

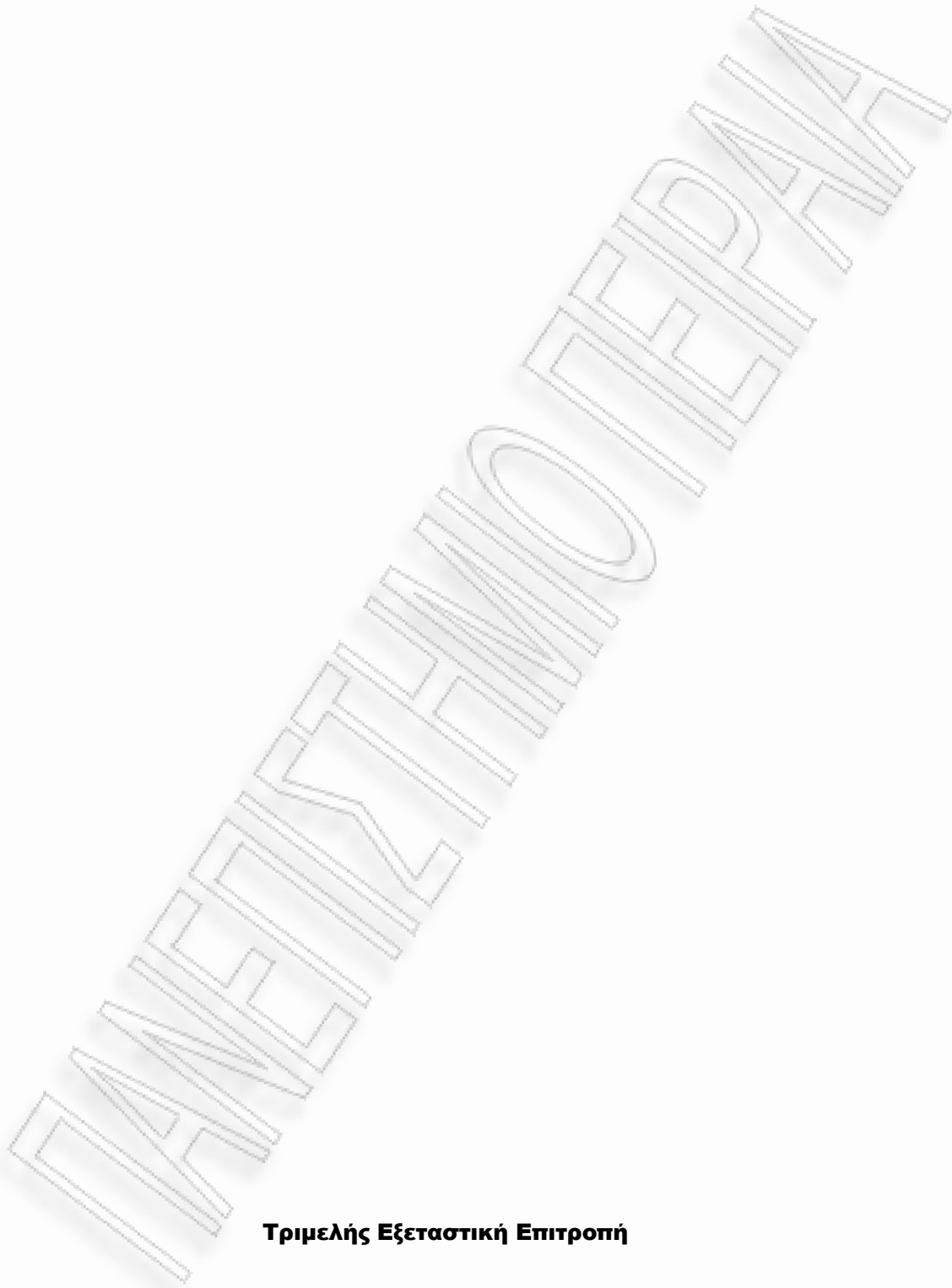


Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Αναζήτηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης κατά την Προληπτική Συντήρηση Συρμών Σιδηροδρομικών Δικτύων
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Γάτος Ηλίας
Πατρώνυμο	Ευθύμιος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ/08018
Επιβλέπουσα	Αικατερίνη Καμπάση Καθηγήτρια Εφαρμογών

Ημερομηνία Παράδοσης **Μάρτιος 2012**



Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αικατερίνη Καμπάση
Καθηγήτρια Εφαρμογών

Μαρία Βίββου
Καθηγήτρια

Γεώργιος Τσιχριντζής
Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		Σελ.
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACT	5
1.	Εισαγωγή	6
2.	Βασική υποδομή σιδηροδρομικού δικτύου και σχετική ορολογία	7
2.1	Συρμός (Train).....	7
2.2	Σιδηροτροχιές (Rails).....	7
2.3	Σταθμοί (Stations).....	7
2.4	Task.....	8
2.5	Circulation Plan.....	8
2.6	Shunting Plan.....	8
2.7	Shunting Crew.....	8
2.8	Shunting Horizon.....	8
2.9	Regular Plan.....	8
2.10	Duty.....	8
2.11	Operational Rolling Stock Plan.....	8
2.12	Interchange.....	9
2.13	Urgent Train.....	9
2.14	Maintenance Station.....	9
2.15	Maintenance Routing.....	9
2.16	Maintenance Task.....	9
3.	Γενικές παρατηρήσεις για ένα σιδηροδρομικό δίκτυο με ενσωματωμένους σταθμούς συντηρήσεως	9
4.	Απεικόνιση σιδηροδρομικών δικτύων μέσω γράφων	11
4.1	Βασικοί ορισμοί της θεωρίας των γράφων.....	11
4.2	Διάφορες εκδοχές γραφημάτων σιδηροδρομικών δικτύων.....	13

5.	Το πρόβλημα της προληπτικής συντηρήσεως συρμών.....	21
		Σελ.
5.1	Προληπτική συντήρηση μέσω ανταλλαγής των προγραμματισμένων δρομολογίων μεταξύ συρμών.....	22
5.2	Μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι για την εύρεση εφικτών και μικροτέρου κόστους δρομολογίων συντηρήσεως.....	26
5.2.1	Προϋπάρχουσες εργασίες.....	26
5.2.2	Το μοντέλο ανταλλαγής (Interchange Model).....	27
5.2.3	Το μοντέλο μεταβάσεως (Transition Model).....	31
5.2.4	Σύγκριση των δύο μοντέλων.....	34
6.	Το λογισμικό της εργασίας.....	34
6.1	Διάγραμμα ροής του λογισμικού.....	35
6.2	Λογισμικό – Απαιτήσεις.....	35
6.3	Οδηγός Εγκαταστάσεως.....	36
6.4	Περιγραφή της Εφαρμογής.....	36
6.5	Πίνακας “Στατιστικά Συρμών”.....	45
6.6	Πίνακες αποτελεσμάτων.....	46
6.7	Επεξήγηση-σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	47
6.8	Αντοχή της εφαρμογής σε αλλαγές στη βάση δεδομένων.....	50
6.9	Επεκτασιμότητα.....	51
7.	Συμπεράσματα.....	51
8.	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	52

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη εξετάζει ένα πρόβλημα προληπτικής συντηρήσεως των συρμών στα σιδηροδρομικά δίκτυα. Βασίζεται σε μία προϋπάρχουσα βάση δεδομένων η οποία ενημερώνεται συνεχώς, ώστε να παρέχει πληροφορίες σε κάθε στιγμή για την κατάσταση των συρμών και του δικτύου. Με τη βοήθεια γράφων προτείνονται διάφορα μαθηματικά μοντέλα για την παράσταση και παραμετροποίηση των δικτύων εν γένει ώστε να αποτελούν βάση για θεωρητικές μελέτες. Ένα από τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιείται για την μελέτη ενός προβλήματος προληπτικής συντηρήσεως, ο δε χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος αναζητάει κάθε φορά, μέσω της βάσεως δεδομένων, συρμούς οι οποίοι είναι κοντά σε κάποιο θεσπισμένο οριο χιλιομετρικής αποστάσεως την οποία έχουν διανύσει και προτείνει γι' αυτούς διαδρομές, εκτός του προγραμματισμένου δρομολογίου, οι οποίες θα τον οδηγήσουν το συντομώτερο σε κάποιον σταθμό συντηρήσεως του δικτύου, χρησιμοποιώντας δρομολόγια άλλων συρμών.

ABSTRACT

This thesis addresses a problem of preventive maintenance of the trains of a railway network. It is based on a pre-existing database that is continuously updated so that it can provide information on demand, about the state of the trains and the corresponding network. By means of graphs, various mathematical models are proposed for the description and parameterization of the train networks in general, so that they form the basis for subsequent theoretical studies. One of these models is used for the study of a problem of preventive maintenance. The algorithm used searches the database for any trains that are close to a pre-specified limit of the traveled distance in kilometers, and proposes for these trains optimal routes, outside the scheduled routing plan, that will direct them to a maintenance station of the network, using planned routes of other trains.

ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΥΡΜΩΝ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

1. Εισαγωγή

Μέρος των δραστηριοτήτων μίας σιδηροδρομικής εταιρείας αποτελεί και η περιοδική προληπτική συντήρηση των συρμών. Έτσι κάθε συρμός μετά την συμπλήρωση ενός αριθμού χιλιομέτρων (ας πούμε 60000 km), πρέπει να οδηγηθεί σε ειδικούς σταθμούς, οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί σε διάφορα σημεία του δικτύου, όπου πραγματοποιείται ο έλεγχος, η συντήρηση και η ενδεχόμενη αντικατάσταση των φθαρμένων μερών τους. Μετά την υπέρβαση του ορίου αυτού, το όχημα χαρακτηρίζεται ως **«επείγοντως συντηρητέον» (urgent)** και πρέπει στις επόμενες 2 έως 5 ημέρες, αναλόγως της λειτουργικής πολιτικής του σιδηροδρομικού οργανισμού, ανεξαρτήτως του προγραμματισμένου δρομολογίου το οποίο εκτελεί, να οδηγηθεί στο σταθμό προληπτικής συντηρήσεως (ΣΣ).

Σε ένα μεγάλο σιδηροδρομικό δίκτυο είναι αναμενόμενο να συμβαίνει σε πολλούς συρμούς ταυτοχρόνως να πρέπει να προωθηθούν για προληπτική συντήρηση. Θα πρέπει επομένως να υπάρχουν ΣΣ επαρκείς σε αριθμό και διαθέσιμοι (μη κατειλημμένοι, με επαρκές προσωπικό και υλικά συντηρήσεως). Αυτό το πρόβλημα της επάρκειας, το οποίο ανάγεται σε προβλήματα θεωρίας ουράς (**Queuing Theory**), υποτίθεται ότι είναι λυμένο για την εταιρεία την οποία θα θεωρήσουμε και δεν θα μας απασχολήσει εδώ. Αντιθέτως ενδιαφερόμεθα για το πώς θα φθάσουν οι υποψήφιοι για συντήρηση συρμοί στους σταθμούς συντηρήσεως (ΣΣ), με τον πλέον συμφέροντα τρόπο για την εταιρεία και με τον όσο δυνατόν λιγότερο επηρεασμό στην εξυπηρέτηση των επιβατών.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν και δεν χρειάζεται να υπάρχουν σταθμοί συντηρήσεως σε κάθε γραμμή του δικτύου, κάθε υποψήφιος για συντήρηση συρμός, όπου δεν υπάρχει ΣΣ στο δρομολόγιό του, πρέπει να αλλάξει γραμμή, μερικές φορές περισσότερο από μία φορές, για να φθάσει στον προσιότερο ΣΣ. Βεβαίως το απλούστερο σε αυτή την περίπτωση θα ήταν να πραγματοποιούνται αυτές οι διαδρομές με κενά τρέινα κατά τη διάρκεια της νυκτερινής παύσεως. Αυτό θα ήταν όμως ασύμφορο για την εταιρεία γιατί θα απαιτούσε νυκτερινή εργασία και έξοδα κινήσεως για έναν άδειο συρμό. Γι' αυτό είναι προτιμότερο όταν ο συρμός κριθεί έτοιμος για συντήρηση να οδηγηθεί σε ένα ΣΣ εκτελώντας ταυτοχρόνως προγραμματισμένα δρομολόγια με επιβάτες.

Έτσι είναι απαραίτητο σε αναζήτηση ΣΣ να αναδρομολογηθεί ο συρμός παρακάμπτοντας το προγραμματισμένο δρομολόγιό του. Η αναδρομολόγηση αυτή επιτυγχάνεται με την εξής διαδικασία. Όταν ο συρμός χαρακτηριστεί ως **«επείγοντως συντηρητέος»**, συνεχίζει το δρόμο του έως τον επόμενο σταθμό ο οποίος περιέχεται στο κανονικό δρομολόγιό του και επιτρέπει αλλαγή γραμμής. Εκεί παραχωρεί το επόμενο δρομολόγιο το οποίο είναι προγραμματισμένο γι' αυτόν εις άλλον συρμό (μη υποψήφιο για συντήρηση) και αλλάζει γραμμή. Αυτοί οι σταθμοί, οι οποίοι επιτρέπουν ανταλλαγή δρομολογίων, ονομάζονται σταθμοί ανταλλαγής (**Interchange Stations**) και θα τους συμβολίζουμε με *Sinch*. Τέτοιοι σταθμοί πρέπει να υπάρχουν οπωσδήποτε στις διασταυρώσεις των γραμμών του δικτύου και είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότεροι από ένας σε διάφορα σημεία της κάθε γραμμής.

