250       | 1885       | 1942       | 2545       | 1358       |
| 1456       | 2240       | 1246       | 1360       | 1253       | 1197       | 720        | 1151       | 3072       | 1491       |
| 890        | 720        | 1608       | 1303       | 1286       | 1279       | 1783       | 720        | 2941       | 1602       |
| 720        | 2389       | 2044       | 1020       | 1219       | 1688       | 1842       | 1340       | 2722       | 1315       |
| 11η δοκιμή | 12η δοκιμή | 13η δοκιμή | 14η δοκιμή | 15η δοκιμή | 16η δοκιμή | 17η δοκιμή | 18η δοκιμή | 19η δοκιμή | 20η δοκιμή |
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 730        | 720        | 888        |
| 995        | 955        | 865        | 912        | 720        | 720        | 1117       | 888        | 888        | 985        |
| 936        | 1132       | 720        | 923        | 1032       | 729        | 1555       | 903        | 1111       | 1321       |
| 1361       | 888        | 864        | 720        | 880        | 1159       | 1130       | 1213       | 1083       | 1693       |
| 1637       | 1475       | 720        | 720        | 1263       | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        |
| 1852       | 1043       | 888        | 888        | 720        | 1388       | 1174       | 1479       | 1273       | 1674       |
| 888        | 1579       | 720        | 720        | 888        | 798        | 1248       | 888        | 1261       | 1084       |
| 1999       | 1724       | 888        | 933        | 934        | 888        | 1521       | 1416       | 1653       | 1340       |
| 888        | 1065       | 720        | 738        | 720        | 925        | 1611       | 1121       | 1214       | 1326       |
| 720        | 1110       | 1341       | 1452       | 1158       | 720        | 720        | 812        | 997        | 720        |
| 1093       | 1309       | 1014       | 1007       | 915        | 1200       | 1103       | 1426       | 1671       | 1398       |
| 870        | 720        | 720        | 1940       | 1597       | 1082       | 753        | 720        | 727        | 720        |
| 888        | 888        | 1742       | 1916       | 1224       | 985        | 888        | 888        | 971        | 888        |
| 720        | 1318       | 884        | 2416       | 720        | 1305       | 1216       | 720        | 1474       | 1008       |
| 1355       | 1208       | 1697       | 720        | 1085       | 888        | 1708       | 1188       | 720        | 720        |
| 838        | 720        | 750        | 2535       | 720        | 720        | 720        | 776        | 1384       | 1007       |

| 1692          | 727           | 2018          | 2698          | 1511          | 1256          | 1054          | 1694          | 752           | 1126          |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1105          | 1223          | 720           | 720           | 848           | 902           | 1889          | 2097          | 1825          | 1478          |
| 2130          | 751           | 2534          | 1079          | 1912          | 1107          | 1444          | 720           | 720           | 1222          |
| 1950          | 893           | 2937          | 1006          | 720           | 1277          | 987           | 1183          | 888           | 888           |
| 720           | 1261          | 2559          | 987           | 1391          | 1447          | 733           | 982           | 824           | 720           |
| 1560          | 720           | 3013          | 1235          | 1741          | 1442          | 1000          | 720           | 1254          | 1076          |
| 21η<br>δοκιμή | 22η<br>δοκιμή | 23η<br>δοκιμή | 24η<br>δοκιμή | 25η<br>δοκιμή | 26η<br>δοκιμή | 27η<br>δοκιμή | 28η<br>δοκιμή | 29η<br>δοκιμή | 30η<br>δοκιμή |
| 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 888           | 832           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           |
| 793           | 888           | 823           | 992           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 1196          | 748           | 887           | 1175          | 1014          | 1039          | 902           | 1135          | 720           | 1101          |
| 1396          | 919           | 720           | 1176          | 1445          | 900           | 720           | 888           | 963           | 1079          |
| 1580          | 720           | 1110          | 888           | 1716          | 888           | 1054          | 1349          | 888           | 888           |
| 888           | 720           | 888           | 1514          | 888           | 1282          | 888           | 1726          | 1025          | 1428          |