Μία σειρά από τέτοιες ανταλλαγές δρομολογίων (**interchanges**) δρομοθετούν το συρμό έτσι ώστε να οδηγηθεί, στον διαθέσιμο σταθμό συντηρήσεως. Σημειώνουμε ότι ενδεχομένως αυτό να μην είναι απολύτως πραγματοποιήσιμο και να είναι αναγκαίο κάποιο τμήμα αυτής της διαδρομής να το διανύσει χωρίς επιβάτες. Αυτό όμως αποφεύγεται κατά το δυνατόν. Όπως θα φανεί ακολούθως σε ένα μεγάλο δίκτυο με πολλές διασταυρούμενες γραμμές, οι οποίες διατρέχονται από περισσότερους συρμούς συγχρόνως, θα υπάρξουν περισσότερα οχήματα

τα οποία θα ευρεθούν στην κατάσταση «**επείγοντως συντηρητέο**» (*urgent*) και θα υπάρξουν για ένα συγκεκριμένο τέτοιο συρμό περισσότερες εναλλακτικές διαδρομές έως το σταθμό συντηρήσεως. Το ερώτημα είναι ποιές από αυτές πρέπει να επιλεγούν ως οι πλέον ευνοϊκές και με τί κριτήρια. Στην εργασία αυτή αναζητούνται τα κριτήρια αυτά με χρήση σχετικής εμπειρείας σε εργασίες στο δίκτυο του “ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ” και περιγράφεται αλγόριθμος αναζητήσεως διαδρομών και λήψεως αποφάσεων.

2. Βασική υποδομή σιδηροδρομικού δικτύου και σχετική ορολογία

Για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου που θα ακολουθήσει, παραθέτουμε παρακάτω μερικά βασικά στοιχεία και όρους της σιδηροδρομικής υποδομής.

2.1 Συρμός (Train)

Είναι ένα σύνολο από οχήματα το οποίο αποτελείται από ένα όχημα που εξασφαλίζει την κίνηση, οχήματα επιβατών και άλλα βοηθητικά οχήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα το ένα πίσω από το άλλο ώστε να κινούνται μαζί προς μία κατεύθυνση, ή και προς την αντίθετη της και να αποτελούν μία ενιαία οντότητα. Η οντότητα αυτή στην απλούστερη δυνατή σύνθεσή της ονομάζεται **μονάδα τραίνου (train unit)** και εμφανίζεται και αντιμετωπίζεται παντού στο δίκτυο (συντήρηση, καθαρισμός, επισκευή κλπ) ως αδιάαιρετο σύνολο. Η σύνθεση και τα είδη των οχημάτων διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία. Τέτοιοι συρμοί υπάρχουν πολλοί σε κάθε εταιρεία και κινούνται διεσπαρμένοι στο δίκτυο ή είναι εναποθετημένοι σε σταθμούς. Στο “ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ” π.χ η μονάδα τραίνου αποτελείται από ένα “**ιθυνήριο όχημα**” στην αρχή του συρμού. Το ιθυνήριο όχημα ακολουθείται από ένα “**κινητήριο όχημα**” και ένα “**ειδικό κινητήριο όχημα**”. Η ακολουθία αυτή επαναλαμβάνεται στην αντίστροφη σειρά, ώστε η μονάδα τραίνου να αποτελείται από δύο υπομονάδες (αποτελούμενες από τρία μέρη η κάθε μία) και να αρχίζει και να τελειώνει με ένα ιθυνήριο όχημα από το οποίο οδηγείται προς τη μία ή την αντίθετη κατεύθυνση.

2.2 Σιδηροτροχιές (Rails)

Είναι σιδερένιες τροχιές επάνω στις οποίες κινούνται οι συρμοί. Συνήθως υπάρχουν δύο ζεύγη τέτοιων τροχιών (μία για κάθε κατεύθυνση), αλλά μπορεί να υπάρχουν και περισσότερα μέσα στους σταθμούς, ιδίως σε σταθμούς όπου συναντώνται τροχιές διαφόρων προορισμών ή/και επιτρέπονται ελιγμοί.

Οι τροχιές ενώνουν ανά δύο διάφορα σημεία μιας περιοχής ή χώρας και είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να εξυπηρετούν την κίνηση των επιβατών μέσω των συρμών οι οποίοι κινούνται επάνω σε αυτές. Τα δύο ζεύγη ως κοινή κατεύθυνση μέσα στο δίκτυο συμβολίζονται με Lm ή με LmD και LmA, όταν γίνεται διάκριση μεταξύ γραμμής αναχωρήσεως (**Departure**) και γραμμής αφίξεως (**Arrival**), όπου m=1,2,3...δείκτης για τα διάφορα ζεύγη.

2.3 Σταθμοί

α. Τερματικοί σταθμοί (ΤΣ)

Είναι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται στα άκρα μιας σιδηροδρομικής γραμμής.

β. Ενδιάμεσοι σταθμοί (ΕΣ)

Είναι σταθμοί δια των οποίων διέρχεται ο συρμός και κάνει στάση για επιβίβαση ή αποβίβαση επιβατών.

γ. Σταθμοί μετεπιβιβάσεως (ΣΜ)

Είναι ενδιάμεσοι σταθμοί, οι οποίοι είναι κοινοί για δύο ή περισσότερες γραμμές και υπάρχει η δυνατότητα για τους επιβάτες να αλλάξουν γραμμή επιβιβαζόμενοι σε άλλο συρμό.

δ. Σταθμοί συντηρήσεως (ΣΣ)

Είναι σταθμοί όπου οι συρμοί περιοδικώς καθαρίζονται, συντηρούνται προληπτικώς ή/και επισκευάζονται.

ε. Σταθμοί εναποθέσεως συρμών ή επίσταθμοι (ΕΠΣ)

Σταθμοί όπου υπάρχουν θέσεις εναποθέσεως συρμών. Τέτοιοι σταθμοί υπάρχουν στους τερματικούς σταθμούς, όπου υπάρχει επίσης και η δυνατότητα αναστροφής των συρμών.

ζ. Σταθμοί ανταλλαγής συρμών (Σinch)

Στους σταθμούς αυτούς υπάρχει η δυνατότητα, μέσω μιας συνδετήριας γραμμής, ένας συρμός να εγκαταλείψει τη γραμμή του και να κινηθεί σε άλλη γραμμή του δικτύου. Ετσι δύο συρμοί μπορούν να ανταλλάξουν τα δρομολογία τους. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο δύο ή περισσότερες γραμμές να διέρχονται από τον ίδιο Σinch του δικτύου, ο οποίος είναι και σταθμός μετεπιβιβάσεως, επομένως και κοινός ενδιάμεσος σταθμός τους. Οι σιδηροτροχιές ενώνουν τους σταθμούς μεταξύ τους και μαζί με αυτούς αποτελούν το σιδηροδρομικό δίκτυο.

2.4 Task

Είναι η μικρότερη αδιαίρετη μετακίνηση που εκτελείται από μονάδα τραίνου. Η μετακίνηση πχ. Από ένα σταθμό στον επόμενο.

2.5 Circulation Plan

Περιλαμβάνει την κίνηση συρμών στις γραμμές του δικτύου.

2.6 Shunting Plan

Περιλαμβάνει μετακινήσεις των συρμών μέσα στους σταθμούς (αλλαγές γραμμών, εναπόθεση κλπ.).

2.7 Shunting Crew

Το προσωπικό που εκτελεί τις μετακινήσεις κλπ. Μέσα στους σταθμούς.

2.8 Planning Horizon

Ο βραχυπρόθεσμος σχεδιασμός για τη λειτουργία του δικτύου. Συνήθως αφορά στις τρεις τελευταίες ημέρες πριν την εφαρμογή του.

2.9 Regular Plan

Περιλαμβάνει το *Circulation Plan* και το αντίστοιχο *Shunting Plan* του βραχυπροθέσμου σχεδιασμού (*Planning Horizon*).

2.10 Duty

Είναι μία ακολουθία από διαδοχικά *Tasks* τα οποία έχει να εκτελέσει μία μονάδα τραίνου στο πλαίσιο του *Planning Horizon*.

2.11 Operational Rolling Stock Plan

Περιέχει τα **Duties** που πρέπει να εκτελεσθούν χωρίς να αναφέρεται σε ποιες μονάδες θα τα εκτελέσουν. Μέσα στον **Planning Horizon**, ανατίθενται τα **Duties** σε συγκεκριμένες μονάδες τραίνου για να εκτελεσθούν και ο νέος σχεδιασμός ονομάζεται τότε **Regular Plan**.

2.12 Interchange

Η ανταλλαγή των δρομολογίων δύο μονάδων τραίνου μέσα σε ένα σταθμό με την βοήθεια του **Shunting Crew**.

2.12 Urgent train

Μονάδα τραίνου η οποία έχει καλύψει το όριο χιλιομέτρων το οποίο έχει θεσπισθεί για την ασφαλή λειτουργία της και πρέπει να οδηγηθεί για προληπτική συντήρηση.

2.13 Maintenance Station

Σταθμός συντηρήσεως (ΣΣ). Είναι ενσωματωμένος στο δίκτυο. Πρέπει να υπάρχει επάρκεια τέτοιων σταθμών και ο κάθε συρμός, σε οποιαδήποτε γραμμή και αν βρίσκεται, πρέπει να έχει τη δυνατότητα μέσω του δικτύου να έχει πρόσβαση σ' αυτόν για να συντηρηθεί.

2.14 Maintenance Routing

Δρομοθέτηση μιας μονάδας τραίνου προς το σταθμό συντηρήσεως μέσω του δικτύου.

2.15 Maintenance Task

Το Task το οποίο καταλήγει σε ΣΣ.

3. Γενικές παρατηρήσεις για ένα σιδηροδρομικό δίκτυο με ενσωματωμένους σταθμούς συντηρήσεως

Προκειμένου ένα τρένο, το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως επείγοντως συντηρητέο, να οδηγηθεί στο σταθμό συντηρήσεως (ΣΣ), θα πρέπει το δίκτυο να διαθέτει τα εξής:

α. Πρέπει να διαθέτει κάποιους ΣΣ, οι οποίοι θα είναι προσβάσιμοι από κάθε τρένο το οποίο κυκλοφορεί στο δίκτυο, είτε αμέσως, μέσω της γραμμής του δρομολογίου του, είτε εμμέσως, πραγματοποιώντας κάποιες αλλαγές γραμμών και ανταλλαγές δρομολογίων με άλλους συρμούς. Ενώ κάθε γραμμή πρέπει να διαθέτει τουλάχιστον ένα σταθμό *Sinch* δεν είναι απαραίτητο να διαθέτει ΣΣ σε έναν από τους δύο ή και στους δύο τερματικούς σταθμούς της.

β. Οι ΣΣ βρίσκονται συνήθως κοντά στους τερματικούς σταθμούς ενώ σταθμοί *Sinch* είναι ενδιάμεσοι σταθμοί και είναι κοινοί σταθμοί για δύο ή περισσότερες γραμμές.

γ. Θεωρούμε, ότι ανταλλαγή μεταξύ δύο συρμών μπορεί να συμβεί μόνο στον ίδιο *Sinch*, ο οποίος κατά τα άλλα, όπως είπαμε, είναι και ενδιάμεσος σταθμός των δύο γραμμών, οι οποίες συμβάλλουν στον *Sinch*.

δ. Το δρομολόγιο ενός τραίνου αποτελείται από τα επιμέρους δρομολόγια (**Tasks**) μεταξύ αλληλοδιαδόχων σταθμών. Το τέλος ενός επιμέρους δρομολογίου και η αρχή του επομένου θεωρείται ότι συμβαίνουν στον ίδιο σταθμό έστω και μετά από πραγματοποιούμενη ανταλλαγή (**Interchange**).

Στο Σχ. 1 είναι απεικονισμένο ένα πραγματικό δίκτυο, το δίκτυο του "ΗΣΑΠ" και του "ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ", όπου φαίνονται οι διάφορες διασταυρούμενες γραμμές και οι ενδιάμεσοι σταθμοί (διακρίνονται επίσης και οι μελλοντικές επεκτάσεις τους, καθώς και οι γραμμές του Προαστιακού και του Τράμ).



Σχ. 1

Όπως βλέπουμε υπάρχουν δύο σταθμοί συντηρήσεως (ονομάζονται: **Αμαξοστάσια**). Ο ένας είναι των Σεπτολίων και ο άλλος του Σταυρού, ενώ πλησίον του Ελαιώνος κατασκευάζεται το αμαξοστάσιο του Αγίου Σάββα.

Επίσης φαίνονται οι σταθμοί Σινχ οι οποίοι υπάρχουν στο Σύνταγμα, Μοναστηράκι, Ομόνοια, και Αττική. Εδώ σημειώνουμε ότι ειδικά σ' αυτό το δίκτυο οι γραμμές του ΗΣΑΠ με αυτές του ΜΕΤΡΟ δεν επικοινωνούν πράγμα που σημαίνει ότι οι σταθμοί στο Μοναστηράκι, στην Ομόνοια και στην Αττική είναι μόνο σταθμοί μετεπιβίβασης και όχι ανταλλαγής συρμών. Αυτό όμως θα το παραβλέψουμε για να δοθεί η εικόνα ενός ενιαίου δικτύου ΜΕΤΡΟ μιας πόλεως.

4. Απεικόνιση σιδηροδρομικών δικτύων μέσω γράφων

4.1 Βασικοί ορισμοί της θεωρίας των γράφων

Προκειμένου να τεθεί σε μαθηματική βάση το πρόβλημα το οποίο εξετέθη στην εισαγωγή και να εφαρμοσθούν στην συνέχεια μαθηματικές μέθοδοι για την ανάλυση, επεξεργασία και επίλυσή του, πρέπει να δημιουργηθεί ένα μαθηματικό μοντέλο. Κατάλληλο εργαλείο γι' αυτό το σκοπό φαίνεται να είναι η θεωρία των γράφων.

Ενας **γράφος** ή **γράφημα** δίδεται από ένα ζεύγος συνόλων $G=\{V,E\}$, όπου

$$(1) \quad V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_k\} \text{ και } E=\{(v_i, v_j)\}$$

$$\text{με } i, j \in K, K=\{1,2,3,\dots,k\} \subset \mathbb{N} \text{ και } |V| \geq 2.$$

Στην ειδική περίπτωση $|V|=0$ ο γράφος ονομάζεται **κενός (empty)** και στην περίπτωση $|V|=1$ ονομάζεται **τετριμμένος (trivial)**

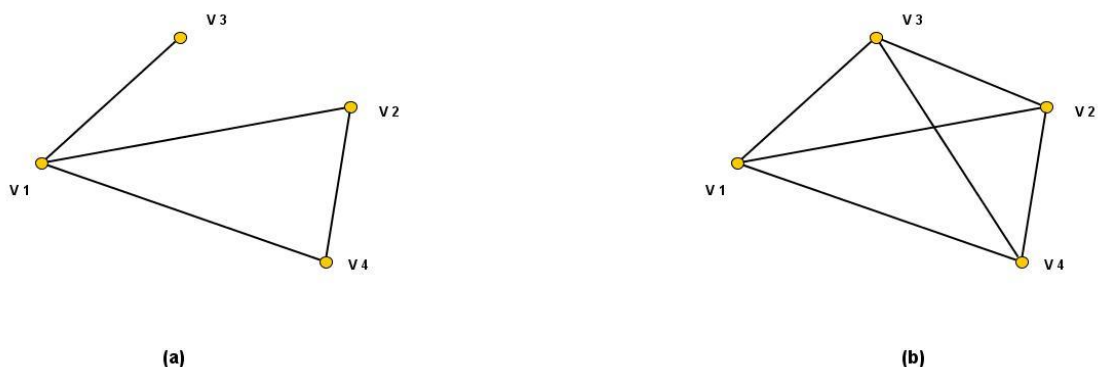
Τα i και j εν γένει είναι διαφορετικά και δεν εί ναι απαραίτητο να υπάρχουν όλες οι τιμές τους από το K στα ζεύγη (v_i, v_j) . Επίσης τα ζεύγη (v_i, v_j) δεν είναι εν γένει διατεταγμένα. Οι περιπτώσεις $i=j$ καθώς και κάποια ή όλα τα (v_i, v_j) να είναι διατεταγμένα οδηγούν σε υπαρκτές ανάγκες προβλημάτων.

Τα στοιχεία v_μ με $\mu \in K$ ονομάζονται **κορυφές (vertices ενικ. vertex)** ή **κόμβοι (nodes)** του γράφου ενώ τα ζεύγη (v_i, v_j) ονομάζονται **πλευρές (sides)**, **χορδές (strings)**, **ακμές (edges)**, **γραμμές (lines)** και **δεσμοί (bonds)**. Εδώ θα χρησιμοποιούμε για τα $v_i, v_j \dots$ την ονομασία **κόμβοι (nodes)**, ενώ για τα ζεύγη (v_i, v_j) την ονομασία **δεσμοί (bonds)**. Το σύνολο E περιέχει την πληροφορία ποιοί από τους κόμβους ενώνονται με δεσμούς.

Οι γράφοι μπορούν να απεικονίζονται γεωμετρικώς εφ' όσον σημειωθούν στο χώρο. Αν η απεικόνιση των κόμβων και των δεσμών τους γίνεται σε ένα επίπεδο με βάση τον ορισμό (1), έχουμε να κάνουμε με ένα επίπεδο γράφο. Στην απεικόνιση αυτή δεν έχει σημασία η ακριβής θέση των κόμβων επάνω στο επίπεδο. Αλλαγή των θέσεων των κόμβων οδηγεί σε **ισόμορφα γραφήματα**.

Για παράδειγμα σε συμφωνία με τον ορισμό 1, ο ακόλουθος γράφος:

$$G=\{\{v_1, v_2, v_3, v_4\}, \{(v_1, v_2), (v_1, v_3), (v_2, v_4), (v_1, v_4)\}\}$$



Σχ. 2

απεικονίζεται στο σχήμα 2a, ενώ στο Σχ. 2b έχουν προστεθεί τα ζεύγη (v_3, v_2) και (v_3, v_4) .

Ενας γράφος με $G = \{V, E\}$ όπου τα ζεύγη $(v_i, v_j) \in E$ και $v_i, v_j \in V$ ονομάζεται πλήρης όταν ο κάθε κόμβος του ενώνεται με κάθε άλλο κόμβο του γράφου. Ο γράφος του Σχ.2b είναι π.χ. πλήρης, ενώ αυτός του Σχ. 2a δεν είναι.

Σε ένα γράφο μπορούμε να φθάσουμε από ένα κόμβο σε έναν άλλο ακολουθώντας ένα ή περισσότερους δεσμούς. Συνήθως υπάρχουν περισσότερες τέτοιες δυνατότητες μερικές φορές όμως δεν υπάρχει καμία.

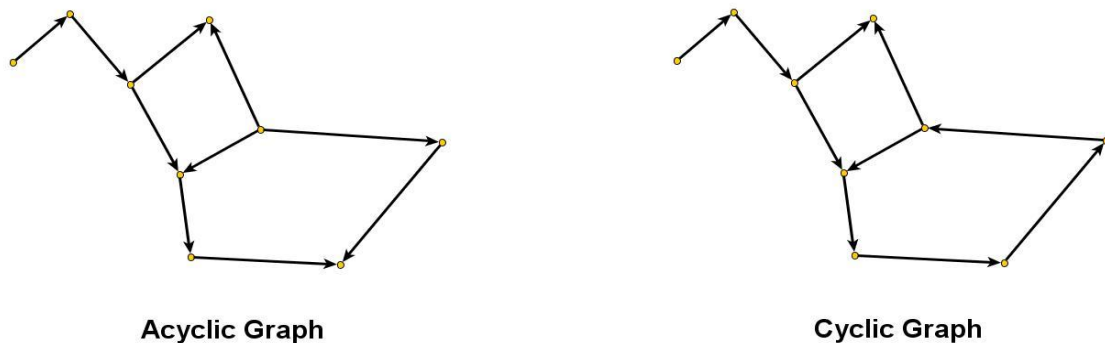
Οι δυνατότητες μεταβάσεως από ένα κόμβο σε ένα άλλο διά μέσου των δεσμών του γράφου ονομάζονται **μονοπάτια (Paths)**, εφόσον σε όλη τη διαδρομή ο κάθε κόμβος εμφανίζεται μία μόνο φορά. **Μήκος** του μονοπατιού ονομάζεται ο αριθμός των δεσμών τους οποίους περιέχει. Όταν ένα μονοπάτι από ένα κόμβο σε ένα άλλον έχει μήκος 1 τότε οι κόμβοι είναι **γειτονικοί (Adjacent)**. Όταν η διαδρομή ονομάζεται **δρόμος**, τότε επιτρέπεται η πολλαπλή διέλευση από έναν κόμβο.

Αν τα ζεύγη (v_i, v_j) είναι διατεταγμένα τότε επιτρέπεται μόνο η μετάβαση από τον κόμβο v_i στον v_j και όχι αντιστρόφως. Στη γεωμετρική απεικόνιση αυτού του δεσμού, ενώνουμε στο γράφημα τους κόμβους v_i, v_j με ένα βέλος, του οποίου η αιχμή είναι στον κόμβο v_j . Στην περίπτωση αυτή ο δεσμός (v_i, v_j) ονομάζεται και **τόξο (Arc)** ενώ η διαδρομή η οποία περιέχει ένα τόξο ονομάζεται **ημιδιαδρομή**.

Ο γράφος του οποίου όλα τα ζεύγη είναι διατεταγμένα ονομάζεται **διευθυνόμενος ή κατευθυνόμενος (Directed)**. Αντιθέτως αν επιτρέπεται αμφίπλευρη μετάβαση ο γράφος ονομάζεται **μη διευθυνόμενος**. Ο διευθυνόμενος γράφος ονομάζεται και **διαγράφημα (Diagraph)**

Σε ένα μη διευθυνόμενο γράφο δύο κόμβοι ονομάζονται **συνδεδεμένοι (Connected)** αν υπάρχει μέσα στο γράφο μονοπάτι το οποίο τους συνδέει σε αντίθετη περίπτωση ονομάζονται **μη συνδεδεμένοι (Disconnected)**. Αν κάθε ζεύγος στο γράφο είναι συνδεδεμένο τότε και ο γράφος ονομάζεται **συνδεδεμένος (Connected)**.

Ακυκλικό (Acyclic) ονομάζουμε ένα διευθυνόμενο γράφο, όταν δεν υπάρχει μονοπάτι, το οποίο να επιτρέπει ύπαρξη διαδρομής, η οποία ξεκινάει από ένα κόμβο και επιστρέφει σε αυτόν. Παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 2c. Ακυκλικούς διευθυνόμενους γράφους χρησιμοποιούμε στο κεφάλαιο 4 για την παράσταση του σιδηροδρομικού δικτύου.



Σχ. 2c

Σε ένα γράφο με $G = \{V, E\}$ όπου τα ζεύγη $(v_i, v_j) \in E$ και $v_i, v_j \in V$, και $i, j \in \mathbb{N}$ ένα σύνολο από μονοπάτια ονομάζεται **διαζευγμένων κόμβων (Vertex Disjoint)**, όταν δεν υπάρχουν δύο από αυτά, τα οποία να έχουν κοινούς κόμβους. Για ένα τέτοιο σύνολο από μονοπάτια λέμε ότι υπάρχει **κάλυψη μονοπατιών (Path Cover)**, όταν καλύπτουν όλους τους κόμβους του V . Την αρχή των μονοπατιών αυτών την ονομάζουμε **πηγή (Source)** και το τέλος **κατάληξη (sink)**. Ένας τέτοιος διευθυνόμενος γράφος, ο οποίος περιέχει αποκλειστικές μονοπάτια διαζευγμένων κόμβων φαίνεται στο σχήμα 4. Στο ίδιο σχήμα είναι εμφανής και ο ρόλος των **πηγών (sources)** και των **καταλήξεων (sinks)**. Γενικώς οι κόμβοι **πηγές** έχουν μόνο εξερχόμενα, ενώ οι κόμβοι **καταλήξεις** έχουν μόνο εισερχόμενα βέλη.

Οι γράφοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ευρύτατο φάσμα προβλημάτων για δημιουργία μαθηματικών μοντέλων και χρήση αλγορίθμων. Μία κατηγορία εξ αυτών των προβλημάτων είναι η απεικόνιση και μελέτη δικτύων γενικώς. Έτσι π.χ. όταν εφαρμόζονται σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο οι κόμβοι συμβολίζουν τα Τηλεφωνικά Κέντρα ενώ οι δεσμοί τις συνδέσεις μεταξύ τους. Σε αεροπορικά δίκτυα οι κόμβοι είναι τα αεροδρόμια και οι δεσμοί είναι οι αεροπορικές συνδέσεις. Ακόμη ένα οδικό δίκτυο μπορεί να παρασταθεί με κόμβους οι οποίοι παριστάνουν τις πόλεις ενώ οι δεσμοί παριστάνουν τις οδούς που τις συνδέουν. Στην παρούσα εργασία θα παραστήσουμε τα σιδηροδρομικά δίκτυα με γράφους όπου π.χ. οι κόμβοι είναι σιδηροδρομικοί σταθμοί ενώ δεσμοί είναι οι γραμμές με τις οποίες συνδέονται αυτοί. Στην ίδια περίπτωση δεσμοί θα μπορούσαν να είναι και τα ισχύοντα δρομολόγια. Επίσης κόμβοι θα μπορούσαν να παριστάνουν διάφορα γεγονότα (π.χ. στάσεις) και χρονικές διάρκειες από το ένα στο άλλο.