| 720           | 888           | 720           | 1035          | 739           | 1418          | 720           | 888           | 956           | 888           |
| 888           | 1132          | 888           | 1351          | 888           | 888           | 888           | 1798          | 888           | 1254          |
| 976           | 720           | 720           | 1511          | 720           | 1340          | 1334          | 1112          | 1246          | 1362          |
| 888           | 1566          | 1246          | 883           | 1329          | 720           | 720           | 720           | 720           | 1227          |
| 720           | 720           | 1348          | 1595          | 994           | 1121          | 1275          | 1244          | 1615          | 720           |
| 928           | 2057          | 720           | 962           | 1627          | 1180          | 720           | 936           | 964           | 888           |
| 888           | 720           | 987           | 1385          | 1803          | 1018          | 888           | 888           | 888           | 1008          |
| 1261          | 1363          | 888           | 1018          | 1709          | 1345          | 1254          | 888           | 720           | 1203          |
| 720           | 1030          | 1201          | 1371          | 720           | 1164          | 720           | 720           | 1285          | 1253          |
| 1079          | 1698          | 720           | 720           | 1695          | 1865          | 1626          | 992           | 1060          | 720           |
| 833           | 1188          | 1477          | 1079          | 1028          | 1363          | 1050          | 870           | 1565          | 1011          |
| 1406          | 2079          | 978           | 983           | 1414          | 2322          | 1434          | 1435          | 1255          | 749           |
| 1010          | 720           | 1302          | 888           | 2029          | 1037          | 1793          | 1076          | 1068          | 937           |
| 1111          | 2478          | 1311          | 1338          | 1314          | 2818          | 1425          | 1165          | 2085          | 1123          |
| 1092          | 1915          | 1649          | 1004          | 1728          | 2686          | 1768          | 1226          | 1992          | 1413          |
| 1492          | 2019          | 1772          | 1066          | 1977          | 2818          | 2137          | 1667          | 2485          | 1468          |

Πίνακας 3: Χρόνοι παραμονής φορτηγών – Σενάριο 2

| 1η δοκιμή  | 2η δοκιμή  | 3η δοκιμή  | 4η δοκιμή  | 5η δοκιμή  | 6η δοκιμή  | 7η δοκιμή  | 8η δοκιμή  | 9η δοκιμή  | 10η δοκιμή |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 720        | 720        | 720        | 888        |
| 907        | 720        | 720        | 886        | 750        | 1034       | 888        | 888        | 888        | 720        |
| 1074       | 919        | 1117       | 1122       | 1051       | 888        | 720        | 815        | 720        | 1010       |
| 720        | 1274       | 1207       | 1395       | 1343       | 1375       | 888        | 817        | 720        | 1088       |
| 954        | 1117       | 1140       | 888        | 1035       | 1534       | 1111       | 888        | 720        | 888        |
| 888        | 888        | 888        | 1581       | 888        | 888        | 1082       | 1062       | 888        | 1494       |
| 918        | 1091       | 720        | 983        | 943        | 1814       | 1494       | 1052       | 720        | 1252       |
| 1206       | 1302       | 888        | 1478       | 1276       | 888        | 1642       | 1343       | 975        | 1545       |
| 720        | 720        | 720        | 876        | 1395       | 1924       | 888        | 803        | 720        | 1604       |
| 1350       | 1269       | 1168       | 974        | 720        | 888        | 720        | 1000       | 1422       | 720        |
| 1099       | 1051       | 854        | 950        | 1547       | 720        | 922        | 1149       | 993        | 1119       |
| 1604       | 1552       | 1684       | 1457       | 1002       | 878        | 1009       | 1516       | 1859       | 720        |
| 2010       | 1750       | 1238       | 1212       | 1387       | 888        | 915        | 1795       | 740        | 888        |
| 2501       | 720        | 1487       | 1457       | 1803       | 888        | 720        | 720        | 1180       | 888        |
| 720        | 1107       | 720        | 1596       | 1162       | 1274       | 1173       | 2022       | 1912       | 1301       |