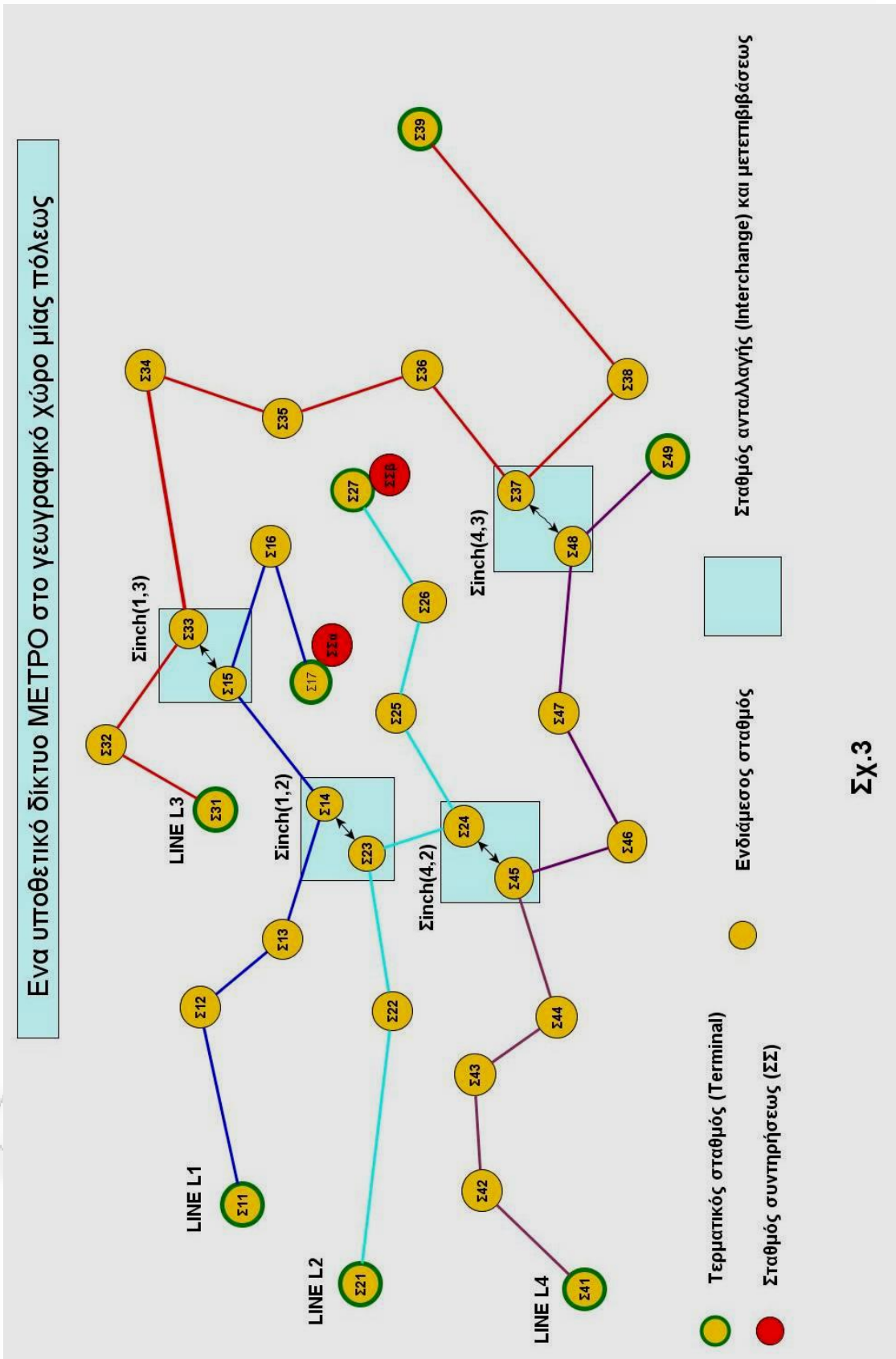
Τα ανωτέρω θα χρησιμεύσουν για την μαθηματική απεικόνιση του προβλήματος της προληπτικής συντηρήσεως στο δίκτυο μιας σιδηροδρομικής εταιρείας, όπου σε βασικές γραμμές γίνεται χρήση μοντέλων γράφου, παρομοίων με αυτά που προτείνονται στα [1], [3] και [4] (βλέπε βιβλιογραφικές σημειώσεις).

Ακολούθως θα εξετάσουμε διάφορες εκδοχές απεικόνισης σιδηροδρομικών δικτύων μέσω γράφων.

4.2 Διάφορες εκδοχές γραφημάτων σιδηροδρομικών δικτύων

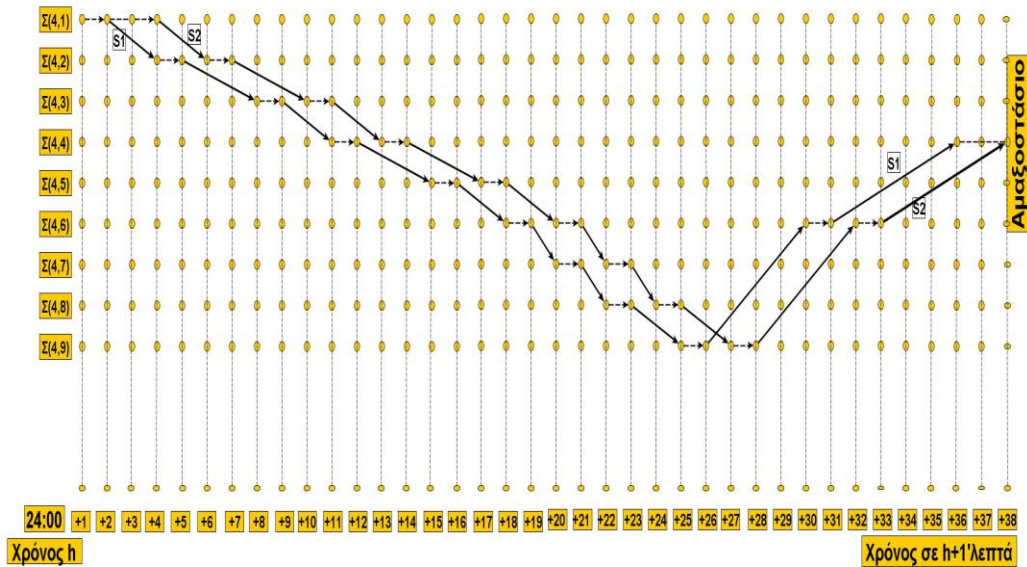
Η πλέον προφανής εφαρμογή είναι αυτή στην οποία οι σταθμοί παρίστανται με τους κόμβους, ενώ τα τμήματα των σιδηροτροχιών μεταξύ των σταθμών είναι οι δεσμοί του γράφου. Αν οι δεσμοί έχουν ανάλογο μήκος με τις πραγματικές διαδρομές, τότε αυτή η απεικόνιση αποδίδει την πραγματικότητα του φυσικού χώρου και είναι επομένως άμεσα κατανοητή, δίνοντας καλύτερα την εποπτική εικόνα του δικτύου. Όμως αποτελεί μία στατική εικόνα του δικτύου και είναι δύσκολο να αξιοποιηθεί ως μοντέλο για μελέτη μέσω αλγορίθμων όπου μπορεί να εμπλέκεται εκτός του χώρου και ο χρόνος. Παράδειγμα μίας τέτοιας απεικόνισης γνωρίσαμε ήδη στο σχήμα 1. Άλλο ένα παράδειγμα είναι το σχήμα 3.

Στο Σχ. 3 είναι σχεδιασμένο με τη βοήθεια γράφου ένα υποθετικό δίκτυο ενός ΜΕΤΡΟ μίας πόλεως, όπου είναι εμφανείς οι τέσσερις γραμμές που το αποτελούν. Καθε γραμμή τερματίζεται με ένα τερματικό σταθμό. Οι γραμμές L1 και L2 διαθέτουν στον ένα τερματικό σταθμό τους από έναν σταθμό συντηρήσεως. Στο δίκτυο είναι επίσης εμφανείς οι σταθμοί ανταλλαγής $Sinch(m, n)$, όπου m και n υποδηλώνουν ότι στο σταθμό συμβάλλουν οι γραμμές L_m και L_n αντιστοίχως. Αυτό το γράφημα θα αποτελέσει για τα παρακάτω μία υποθετική βάση για την παρουσίαση της εργασίας.



Στό σχήμα 5β εφαρμόζεται αυτό το μοντέλο στη γραμμή L4 του σχήματος 3 με τους σταθμούς της $\Sigma(4,1)$, $\Sigma(4,2)$,... $\Sigma(4,9)$. Έτσι προκύπτει ο γράφος όπου απεικονίζονται δύο δρομολόγια τα οποία είναι όμοια με διαφορά 2' και εκτελούνται από τους συρμούς S1 και S2 στην ίδια γραμμή. Επειδή είναι τα τελευταία δρομολόγια της ημέρας οι δύο συρμοί μετά την εκτέλεση των δρομολογίων τους αποσύρονται στον σταθμό $\Sigma(4,4)$, ο οποίος είναι το αμαξοστάσιο.

Παράσταση δικτύου με γράφο στο χρόνο αναφορικά με τους σταθμούς της γραμμής 4



S1, S2 : Συρμοί

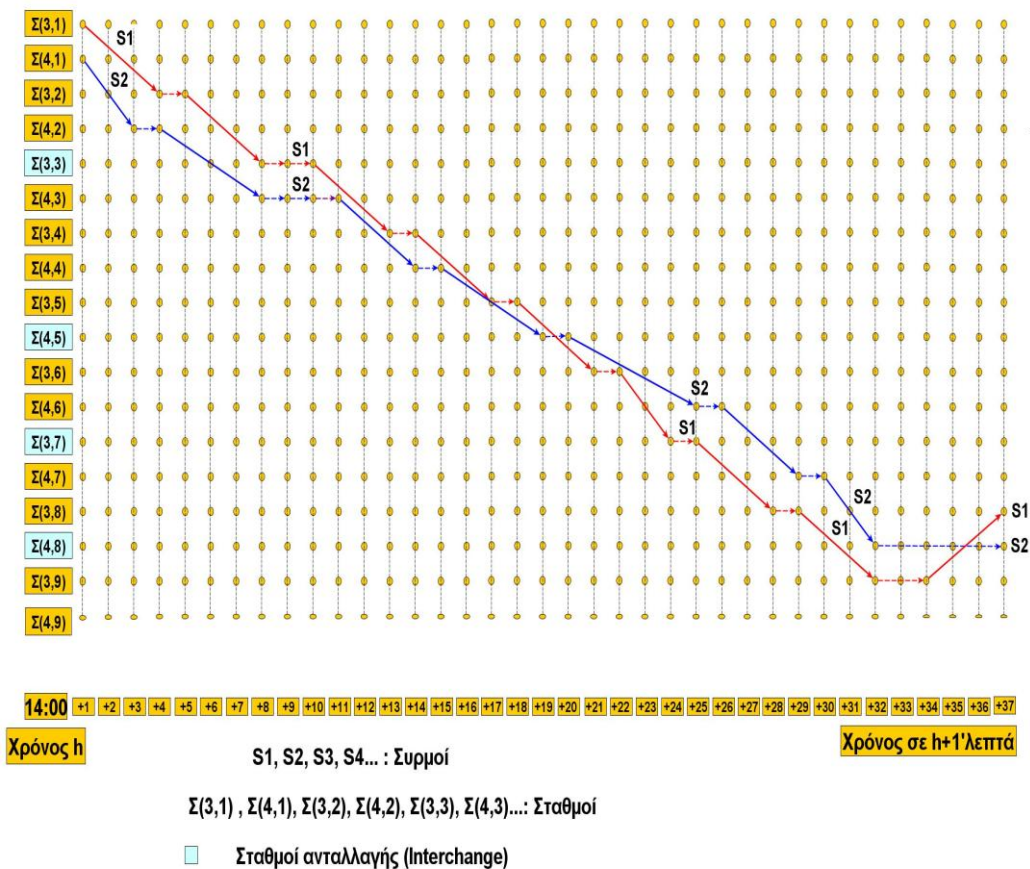
$\Sigma(4,1)$, $\Sigma(4,2)$... $\Sigma(4,8)$, $\Sigma(4,9)$: Σταθμοί

Σχ. 5β

Στο επόμενο σχήμα 5γ απεικονίζονται δύο γραμμές L3, L4 του Σχ. 3 και δύο συρμοί S1, S2 αντιστοίχως, ένας σε κάθε γραμμή. Στο ίδιο σχήμα βλέπουμε τα προγραμματισμένα δρομολόγια των συρμών S1 και S2. Στις 14:01 ξεκινάει ο S1 από το σταθμό Σ(3,1) και στις 14:37 φθάνει στο σταθμό Σ(3,8) ακολουθώντας πάντα τη γραμμή L3, ενώ την ίδια στιγμή, ο S2 ξεκινάει από το σταθμό Σ(4,1) και φθάνει στο σταθμό Σ(4,8) στις 14:32, όπου μένει στάσιμος, έχοντας ακολουθήσει πάντα τη γραμμή L4..

Παράσταση δικτύου με γράφο στο χρόνο αναφορικά με τους σταθμούς

Προγραμματισμένο δρομολόγιο των συρμών S1 και S2

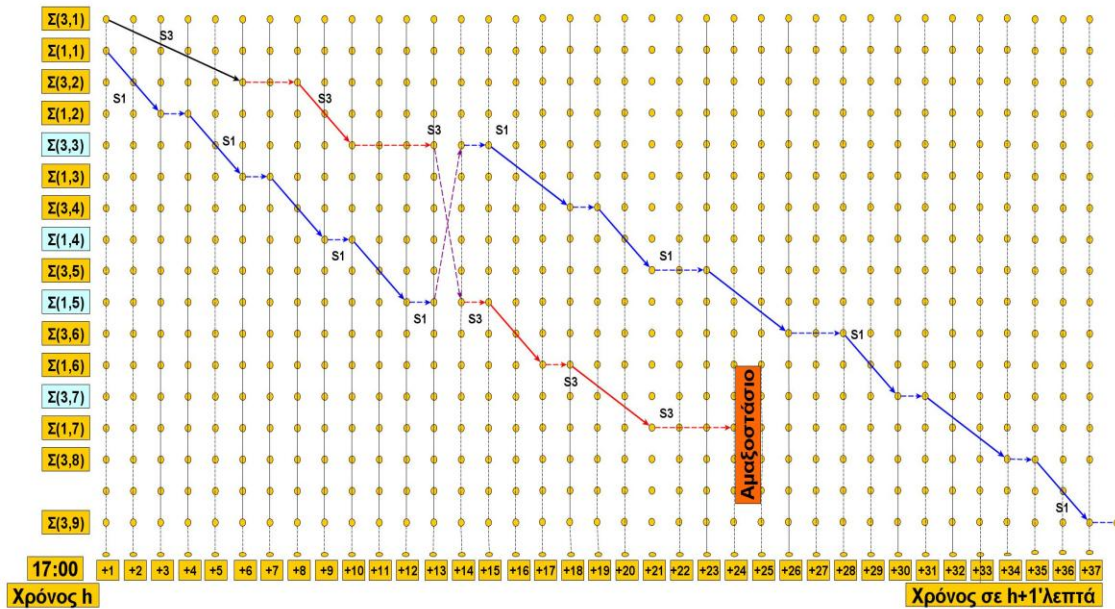


Σχ. 5γ

Στο Σχ. 5δ ξεκινούν οι συρμοί S1, S3 από τις γραμμές L3, L1 ταυτοχρόνως. Ο Συρμός S3 φθάνει στο σταθμό Σ(3,2) στις 17:06 και έχει συμπληρώσει το χιλιομετρικό όριο συντηρήσεως και επομένως πρέπει να οδηγηθεί στο αμαξοστάσιο για την προληπτική συντήρηση. Όμως η γραμμή L3 στην οποία κινείται, όπως βλέπουμε στο υποθετικό δίκτυο του Σχ. 3, δεν διαθέτει αμαξοστάσιο (ΣΣ) και επομένως ο S3 πρέπει να μεταφερθεί στη γραμμή L1 η οποία διαθέτει. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή δρομολογίου με τον S1. Αυτό συμβαίνει μεταξύ των σταθμών Σ(3,3) και Σ(1,5), οι οποίοι συστεγάζονται σε ένα σταθμό μετεπιβίβασης και ανταλλαγής και είναι ο κοντινότερος σταθμός ανταλλαγής. Έτσι στις 17:21 φθάνει ο S3 στο σταθμό Σ(1,7) και σε 3' εναποτίθεται για συντήρηση στο αμαξοστάσιο.

Παράσταση δικτύου με γράφο στο χρόνο αναφορικά με τους σταθμούς

Δρομολόγηση των συρμών S3 και S1 μετά από ανταλλαγή (Interchange) μεταξύ των γραμμών L3 και L1



S3, S1 : Συρμοί

Σχ. 55

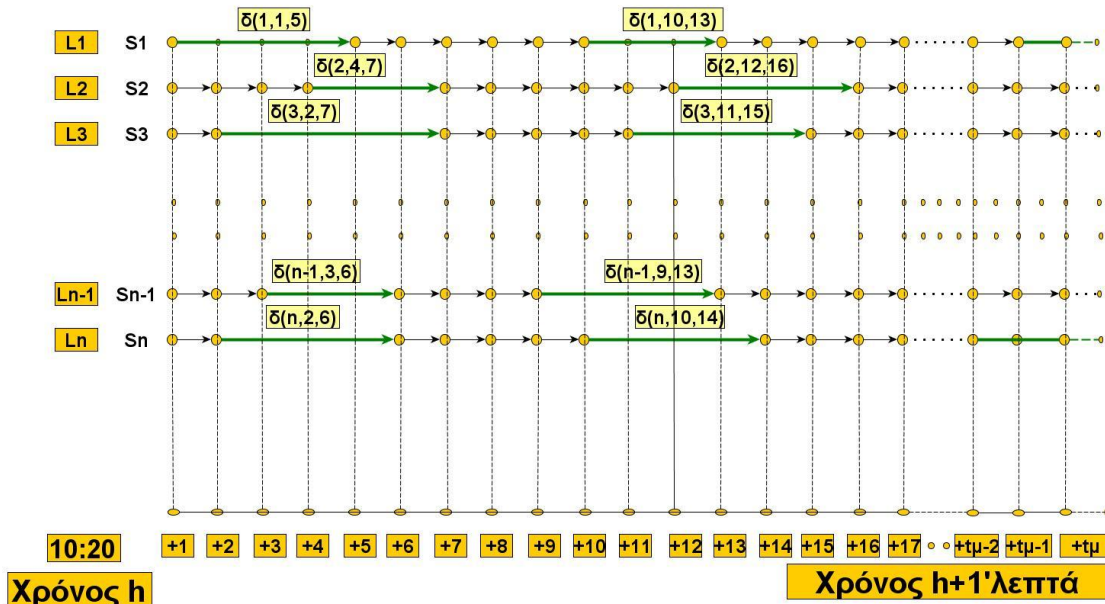
Σ(1,1), Σ(3,1), Σ(1,2), Σ(3,2), Σ(1,3), Σ(3,3)... : Σταθμοί

□ Σταθμοί ανταλλαγής (Interchange)

Άλλη μία δυνατότητα απεικόνισης βρίσκουμε στο σχήμα 6 (βλέπε και [1]), το οποίο είναι επίσης απεικόνιση του δικτύου στο χρόνο. Σ' αυτό το μοντέλο εμφανίζονται τα δρομολόγια τα οποία προβλέπεται να πραγματοποιήσει ένας συρμός σε μία γραμμή στην παρατηρούμενη χρονική περίοδο. Με άλλα λόγια μπορεί κανείς να δει με μία ματιά, για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ποια δρομολόγια εκτελούνται (έναρξη και λήξη), σε ποιές γραμμές και από ποία τράινα.

Στο γράφημα παριστάνονται οι γραμμές με L_i με $i = 1, 2, 3, \dots, (n-1), n$. Με την απλοποιητική προϋπόθεση, ότι σε κάθε γραμμή κινείται ένας συρμός, τα αντίστοιχα σύμβολα για τους συρμούς είναι S_i με $i \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$. Τα παχιά (πράσινα) βέλη παριστούν τα δρομολόγια (**Tasks**) που έχει να πραγματοποιήσει ένας συρμός μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών. Αυτά προσδιορίζονται από τρεις παραμέτρους $(m, (n, r))$ ή απλώς (m, n, r) . Το m αντιστοιχεί στη γραμμή όπου πραγματοποιείται το δρομολόγιο και το (n, r) είναι ένα διατεταγμένο ζεύγος το οποίο δίνει την αρχή και το τέλος του δρομολογίου (επομένως και τη διάρκειά του σε 1'). Ετσι τα δρομολόγια μεταξύ δύο διαδοχικών σταθμών, στρογγυλοποιούνται σε ακέραια 1' και αρχίζουν πάντοτε από κόμβο του γράφου δηλ. στην αρχή κάποιου 1' και επομένως περατούνται σε κάποιο κόμβο. Αυτό χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τη γενικότητα του μοντέλου διευκολύνει τη σχεδίαση και τη χρήση μεθόδων διακριτών μαθηματικών. Επίσης θα συμβολίζουμε τα δρομολόγια αυτά με $\delta(m, n, r)$, όπου m, n και r έχουν τη σημασία που αναφέρθηκε πιο πριν.

Γράφημα γενικού μοντέλου σιδηροδρομικού δικτύου



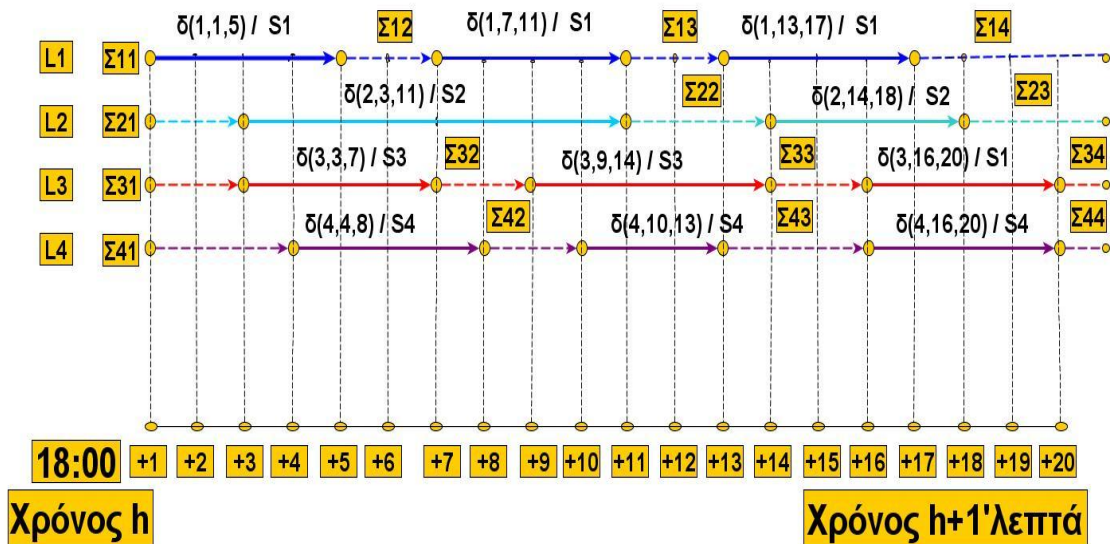
Σχ. 6

Οι κόμβοι κατά τη διάρκεια των δρομολογίων αφαιρούνται ως μη έχοντες άλλη φυσική σημασία από το να παριστάνουν χρονικές στιγμές που απέχουν 1' και από τις οποίες διέρχεται ένας συρμός κατά την εκτέλεση του δρομολογίου του. Οι δεσμοί μεταξύ των δρομολογίων έχουν τη φορά του χρόνου (**Arcs**) και δηλώνουν διάρκειες παραμονής του συρμού σε ένα σταθμό ενώ οι κόμβοι μεταξύ των δρομολογίων έχουν τη σημασία ενδεχομένων στιγμών εκκινήσεως κάποιας αλλαγής του προγραμματισμένου δρομολογίου ή απλώς χρονικών στιγμών ακινησίας ενός συρμού. Όπως θα δούμε ακολούθως, τέτοιο συμβάν είναι π.χ. η στιγμή εκκινήσεως μίας αλλαγής γραμμής του συρμού, αν ο κόμβος αυτός αφορά σε συρμό ο οποίος ευρίσκεται σε σταθμό ανταλλαγής (**Interchange Station**). Για την καλύτερη κατανόηση του γραφήματος του σχήματος 6 θεωρούμε την γραμμή L2, όπου βλέπουμε ότι ο συρμός S2 σταθμεύει στην αφετηρία έως τις 10:24, εκτελεί μία πορεία 3' έως τον επόμενο σταθμό, όπου σταθμεύει για 5' και συνεχίζει έως τις 10:36, οπότε φθάνει στον επόμενο σταθμό κλπ.

Σημειώνουμε, ότι ο χρόνος στο γράφημα τρέχει αδιαλείπτως από κόμβο σε κόμβο ανά ένα πρώτο λεπτό, για όλα τα τρένα είτε κινούνται είτε σταθμεύουν. Σημειώνουμε επίσης ότι το πέρας ενός βέλους δρομολογίου και η αρχή ενός άλλου στην ίδια γραμμή είναι τα συμβάντα αφίξεως και αναχωρήσεως ενός συρμού σε ένα συγκεκριμένο σταθμό.

Στο Σχ. 7 βλέπουμε μία ειδική περίπτωση του τελευταίου γραφήματος για n=4. Ειδικώς έχει μετασχηματισθεί το γράφημα του σχήματος 3 βάσει του μοντέλου του σχήματος 6. Για την ευχερέστερη κατανόηση του δίδεται ένα παράδειγμα. Στο σταθμό S3 παραμένει στάσιμος ο συρμός S3 έως τις 18:03. Τότε αναχωρεί και μετά πορεία 4' φθάνει στο σταθμό S4 όπου παραμένει έως τις 18:09 οπότε αναχωρεί και μετά πορεία 5' επιστρέφει στο σταθμό S3 όπου παραμένει 2' και συνεχίζει για το σταθμό S2 όπου φθάνει στις 18:20. Επάνω από τους δεσμούς, οι οποίοι παριστάνουν τα δρομολόγια έχει σημειωθεί ο συρμός που τα εκτελεί και τα στοιχεία του δρομολογίου (έναρξη-λήξη / συρμός

Εφαρμογή του μοντέλου του Σχ.6



L1, L2, L3, L4 : Γραμμές
 Si: Συρμίοί
 Σij: Σταθμοί
 $\delta(i,j,r)$:Tasks

Σχ. 7

5. Το πρόβλημα της προληπτικής συντήρησης συρμών

Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή, ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη λειτουργία των σιδηροδρομικών εταιρειών είναι η συντήρηση. Επειδή στην προκειμένη περίπτωση, λόγω του ότι πρόκειται για κοινωνικό μέσο μαζικής μεταφοράς και η ασφάλεια είναι υψίστης σημασίας, η ελλιπής συντήρηση είναι δυνατόν να έχει σοβαρές συνέπειες διότι μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες και ατυχήματα. Γι' αυτό δεν περιμένει κανείς να διαπιστωθεί βλάβη αλλά διενεργείται προληπτική συντήρηση. Η συντήρηση αυτή, αφορά στο δίκτυο και στους συρμούς. Εδώ θα ασχοληθούμε με την προληπτική συντήρηση των συρμών. Έχει καθιερωθεί, αναλόγως της πολιτικής της κάθε εταιρείας, ο κάθε συρμός ο οποίος έχει συμπληρώσει ένα συγκεκριμένο αριθμό χιλιομέτρων (π.χ. 60000 km) να οδηγείται σε ειδικούς σταθμούς συντηρήσεως οι οποίοι είναι καταμελημένοι στο δίκτυο, έτσι ώστε να είναι προσβάσιμοι από όλους τους συρμούς. Η δρομολόγηση προς τους σταθμούς αυτούς πραγματοποιείται συνήθως με τους εξής τρόπους.