| 2960       | 1562       | 883        | 1114       | 888        | 720        | 720        | 720        | 1373       | 720        |
| 880        | 1284       | 1674       | 720        | 720        | 1509       | 1369       | 1774       | 2250       | 1463       |
| 1327       | 2022       | 1204       | 978        | 883        | 984        | 1133       | 856        | 720        | 1105       |
| 1959       | 2538       | 2149       | 888        | 888        | 1197       | 1885       | 1942       | 2545       | 1358       |
| 1456       | 2240       | 1286       | 1421       | 1314       | 1311       | 720        | 1151       | 3072       | 1552       |
| 890        | 720        | 1608       | 1303       | 1286       | 1319       | 1783       | 720        | 2941       | 1602       |
| 720        | 2389       | 2044       | 1060       | 1259       | 1688       | 1842       | 1340       | 2722       | 1355       |
| 11η δοκιμή | 12η δοκιμή | 13η δοκιμή | 14η δοκιμή | 15η δοκιμή | 16η δοκιμή | 17η δοκιμή | 18η δοκιμή | 19η δοκιμή | 20η δοκιμή |
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 720        | 720        | 888        |
| 974        | 934        | 844        | 891        | 720        | 720        | 1096       | 888        | 888        | 964        |
| 1311       | 1082       | 720        | 873        | 1003       | 720        | 1505       | 864        | 1082       | 1271       |
| 936        | 888        | 849        | 720        | 836        | 1135       | 1065       | 1159       | 1039       | 1628       |
| 1572       | 1410       | 720        | 720        | 1219       | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        |
| 1787       | 1514       | 888        | 888        | 720        | 1364       | 1109       | 1425       | 1229       | 1609       |
| 888        | 1043       | 720        | 720        | 888        | 807        | 1248       | 888        | 1261       | 1084       |
| 1967       | 1692       | 888        | 933        | 934        | 888        | 1489       | 1395       | 1642       | 1308       |
| 888        | 1065       | 720        | 753        | 720        | 925        | 1611       | 1121       | 1214       | 1326       |
| 720        | 1093       | 993        | 1452       | 1158       | 720        | 720        | 806        | 1001       | 720        |
| 1093       | 1309       | 1341       | 1001       | 894        | 1200       | 1103       | 1426       | 1671       | 1398       |
| 849        | 720        | 720        | 1940       | 1597       | 1061       | 732        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 1742       | 1916       | 1224       | 985        | 888        | 888        | 971        | 888        |
| 720        | 1318       | 913        | 2416       | 720        | 1305       | 1216       | 720        | 1474       | 1008       |
| 1355       | 1208       | 1697       | 720        | 1085       | 888        | 1708       | 1188       | 720        | 720        |
| 867        | 720        | 811        | 2535       | 720        | 720        | 720        | 805        | 1384       | 1007       |

| 1692          | 756           | 2018          | 2698          | 1511          | 1256          | 1083          | 1694          | 781           | 1155          |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1166          | 1223          | 720           | 720           | 880           | 931           | 1889          | 2097          | 1825          | 1478          |
| 2130          | 812           | 2534          | 1111          | 1912          | 1107          | 1505          | 720           | 720           | 1283          |
| 1950          | 893           | 2937          | 1006          | 720           | 1338          | 987           | 1183          | 888           | 888           |
| 720           | 1261          | 2559          | 998           | 1391          | 1447          | 773           | 982           | 803           | 720           |
| 1560          | 720           | 3013          | 1235          | 1741          | 1482          | 1000          | 720           | 1254          | 1076          |
| 21η<br>δοκιμή | 22η<br>δοκιμή | 23η<br>δοκιμή | 24η<br>δοκιμή | 25η<br>δοκιμή | 26η<br>δοκιμή | 27η<br>δοκιμή | 28η<br>δοκιμή | 29η<br>δοκιμή | 30η<br>δοκιμή |
| 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 888           | 811           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           |
| 772           | 888           | 802           | 971           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 1146          | 720           | 837           | 1125          | 985           | 1010          | 873           | 1106          | 720           | 1072          |
| 1331          | 876           | 720           | 1111          | 1401          | 856           | 720           | 888           | 948           | 1035          |