- α. Ο συρμός οδηγείται με δική του κινητήρια δύναμη αλλά κενός (**Empty ride ή deadheading ride**) προς τον πλησιέστερο σταθμό συντηρήσεως.
- β. Ο συρμός προσκολλάται σε ένα προγραμματισμένο δρομολόγιο ενός άλλου συρμού (**Piggy-back ride**) και ρυμουλκείται προς κάποιον σταθμό συντηρήσεως στον οποίο κατευθύνεται το δρομολόγιο του ρυμουλκούντος συρμού.
- γ. Ο συρμός οδηγείται με δική του κινητήρια ικανότητα στον πλησιέστερο σταθμό συντηρήσεως μέσω ανταλλαγής προγραμματισμένων δρομολογίων με άλλους συρμούς (**Interchange rides**).

Αυτή την τελευταία μέθοδο, θα την αναλύσουμε λεπτομερέστερα παρακάτω. Σημειώνουμε όμως ότι την πλέον απλή περίπτωση, όπου ο συρμός ο οποίος δηλώνεται άμεσα συντηρητέος και υπάρχει στο τέλος ή στην αρχή του δρομολογίου του ΣΣ, την θεωρούμε τετριμμένη και δεν θα μας αποσπολήσει περισσότερο από το να την εντάξουμε απλώς στο γενικό μοντέλο. Αναφέρουμε μόνον ότι ο συρμός αυτός θα εκτελέσει όλο το δρομολογίο του και θα οδηγηθεί χωρίς άλλη διαδικασία προς την μία ή την άλλη φορά της γραμμής του στον ΣΣ. Τα δρομολόγια των άλλων συρμών δεν επηρεάζονται και εκτελούνται όπως έχουν προγραμματισθεί στον τακτικό προγραμματισμό (*regular plan*). Συρμοί που αποσύρονται για συντήρηση, αντικαθίστανται εν γένει από άλλους εφεδρικούς προκειμένου να συνεχίσουν να ισχύουν τα προγραμματισμένα δρομολογία τους.

5.1 Προληπτική συντήρηση μέσω ανταλλαγής των προγραμματισμένων δρομολογίων μεταξύ συρμών.

Ακολούθως θα εξετάσουμε την τρίτη περίπτωση οδήγησης του προς συντήρηση συρμού στον προορισμό του, την οποία αναφέραμε ανωτέρω. Υποτίθεται ότι κατά τη σχεδίαση του δικτύου και βάσει της προβλεπόμενης ζήτησης έχει καθορισθεί ο αναγκαίος τροχαίος εξοπλισμός (αριθμός, μέγεθος σύνθεση και είδος συρμών κλπ. ο οποίος βεβαίως προσαρμόζεται με τον χρόνο στις νέες ανάγκες) καθώς και η προβλεπόμενη χρήση τους. Με αυτά τα δεδομένα μπορεί να προβλεφθεί, με μεθόδους της θεωρίας κινήσεως και ουράς (*Traffic and Queuing theory*) ο απαραίτητος αριθμός σταθμών συντηρήσεως και η κατανομή τους μέσα στο δίκτυο. Είναι φανερό ότι δεν χρειάζεται κάθε γραμμή να έχει το δικό της σταθμό συντηρήσεως, αλλά είναι πολύ οικονομικότερο να υπάρχει ένας κοινόχρηστος τέτοιος σταθμός για περισσότερες γραμμές. Από την άλλη πλευρά πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη, ώστε να είναι αυτοί οι σταθμοί προσβάσιμοι από όλους τους συρμούς ή ο κάθε συρμός να έχει πρόσβαση σε ένα τουλάχιστον από αυτούς. Αυτή η πρόβλεψη λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τη φάση σχεδίασεως του δικτύου, ώστε στις διασταυρούμενες γραμμές του να υπάρχουν σταθμοί, οι οποίοι επιτρέπουν την ενδεχόμενη μετάβαση των συρμών από τη μία γραμμή στην άλλη. Αυτοί οι σταθμοί είναι σταθμοί ανταλλαγής και συνήθως και μετεπιβίβασεως επιβατών σε άλλες γραμμές. Έτσι όταν προκύπτει ένας συρμός ο οποίος χρειάζεται συντήρηση και η γραμμή στην οποία κινείται δεν οδηγεί απ' ευθείας σε σταθμό συντηρήσεως, να μπορεί μέσω τέτοιων αλληλοδιαδόχων αλλαγών γραμμής να εξυπηρετηθεί. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζεται συνήθως ανταλλαγή των δρομολογίων δύο συρμών, ενός που χρειάζεται να δρομολογηθεί προς ένα σταθμό συντηρήσεως και ενός άλλου που προς το παρόν δεν χρειάζεται. Έτσι ο προς συντήρηση συρμός, αναλαμβάνει διαδοχικώς δρομολόγια άλλων συρμών, τα οποία θα τον οδηγήσουν τελικώς σε σταθμό συντηρήσεως. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η διακίνηση του συρμού έως τον σταθμό συντηρήσεως χωρίς επιβάτες, αξιοποιώντας μέρος των προγραμματισμένων δρομολογίων άλλων συρμών. Είναι φανερό ότι αυτή η μέθοδος απαιτεί τροποποίηση του σχεδιασμού των τακτικών προγραμματισμένων δρομολογήσεων (*Regular plan*) κατά τρόπο πολλές φορές απρόβλεπτο, ιδίως σε μεγάλα σιδηροδρομικά δίκτυα με πολλούς συρμούς σε κίνηση, και καθιστά το ήδη πολύπλοκο πρόβλημα της δρομολογήσεως ακόμη δυσκολότερο. Από ότι φαίνεται και από την σχετική βιβλιογραφία, η θεωρία δεν προτείνει άριστη λύση, αλλά ένα σύνολο εφικτών λύσεων και η τελική επιλογή προκύπτει από τις δυνατότητες που έχει το αρμόδιο προσωπικό των σταθμών (*Shunting and rolling stock crew*). Δηλαδή η όλη διαδικασία που ακολουθείται από τις εταιρείες είναι διαδραστική (*Interactive, Semi-automatic*) [1]. Όταν ο συρμός φθάσει στο σταθμό συντηρήσεως, δεσμεύεται για κάποιο χρονικό διάστημα, αναλόγως από το είδος συντηρήσεως που πρόκειται να υποστεί και προσωρινώς αποσύρεται από την κυκλοφορία. Τα δρομολόγια τα οποία θα έκανε στη συνέχεια πρέπει να αναληφθούν από άλλους συρμούς. Αυτό το πρόβλημα δεν είναι αντικείμενο της παρούσης εργασίας αλλά πολλές εταιρείες διατηρούν στους σταθμούς συντηρήσεως επαρκείς εφεδρικές μονάδες συρμών, οι οποίες αντικαθιστούν άμεσα τον αποσυρόμενο συρμό.

Ακολούθως θα παρουσιασθεί ο τρόπος που πραγματοποιούνται αυτές οι ανταλλαγές, βάσει των μοντέλων τα οποία έχουν περιγραφεί στην προηγούμενη παράγραφο.



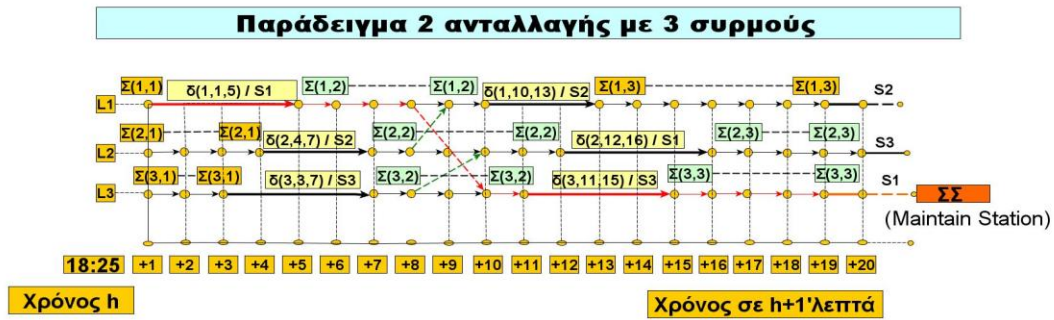
Σχ. 8

$\delta(g,i,j) / S_k$: Διαδρομή στη γραμμή g του συρμού S_k η οποία αρχίζει στις 18:25 +i' και τελειώνει στις 18:25 +j'

- Με κόκκινο, σημειώνεται η διαδρομή στο χώρο και στο χρόνο του συρμού για συντήρηση στον ΣΣ, μετά από δύο ανταλλαγές

Στο σχήμα 8 έχουμε παραστήσει ένα δίκτυο με τρεις γραμμές L1, L2, L3. Μόνο η γραμμή L3 έχει σταθμό συντηρήσεως. Οι $\Sigma(1,2)$ της γραμμής L1 και $\Sigma(2,2)$ της γραμμής L2, οι οποίες διασταυρώνονται σ' αυτό το σημείο, είναι σταθμοί ανταλλαγής και συστεγάζονται. Το ίδιο και οι σταθμοί $\Sigma(2,3)$ της Γραμμής L2 και $\Sigma(3,3)$ της γραμμής L3. Θεωρούμε μία περίοδο παρατηρήσεως από 18:26 έως 18:45. Σ' αυτή την περίοδο, σε κάθε μία από αυτές τις γραμμές κινείται από ένας συρμός S1, S2, και S3 αντιστοίχως. Στη γραμμή L1 προβλέπεται βάσει του προγράμματος δρομολογίων να κινηθεί ο συρμός S1. Όμως μετά τις 18:26 συμπληρώνει το προβλεπόμενο όριο χιλιομέτρων μετά το οποίο πρέπει να μεταβεί για προληπτική συντήρηση. Η γραμμή L1 δεν διέρχεται ούτε καταλήγει σε σταθμό συντηρήσεως, άρα ο S1 πρέπει να κάνει μία σειρά από ανταλλαγές δρομολογίων με άλλους συρμούς για να καταλήξει στην L3 όπου υπάρχει σταθμός συντηρήσεως. Αναλυτικώς ο S1 αναχωρεί από το σταθμό Σ1, έχοντας μόλις ξεπεράσει το όριο χιλιομέτρων, πραγματοποιεί το δρομολόγιο $\delta(1,1,5)$ και φθάνει στο σταθμό $\Sigma(1,2)$, όπου παραμένει έως τις 18:33, οπότε πραγματοποιεί ανταλλαγή δρομολογίων με τον S2. Ο S2 χρειάζεται 1' για να μεταβεί στη γραμμή L1 όπου μετά από 1' αναλαμβάνει να εκτελέσει το δρομολόγιο $\delta(1,10,13)$ το οποίο ήταν προγραμματισμένο να εκτελέσει ο S1. Ο S1 πραγματοποιεί τη μετάβαση στη γραμμή L2 στις 18:33 και μετά από 2' στο σταθμό $\Sigma(2,2)$, αναλαμβάνει το δρομολόγιο $\delta(2,12,16)$, το οποίο προοριζόταν, βάσει του προγράμματος δρομολογίων, για το συρμό S2. Το δρομολόγιο αυτό τον οδηγεί στο σταθμό $\Sigma(2,3)$, ο οποίος συστεγάζεται με το σταθμό $\Sigma(3,3)$ και μαζί αποτελούν **σταθμό ανταλλαγής**. Εκεί συρμός S1 ανταλλάσσει το δρομολόγιό του με τον S3. Έτσι ο S1 βρίσκεται τελικώς στον ΣΣ χωρίς να χυθεί δρομολόγιο ή να υπάρξει κενή διαδρομή. Τη διαδρομή διαμέσου του δικτύου, ενός συρμού ο οποίος πρέπει να συντηρηθεί, προς ένα σταθμό συντηρήσεως, θα την ονομάζουμε εις το εξής **διαδρομή συντηρήσεως**.

Είναι προφανές, ότι η λύση που παρουσιάζεται στο Σχ. 8 δεν είναι η μόνη υπαρκτή. Στο Σχ. 9 παρουσιάζουμε μία άλλη λύση για το ίδιο πρόβλημα η οποία χρησιμοποιεί ένα μόνο σταθμό ανταλλαγής.



Σχ. 9

Σ(i,j) : Σταθμοί ενδιάμεσοι της i γραμμής

Σ(i,j) : Σταθμοί ανταλλαγής

Sk : Συρμοί

δ(g,i,j) / Sk : Διαδρομή στη γραμμή g του συρμού Sk η οποία αρχίζει στις 18:25 +i" και τελειώνει στις 18:25 +j"

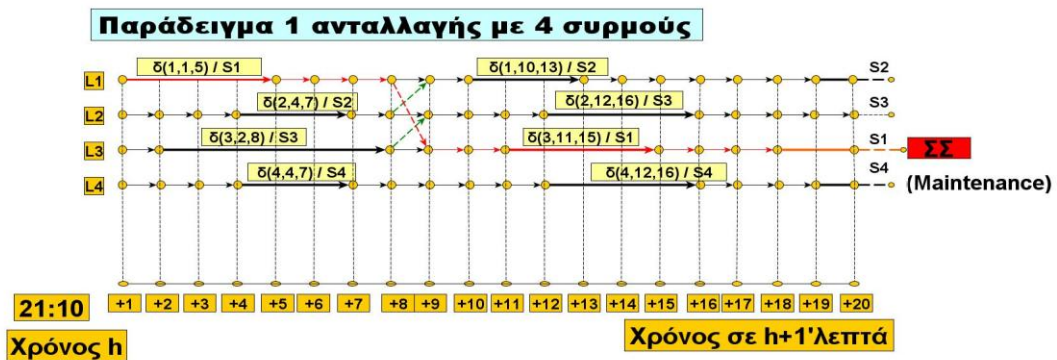
— Με κόκκινο σημειώνεται η διαδρομή στο χώρο, στο χρόνο του συρμού για συντήρηση στον ΣΣ μετά από 2 ανταλλαγές

Στο σχ.9 έχουμε ένα άλλο δίκτυο με 3 γραμμές. Στην γραμμή L3 υπάρχει σταθμός συντηρήσεως. Οι Σ(1,2), Σ(2,2) και Σ(3,2) είναι συστεγασμένοι και αποτελούν τριπλό σταθμό ανταλλαγής ενώ υπάρχει και ένας ακόμη σταθμός ανταλλαγής, ο οποίος αποτελείται από τους Σ(2,3) και Σ(3,3). Εδώ, ο συρμός S1 οδηγείται στο σταθμό συντηρήσεως μετά από ανταλλαγή στον τριπλό σταθμό.