| 1515          | 720           | 1110          | 888           | 1672          | 888           | 1054          | 1305          | 888           | 888           |
| 888           | 720           | 888           | 1449          | 888           | 1238          | 888           | 1682          | 1010          | 1384          |
| 720           | 888           | 720           | 1035          | 728           | 1407          | 720           | 888           | 974           | 888           |
| 888           | 1132          | 888           | 1319          | 888           | 888           | 888           | 1787          | 888           | 1243          |
| 976           | 720           | 720           | 1511          | 720           | 1340          | 1334          | 1112          | 1246          | 1362          |
| 888           | 1566          | 1246          | 866           | 1329          | 720           | 720           | 720           | 720           | 1227          |
| 720           | 720           | 1348          | 924           | 973           | 1100          | 1275          | 1244          | 1615          | 720           |
| 907           | 2057          | 720           | 1595          | 1627          | 1180          | 720           | 915           | 943           | 888           |
| 888           | 720           | 987           | 1385          | 1803          | 1018          | 888           | 888           | 888           | 987           |
| 1261          | 1363          | 888           | 1018          | 1709          | 1345          | 1254          | 888           | 720           | 1203          |
| 720           | 1059          | 1201          | 1371          | 720           | 1193          | 720           | 720           | 1285          | 1253          |
| 1079          | 1698          | 720           | 720           | 1695          | 1865          | 1626          | 992           | 1089          | 720           |
| 862           | 1249          | 1477          | 1079          | 1057          | 1424          | 1079          | 899           | 1565          | 1011          |
| 1406          | 2079          | 1007          | 1012          | 2029          | 2322          | 1495          | 1435          | 1316          | 778           |
| 1071          | 720           | 1302          | 888           | 1475          | 1077          | 1793          | 1137          | 2085          | 937           |
| 1111          | 2478          | 1372          | 1399          | 1354          | 2818          | 1465          | 1165          | 1108          | 1184          |
| 1132          | 1915          | 1689          | 1044          | 1728          | 2686          | 1768          | 1266          | 1992          | 1413          |
| 1492          | 2019          | 1772          | 1066          | 1977          | 2818          | 2137          | 1667          | 2485          | 1508          |

Πίνακας 4: Χρόνοι παραμονής φορτηγών – Σενάριο 3

| 1η δοκιμή  | 2η δοκιμή  | 3η δοκιμή  | 4η δοκιμή  | 5η δοκιμή  | 6η δοκιμή  | 7η δοκιμή  | 8η δοκιμή  | 9η δοκιμή  | 10η δοκιμή |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 720        | 720        | 720        | 888        |
| 928        | 720        | 720        | 907        | 771        | 1055       | 888        | 888        | 888        | 720        |
| 1124       | 948        | 1146       | 1172       | 1101       | 888        | 720        | 844        | 740        | 1039       |
| 737        | 1318       | 1251       | 1460       | 1408       | 1425       | 888        | 861        | 725        | 1132       |
| 971        | 1161       | 1184       | 888        | 1100       | 1599       | 1126       | 888        | 720        | 888        |
| 888        | 888        | 888        | 1646       | 888        | 888        | 1082       | 1106       | 888        | 1538       |
| 902        | 1102       | 720        | 983        | 975        | 1879       | 1509       | 1052       | 720        | 1252       |
| 1206       | 1302       | 888        | 1510       | 1276       | 888        | 1624       | 1354       | 975        | 1556       |
| 720        | 720        | 720        | 974        | 1395       | 1956       | 888        | 799        | 720        | 1604       |
| 1350       | 1269       | 1168       | 893        | 720        | 888        | 720        | 1000       | 1422       | 720        |
| 1120       | 1072       | 875        | 988        | 1547       | 720        | 922        | 1166       | 1014       | 1119       |
| 1604       | 1552       | 1684       | 1457       | 1023       | 899        | 1030       | 1516       | 1859       | 720        |
| 2010       | 1750       | 1238       | 1212       | 1387       | 888        | 915        | 1795       | 740        | 888        |
| 2501       | 720        | 1487       | 1457       | 1803       | 888        | 720        | 720        | 1151       | 888        |
| 720        | 1078       | 720        | 1596       | 1162       | 1274       | 1173       | 2022       | 1912       | 1301       |
| 851        | 1562       | 854        | 1114       | 888        | 720        | 720        | 720        | 1312       | 720        |
| 2960       | 1223       | 1674       | 720        | 720        | 1509       | 1369       | 1774       | 2250       | 1463       |
| 1266       | 2022       | 1143       | 949        | 854        | 955        | 1101       | 824        | 720        | 1076       |
| 1959       | 2538       | 2149       | 888        | 888        | 1250       | 1885       | 1942       | 2545       | 1358       |
| 1456       | 2240       | 1246       | 1360       | 1253       | 1197       | 720        | 1151       | 3072       | 1491       |
| 890        | 720        | 1608       | 1303       | 1286       | 1279       | 1783       | 720        | 2941       | 1602       |
| 720        | 2389       | 2044       | 1020       | 1219       | 1688       | 1842       | 1340       | 2722       | 1315       |
| 11η δοκιμή | 12η δοκιμή | 13η δοκιμή | 14η δοκιμή | 15η δοκιμή | 16η δοκιμή | 17η δοκιμή | 18η δοκιμή | 19η δοκιμή | 20η δοκιμή |
| 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        | 720        |
| 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        | 730        | 720        | 888        |
| 995        | 955        | 865        | 912        | 720        | 720        | 1117       | 888        | 888        | 985        |
| 936        | 1132       | 720        | 923        | 1032       | 729        | 1555       | 903        | 1111       | 1321       |
| 1361       | 888        | 864        | 720        | 880        | 1159       | 1130       | 1213       | 1083       | 1693       |
| 1637       | 1475       | 720        | 720        | 1263       | 888        | 888        | 888        | 888        | 888        |
| 1852       | 1043       | 888        | 888        | 720        | 1388       | 1174       | 1479       | 1273       | 1674       |
| 888        | 1579       | 720        | 720        | 888        | 798        | 1248       | 888        | 1261       | 1084       |
| 1999       | 1724       | 888        | 933        | 934        | 888        | 1521       | 1416       | 1653       | 1340       |
| 888        | 1065       | 720        | 738        | 720        | 925        | 1611       | 1121       | 1214       | 1326       |
| 720        | 1110       | 1341       | 1452       | 1158       | 720        | 720        | 812        | 997        | 720        |
| 1093       | 1309       | 1014       | 1007       | 915        | 1200       | 1103       | 1426       | 1671       | 1398       |
| 870        | 720        | 720        | 1940       | 1597       | 1082       | 753        | 720        | 727        | 720        |
| 888        | 888        | 1742       | 1916       | 1224       | 985        | 888        | 888        | 971        | 888        |
| 720        | 1318       | 884        | 2416       | 720        | 1305       | 1216       | 720        | 1474       | 1008       |
| 1355       | 1208       | 1697       | 720        | 1085       | 888        | 1708       | 1188       | 720        | 720        |
| 838        | 720        | 750        | 2535       | 720        | 720        | 720        | 776        | 1384       | 1007       |



| 1692          | 727           | 2018          | 2698          | 1511          | 1256          | 1054          | 1694          | 752           | 1126          |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1105          | 1223          | 720           | 720           | 848           | 902           | 1889          | 2097          | 1825          | 1478          |
| 2130          | 751           | 2534          | 1079          | 1912          | 1107          | 1444          | 720           | 720           | 1222          |
| 1950          | 893           | 2937          | 1006          | 720           | 1277          | 987           | 1183          | 888           | 888           |
| 720           | 1261          | 2559          | 987           | 1391          | 1447          | 733           | 982           | 824           | 720           |
| 1560          | 720           | 3013          | 1235          | 1741          | 1442          | 1000          | 720           | 1254          | 1076          |
| 21η<br>δοκιμή | 22η<br>δοκιμή | 23η<br>δοκιμή | 24η<br>δοκιμή | 25η<br>δοκιμή | 26η<br>δοκιμή | 27η<br>δοκιμή | 28η<br>δοκιμή | 29η<br>δοκιμή | 30η<br>δοκιμή |