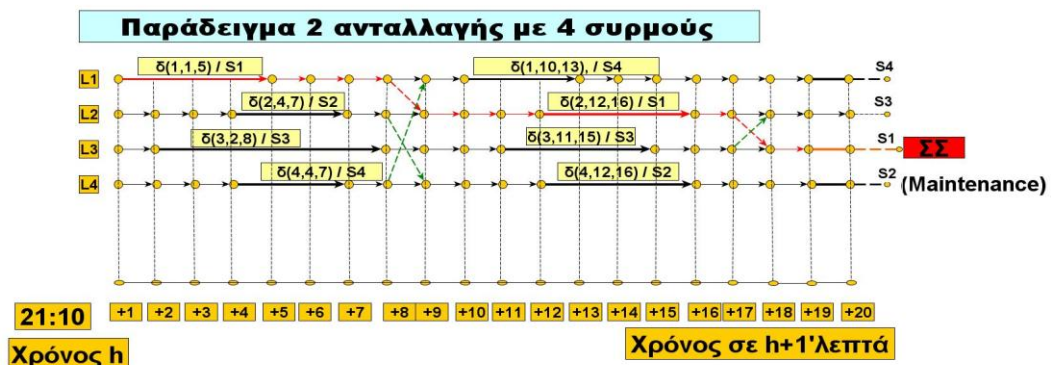
Για να γίνει αντιληπτή η πολυπλοκότητα του προβλήματος και η έκταση των εναλλακτικών λύσεων παραθέτουμε ένα σενάριο αναζητήσεως σταθμού συντηρήσεως ενός συρμού ο οποίος έχει δηλωθεί ως συντηρητέος στο υποθετικό δίκτυο του σχήματος 3. Στο δίκτυο αυτό υπάρχει ο σταθμός συντηρήσεως ΣΣα, στο τέλος της γραμμής L1 και ο ΣΣβ στο τέλος της γραμμής L2. Υπάρχουν και 4 σταθμοί ανταλλαγής Σinch(1,2) Σinch(1,3) Σinch(4,2) και Σinch(4,3)

Εστω ένας συρμός δηλώνεται συντηρητέος στη γραμμή L3. Σε αυτή τη γραμμή δεν έχει άμεση πρόσβαση σε ΣΣ. Άρα πρέπει να αναζητήσει σταθμό ανταλλαγής. Επομένως οδηγείται κατ' αρχάς στον σταθμό ανταλλαγής Σinch(1,3). Από εκεί περνάει στη γραμμή L1 και οδηγείται στον ΣΣα έχοντας χρειασθεί μία ανταλλαγή. Αν αυτό, για κάποιους λόγους, δεν είναι εφικτό ή αν ενδιαφερόμεθα για εναλλακτικές λύσεις, έχει την επιλογή να πραγματοποιήσει εν συνεχεία ανταλλαγή στον Σinch(1,2), οπότε ακολουθώντας τη γραμμή L2 φθάνει στον ΣΣβ έχοντας χρειασθεί δύο ανταλλαγές. Όμως στον ΣΣβ έχει επίσης πρόσβαση, μη πραγματοποιώντας ανταλλαγή στον Σinch(1,3) αλλά συνεχίζοντας τη γραμμή L3 και πραγματοποιώντας ανταλλαγή στον Σinch(4,3) και εν συνεχεία στον Σinch(4,2) ακολουθώντας μετά τη γραμμή L2, έχοντας χρειασθεί πάλι δύο ανταλλαγές. Δύο ανταλλαγές χρειάζονται επίσης αν μέσω των σταθμών Σinch(1,3) και Σinch(1,2) περάσουμε στη γραμμή L2 για να οδηγηθούμε στον ΣΣβ. Αν είναι πάλι αναγκαίο να έχει ο συρμός πρόσβαση στον ΣΣα αλλά δεν είναι δυνατή η ανταλλαγή στον Σinch(1,3), είναι δυνατόν να φθάσει σ' αυτόν εκτελώντας ανταλλαγές στους Σinch(4,3), Σinch(4,2), και Σinch(1,2). Στην τελευταία περίπτωση χρειάστηκε τρεις ανταλλαγές.

Τέλος στα σχήματα 9a, 9b παρουσιάζονται παραδείγματα απλής και διπλής ανταλλαγής με 4 γραμμές.



Σχ. 9a



Σχ. 9b

- Πορεία συρμού προς συντήρηση
- Δρομολόγιο ανταλλαγής σε σταθμό ανταλλαγής

Αν θεωρήσουμε το πλήθος των ανταλλαγών ως μέτρο για την κοστολόγηση της μεταβάσεως ενός συρμού σε ΣΣ, ο οποίος έχει δηλωθεί ως συντηρητέος, τότε μπορούμε να καταγράψουμε τις ανωτέρω λύσεις ως ακολουθίες ενδιαμέσων σταθμών σε ένα πίνακα, προκειμένου να κοστολογηθούν με όποια κριτήρια ισχύουν για την κάθε σιδηροδρομική εταιρεία. Τέτοιου είδους λύσεις μπορούν να δοθούν με ή και χωρίς τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστού. Παρακάτω θα δούμε αλγορίθμους οι οποίοι αναζητούν τις καλύτερες λύσεις.

Στον ακόλουθο πίνακα βρίσκουμε 4 εναλλακτικές λύσεις για το συρμό S3 της γραμμής L3, όπως έχουν περιγραφεί λίγο πιο πάνω και αναφέρονται στο υποθετικό δίκτυο του σχ. 3. Με πράσινο έχουν σημειωθεί οι σταθμοί όπου πραγματοποιείται ανταλλαγή.

Γραμμή L3 συρμός S3

Εναλλακτικές διαδρομές συντηρητέου συρμού προς ΣΣ ως σειρά αλληλοδιαδόχων σταθμών μέσα στο δίκτυο																		
1	Σ(3,1)	Σ(3,2)	Σ(3,3)	Σ(1,5)	Σ(1,6)	Σ(1,7)	ΣΣα	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	Σ(3,1)	Σ(3,2)	Σ(3,3)	Σ(1,5)	Σ(1,4)	Σ(2,3)	Σ(2,4)	Σ(2,5)	Σ(2,6)	Σ(2,7)	ΣΣβ	-	-	-	-	-	-	
3	Σ(3,1)	Σ(3,2)	Σ(3,3)	Σ(3,4)	Σ(3,5)	Σ(3,6)	Σ(3,7)	Σ(4,8)	Σ(4,7)	Σ(4,6)	Σ(4,5)	Σ(2,4)	Σ(2,5)	Σ(2,6)	Σ(2,7)	ΣΣβ	-	
4	Σ(3,1)	Σ(3,2)	Σ(3,3)	Σ(3,4)	Σ(3,5)	Σ(3,6)	Σ(3,7)	Σ(4,8)	Σ(4,7)	Σ(4,6)	Σ(4,5)	Σ(2,4)	Σ(2,3)	Σ(1,4)	Σ(1,5)	Σ(1,6)	Σ(1,7)	ΣΣα

Σταθμοί ανταλλαγής

Σταθμοί συντηρήσεως

Πίνακας 1

Θα μπορούσαμε να αναζητήσουμε λύσεις και με περισσότερες (των τριών) ανταλλαγές αλλά εδώ αντιπαράθεται το κέρδος το οποίο θα έχουμε από την αξιοποίηση της διαδρομής

συντηρήσεως μεταφέροντας επιβάτες, με το κόστος απασχολήσεως προσωπικού στους σταθμούς ανταλλαγής, τις καθυστερήσεις και την όποια ταλαιπωρία των επιβατών οι οποίοι είναι αναγκασμένοι να αλλάζουν τόσες φορές συρμό. Για το λόγο αυτό προτιμώνται λύσεις με το πολύ δύο ανταλλαγές, πράγμα που περιορίζει τον αριθμό των εναλλακτικών λύσεων και απλουστεύει σημαντικά τον αλγόριθμο.

Όσο αυξάνει ο αριθμός των γραμμών και ιδίως η ύπαρξη περισσότερων του ενός συρμού ανά γραμμή, τόσο η πολυπλοκότητα του προβλήματος και ο αριθμός των υπαρκτών λύσεων αυξάνει κατακόρυφως. Από την πληθώρα των υπαρκτών λύσεων που προκύπτουν κατ' αυτόν τον τρόπο πρέπει να ξεχωρίσουν κάποιες οι οποίες είναι και πραγματοποιήσιμες με τα διαθέσιμα μέσα. Έτσι ακολούθως θα διακρίνουμε **υπαρκτές** και **εφικτές λύσεις**. Μία προσπάθεια αποκλείσμου ενός αριθμού υπαρκτών λύσεων που προτείνει ο αλγόριθμος, οδηγεί στην αναζήτηση πρακτικών περιορισμών (**Constraints**), οι οποίοι διαγράφουν περιττές, ασύμφωρες ή και αδύνατες λύσεις.

Από τις εφικτές λύσεις οι οποίες προτείνονται στο προσωπικό, το οποίο ασχολείται με τις ανταλλαγές (**Central and Local Planners, Shunting crew**) και τη συντήρηση (**Maintenance Planners**), επιλέγονται οι καλύτερες. Τους περιορισμούς αυτούς και τα κριτήρια αξιολογήσεως θα τα εξετάσουμε στην επομένη παράγραφο.

Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία δεν επιδιώκεται μία γενικευμένη και άμεσα εφαρμόσιμη λύση του προβλήματος της προληπτικής συντηρήσεως, διότι όπως αναφέρεται σαφώς στην βιβλιογραφία, το πρόβλημα αυτό είναι πολύ πολύπλοκο και πολύπλευρο, εφ' όσον υπάρχουν διαφορετικού μεγέθους και δομής δίκτυα με ποικίλες χρήσεις. Σκοπό έχει να συμβάλλει στην κατανόηση του προβλήματος του προγραμματισμού της συντηρήσεως, ενώ δίνει και ένα εργαλείο για μελέτη αυτών των προβλημάτων και με κατάλληλες προσαρμογές μπορεί να συμβάλλει και στη λύση τους.

5.2 Μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι για την εύρεση εφικτών και μικροτέρου κόστους δρομολογίων συντηρήσεως

Στα προηγούμενα είχαμε μία επαφή με το πρόβλημα της προληπτικής συντηρήσεως και είδαμε πώς μπορεί κανείς, με μοντελοποιήσεις με τη βοήθεια γράφων, να βρει λύσεις που οδηγούν ένα συρμό που έχει ανάγκη να συντηρηθεί σε ένα σταθμό συντηρήσεως, μέσω του σιδηροδρομικού δικτύου. Δεν αναζητήσαμε άριστες ή τις καλύτερες λύσεις. Δείξαμε μόνον ότι υπάρχουν εφικτές και ανέφικτες λύσεις και σε κάθε περίπτωση ότι μπορεί να υπάρχει πλήθος λύσεων. Είναι φανερό ότι η μαθηματική διατύπωση και χρήση αλγορίθμων με ηλεκτρονικό υπολογιστή δίνουν τη δυνατότητα να αναζητηθούν οι καλύτερες λύσεις, από απόψεως πραγματοποιήσεως, και να ερευνηθούν και οικονομικά κριτήρια για την υλοποίησή τους. Ηδη έχει γίνει πολύ έργο επάνω σ' αυτό το θέμα και θεωρείται σκόπιμο να αναφερθεί έστω επιλεκτικά παρακάτω, με έμφαση σε δύο μοντέλα (**Interchange Model** και **Transition Model**), τα οποία σχετίζονται περισσότερο με την παρούσα εργασία.

5.2.1 Προϋπάρχουσες εργασίες

Από τις προϋπάρχουσες εργασίες βελτιστοποιήσεως της λειτουργίας σιδηροδρομικών εταιρειών θα περιορισθούμε να αναφέρουμε αυτές που αφορούν στην προληπτική συντήρηση. Από τις τελευταίες θα ξεχωρίσουμε ιδίως αυτές, οι οποίες αφορούν στην προληπτική συντήρηση συρμών, θέμα με το οποίο ασχολείται και η παρούσα εργασία. Στις βιβλιογραφικές σημειώσεις θα αναφέρουμε ενδεικτικώς και κάποιες εργασίες για την συντήρηση γραμμών, σταθμών και άλλων εγκαταστάσεων σιδηροδρομικών εταιρειών, σε περίπτωση που υπάρξει ενδιαφέρον για εξοικίωση με τις έννοιες και τα ιδιαίτερα προβλήματα αυτού του κλάδου.