| 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 888           | 832           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           | 888           |
| 793           | 888           | 823           | 992           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           | 720           |
| 1196          | 748           | 887           | 1175          | 1014          | 1039          | 902           | 1135          | 720           | 1101          |
| 1396          | 919           | 720           | 1176          | 1445          | 900           | 720           | 888           | 963           | 1079          |
| 1580          | 720           | 1110          | 888           | 1716          | 888           | 1054          | 1349          | 888           | 888           |
| 888           | 720           | 888           | 1514          | 888           | 1282          | 888           | 1726          | 1025          | 1428          |
| 720           | 888           | 720           | 1035          | 739           | 1418          | 720           | 888           | 956           | 888           |
| 888           | 1132          | 888           | 1351          | 888           | 888           | 888           | 1798          | 888           | 1254          |
| 976           | 720           | 720           | 1511          | 720           | 1340          | 1334          | 1112          | 1246          | 1362          |
| 888           | 1566          | 1246          | 883           | 1329          | 720           | 720           | 720           | 720           | 1227          |
| 720           | 720           | 1348          | 1595          | 994           | 1121          | 1275          | 1244          | 1615          | 720           |
| 928           | 2057          | 720           | 962           | 1627          | 1180          | 720           | 936           | 964           | 888           |
| 888           | 720           | 987           | 1385          | 1803          | 1018          | 888           | 888           | 888           | 1008          |
| 1261          | 1363          | 888           | 1018          | 1709          | 1345          | 1254          | 888           | 720           | 1203          |
| 720           | 1030          | 1201          | 1371          | 720           | 1164          | 720           | 720           | 1285          | 1253          |
| 1079          | 1698          | 720           | 720           | 1695          | 1865          | 1626          | 992           | 1060          | 720           |
| 833           | 1188          | 1477          | 1079          | 1028          | 1363          | 1050          | 870           | 1565          | 1011          |
| 1406          | 2079          | 978           | 983           | 1414          | 2322          | 1434          | 1435          | 1255          | 749           |
| 1010          | 720           | 1302          | 888           | 2029          | 1037          | 1793          | 1076          | 1068          | 937           |
| 1111          | 2478          | 1311          | 1338          | 1314          | 2818          | 1425          | 1165          | 2085          | 1123          |
| 1092          | 1915          | 1649          | 1004          | 1728          | 2686          | 1768          | 1226          | 1992          | 1413          |
| 1492          | 2019          | 1772          | 1066          | 1977          | 2818          | 2137          | 1667          | 2485          | 1468          |

Πίνακας 5: Μέσοι και μέγιστοι χρόνοι παραμονής φορτηγών – 30 δοκιμές , 3 σενάρια

|           | Σενάριο 1                       |                                    | Σενάριο 2                       |                                    | Σενάριο 3                       |                                    |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|           | Μέσος χρόνος παραμονής φορτηγών | Μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών | Μέσος χρόνος παραμονής φορτηγών | Μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών | Μέσος χρόνος παραμονής φορτηγών | Μέγιστος χρόνος παραμονής φορτηγών |
| δοκιμή 1  | 1239                            | 2960                               | 1238                            | 2960                               | 1239                            | 2960                               |
| δοκιμή 2  | 1300                            | 2538                               | 1298                            | 2538                               | 1300                            | 2538                               |
| δοκιμή 3  | 1175                            | 2149                               | 1174                            | 2149                               | 1175                            | 2149                               |
| δοκιμή 4  | 1135                            | 1646                               | 1128                            | 1596                               | 1135                            | 1646                               |
| δοκιμή 5  | 1099                            | 1803                               | 1093                            | 1803                               | 1099                            | 1803                               |
| δοκιμή 6  | 1145                            | 1956                               | 1140                            | 1924                               | 1145                            | 1956                               |
| δοκιμή 7  | 1090                            | 1885                               | 1090                            | 1885                               | 1090                            | 1885                               |
| δοκιμή 8  | 1127                            | 2022                               | 1122                            | 2022                               | 1127                            | 2022                               |
| δοκιμή 9  | 1369                            | 3072                               | 1370                            | 3072                               | 1369                            | 3072                               |
| δοκιμή 10 | 1130                            | 1604                               | 1130                            | 1604                               | 1130                            | 1604                               |
| δοκιμή 11 | 1209                            | 2130                               | 1202                            | 2130                               | 1209                            | 2130                               |
| δοκιμή 12 | 1057                            | 1724                               | 1050                            | 1692                               | 1057                            | 1724                               |
| δοκιμή 13 | 1301                            | 3013                               | 1302                            | 3013                               | 1301                            | 3013                               |
| δοκιμή 14 | 1212                            | 2698                               | 1211                            | 2698                               | 1212                            | 2698                               |
| δοκιμή 15 | 1057                            | 1912                               | 1052                            | 1912                               | 1057                            | 1912                               |
| δοκιμή 16 | 1019                            | 1447                               | 1022                            | 1482                               | 1019                            | 1447                               |
| δοκιμή 17 | 1133                            | 1889                               | 1128                            | 1889                               | 1133                            | 1889                               |
| δοκιμή 18 | 1051                            | 2097                               | 1044                            | 2097                               | 1051                            | 2097                               |
| δοκιμή 19 | 1088                            | 1825                               | 1082                            | 1825                               | 1088                            | 1825                               |
| δοκιμή 20 | 1082                            | 1693                               | 1076                            | 1628                               | 1082                            | 1693                               |
| δοκιμή 21 | 1021                            | 1580                               | 1017                            | 1515                               | 1021                            | 1580                               |

|              |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| δοκιμή<br>22 | 1210 | 2478 | 1210 | 2478 | 1210 | 2478 |
| δοκιμή<br>23 | 1042 | 1772 | 1044 | 1772 | 1042 | 1772 |
| δοκιμή<br>24 | 1111 | 1595 | 1104 | 1595 | 1111 | 1595 |
| δοκιμή<br>25 | 1265 | 2029 | 1265 | 2029 | 1265 | 2029 |
| δοκιμή<br>26 | 1371 | 2818 | 1370 | 2818 | 1371 | 2818 |
| δοκιμή<br>27 | 1115 | 2137 | 1119 | 2137 | 1115 | 2137 |
| δοκιμή<br>28 | 1089 | 1798 | 1088 | 1787 | 1089 | 1798 |
| δοκιμή<br>29 | 1162 | 2485 | 1166 | 2485 | 1162 | 2485 |
| δοκιμή<br>30 | 1046 | 1468 | 1045 | 1508 | 1046 | 1468 |