Τα πρώιμα μοντέλα αναζητούσαν το μεγαλύτερο αναμενόμενο όφελος από μία σχεδίαση σιδηροδρομικού δικτύου, η οποία θα ικανοποιούσε διάφορες απαιτήσεις μεταξύ των οποίων και απαιτήσεις για συντήρηση. Η συντήρηση προτεινόταν ως μέρος ενός

μακροπροθέσμου και μεσοπροθέσμου σχεδιασμού δρομολογίων, όπου οι συρμοί προβλεπόταν να περνούν ακριβώς μία φορά τον μήνα από έλεγχο. Επειδή όμως η συντήρηση είναι ακριβή, η περιοδική συντήρηση είναι ασύμφορος διότι ενδεχομένως περνούν από συντήρηση και συρμοί χωρίς να το έχουν ακόμη ανάγκη. Για τον λόγο αυτό η έρευνα προσανατολίστηκε σε μεθόδους προληπτικής συντηρήσεως οι οποίες λαμβάνουν υπ' όψιν το βαθμό χρήσεως του υπό συντήρηση υλικού ή ακόμη και το χρόνο που έχει παρέλθει από την τελευταία συντήρηση. Αυτό απαιτούσε πολυπλοκότερη παρακολούθηση και σχεδιασμό και αναπόδραστα έκανε αναγκαία τη χρήση μεθόδων βελτιστοποίησης και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σήμερα υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία στο θέμα αυτό και ακολουθώντας αναφέρουμε μερικές από τις εργασίες αυτές.

Το 1997 οι K.Ziarati, F. Soumis, J. Desrosiers στην εργασία τους [6], παρουσίασαν ένα ευρείας κλίμακας πρόγραμμα διακριτού προγραμματισμού (**Integer Programming**) όπου θίγονται και ζητήματα συντηρήσεως. Βλέπε [6], [7], βιβλιογραφικές σημειώσεις.

Εως το 2002 εμφανίζονται και κάποιες εργασίες οι οποίες παρ'ότι ασχολούνται με την διαχείριση αεροπορικών δρομολογίων, αντιμετωπίζουν συναφή προβλήματα και χρησιμοποιούν παρόμοια μοντέλα.

Το 2002 οι Norbert Lingaya, Jean-François Cordeau, Guy Desaulniers, Jacques Desrosiers, François Soumis παρουσιάζουν μία εργασία, η οποία εξετάζει περισσότερα θέματα σχετικά με τη διαχείριση μεταφοράς αυτοκινήτων μέσω του σιδηροδρομικού δικτύου. Περιγράφει μοντελοποίηση και μεθοδολογία λύσεων (**Branch- and- Bound Methode**), όπου εξετάζονται, μεταξύ των άλλων, και θέματα συντηρήσεως. Βλέπε [8], βιβλιογραφικές σημειώσεις.

Το 2003 οι L. Anderegg, I Stephan, E. Gantenbein, I Stature παρουσίασαν μία εργασία με τίτλο *Train Routing Algorithms: Concepts, Design Choices, and Practical Considerations*, στην οποία μεταξύ των άλλων αναφέρονται και θέματα συντηρήσεως. Βλέπε [9], βιβλιογραφικές σημειώσεις.

Το 2006 οι Sung-Pil Honga, Kyung Min Kimb, Kyungsik Leec,c, Bum Hwan Parkd, Παρουσίασαν την εργασία: *A pragmatic algorithm for the train-set routing: The case of Korea high-speed railway*, η οποία ασχολείται με συναφή προβλήματα του σιδηροδρομικού δικτύου υψηλής ταχύτητας (300 km/h) μεταξύ των οποίων και την συντήρηση. Βλέπε [11], βιβλιογραφικές σημειώσεις.

Στην παρούσα εργασία έχουν ληφθεί υπ'όψιν τα μοντέλα που προτείνονται στις [1] έως [5]. Ακολουθώντας παρουσιάζονται κυρίως δύο μοντέλα διακριτού προγραμματισμού για τον σχεδιασμό της προληπτικής συντηρήσεως, το **μοντέλο ανταλλαγής (Interchange Model)** και το **μοντέλο μεταβάσεως (Transition Model)**. Τα δύο μοντέλα περιγράφονται αναλυτικώς στις εργασίες των **Gábor Maróti** και **Leo Kroon**. Εδώ θα κάνουμε για λόγους πληρότητας μία σύντομη παρουσίαση.

5.2.2 Το μοντέλο ανταλλαγής (Interchange Model)

Κάθε **Task δ** (βλέπε ορολογία στην §2.) μιας διαδρομής τακτικού δρομολογίου έχει ένα ακόλουθο **Task σ (Successor Task)**. Το μοντέλο ανταλλαγής εξετάζει το κάθε **Task δ** , του σχεδίου τακτικών δρομολογίων και το επόμενο του **σ** . Αναζητούνται κατόπιν οι υπάρχουσες δυνατότητες να μην εκτελεσθεί το **σ** από τον ίδιο συρμό **s** , όπως προβλέπει το τακτικό δρομολόγιο, αλλά από άλλον συρμό **s'** άλλης γραμμής του δικτύου. Οι δύο συρμοί **s** και **s'** πρέπει να ευρίσκονται στον ίδιο σταθμό την ίδια στιγμή (σταθμό ανταλλαγής) και να ανταλλάξουν τα **successor tasks** τα οποία ήταν υποχρεωμένοι να εκτελέσουν. Αυτή τη διαδικασία την ονομάσαμε **Interchange** (βλέπε και §4.2). Το μοντέλο εξετάζει στη συνέχεια διαδοχικές τέτοιες αλλαγές στους επόμενους σταθμούς ανταλλαγής οι οποίες θα οδηγήσουν τελικώς τον συρμό **s** σε σταθμό συντηρήσεως, όπως έχει αναλυτικά αναφερθεί με απλά

παραδείγματα στην παράγραφο 5.1 στην παρούσα εργασία (βλέπε και [1]). Οι λύσεις που προτείνει τελικώς το μοντέλο είναι τέτοιες διαδρομές μέσα στο δίκτυο, του υποψηφίου για συντήρηση συρμού s .

Γενικεύοντας μπορούμε να πούμε ότι το μοντέλο ανταλλαγής εξετάζει, για μια χρονική περίοδο προγραμματισμού (Planning Horizon) συνήθως 3 ημερών, ένα σύνολο Δ από **Tasks** $\delta_i \in \Delta$, $i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ μιας διαδρομής στο σχέδιο τακτικών δρομολογίων (**Regular Plan**), η οποία εκτελείται από μία μονάδα τραίνου. Από το σύνολο Δ σχηματίζει όλα τα ζεύγη διαδοχικών **Tasks**. Έτσι για κάθε $\delta_i \in \Delta$ υπάρχει ένα **Task** $\sigma_i \in \sigma$, $i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ το οποίο ακολουθεί το δ_i και ονομάζεται “**ακόλουθο**” (**successor**). Κατόπιν σε κάθε σταθμό ανταλλαγής αναζητάει και καταγράφει όλες τις υλοποιήσιμες ανταλλαγές μεταξύ των σ_i των γραμμών που συμβάλλουν σ’ αυτόν. Εξετάζει δηλ. αν οι τοπικές και χρονικές συνθήκες επιτρέπουν στο κάθε δ_i να μην έχει **successor** αυτό που προβλέπεται από το σχέδιο τακτικών δρομολογίων αλλά ένα σ_i άλλου συρμού, ο οποίος θα ευρίσκεται την ίδια περίπου χρονική στιγμή στον ίδιο σταθμό ανταλλαγής.

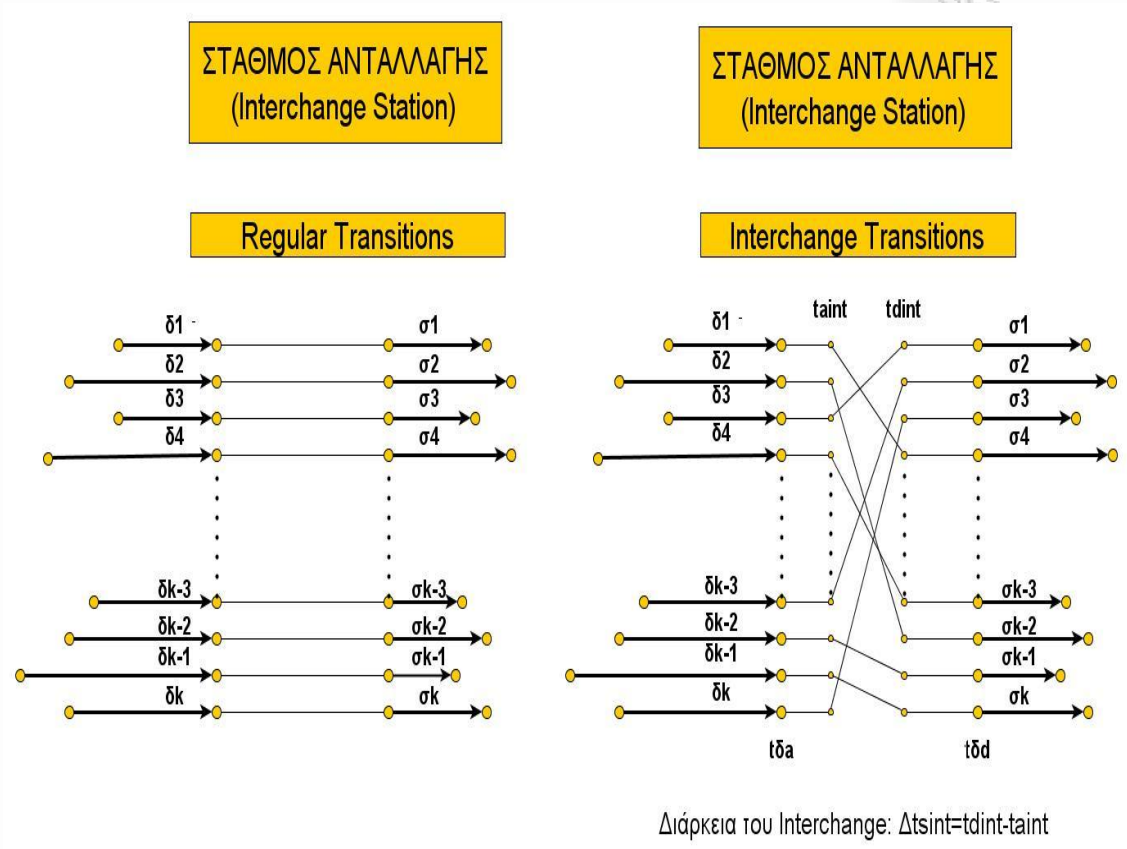
Κάθε **Task** δ_i χαρακτηρίζεται από δύο χρονικές στιγμές, αυτή της εκκινήσεως $t_{\delta i}$, από ένα σταθμό και αυτή της άφιξης $t_{\delta a}$, της μονάδας συρμού (**Train Unit**) στον επόμενο. Άρα και το σ_i χαρακτηρίζεται από τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές $t_{\sigma i}$, $t_{\sigma a}$, όμως χρονικά μετατοπισμένες. Είναι φανερό από τον ορισμό, ότι θα ισχύει: $t_{\sigma a} > t_{\delta a} > t_{\delta i}$. Μεταξύ πέρατος ενός **Task** δ_i (αφίξη του συρμού στο σταθμό) και αρχής του επομένου σ_i (αναχώρηση του ίδιου συρμού από τον ίδιο σταθμό) υπάρχει κάποιο περιθώριο χρόνου Δt_s παραμονής στο σταθμό και ισχύει προφανώς $t_{\sigma i} - t_{\delta a} = \Delta t_s$.

Κανονικά ο χρόνος Δt_s θα πρέπει να είναι επαρκής, προκειμένου να γίνει η αποβίβαση και η επιβίβαση των επιβατών και να υπάρχει και χρόνος για ενδεχόμενη αλλαγή γραμμής σύμφωνα με το σχέδιο αλλαγής τροχιών (**Shunting plan**). Ειδικώς το μοντέλο ενδιαφέρεται εάν ο χρόνος Δt_s είναι επαρκής και για τις αλλαγές τροχιάς (ελιγμούς κλπ.) μέσα στο σταθμό. Αν ο απαραίτητος χρόνος για αλλαγή τροχιάς και πραγματοποίηση ανταλλαγής (**Interchange**) είναι Δt_{sint} θα πρέπει να ισχύει $\Delta t_s > \Delta t_{sint}$. Για την ακρίβεια θα πρέπει $\lceil \Delta t_s \rceil \geq \lceil \Delta t_{sint} \rceil$. Πρακτικώς αυτό σημαίνει ότι η δυνατότητα εκτέλεσεως μιας ανταλλαγής εξαρτάται από το αν χωράει το απαραίτητο χρονικό διάστημα Δt_{sint} για την υλοποίησή της, στην χρονική περίοδο μεταξύ πέρατος του **Task** και αρχής του **Successor** του. Είναι δηλαδή μία περιοριστική συνθήκη (**Constraint**). Κατά τους συγγραφείς, μετά από συζητήσεις με το αρμόδιο σιδηροδρομικό προσωπικό, η διάρκεια Δt_{sint} είναι 10'. Φυσικά στα δίκτυα **METRO** οι χρόνοι αυτοί είναι πολύ μικρότεροι.

Η απαίτηση για ικανοποίηση των συνθηκών $\lceil \Delta t_s \rceil \geq \lceil \Delta t_{sint} \rceil$ και $\Delta t_{sint} = 10'$ μειώνει τον αριθμό των επιτρεπτών ανταλλαγών σε κάθε σταθμό ανταλλαγής. Ο αριθμός αυτός μειώνεται ακόμη περισσότερο αν ληφθεί υπ' όψιν ότι μόνον ορισμένοι συνδιασμοί από πραγματοποιήσιμες ανταλλαγές σε διαδοχικούς σταθμούς ανταλλαγής, μπορούν να αποτελέσουν διαδρομή που οδηγεί σε ΣΣ.

Το μοντέλο ανταλλαγής θεωρεί ότι η διάρκεια Δt_{sint} είναι χαρακτηριστική για ένα σταθμό ανταλλαγής και η ίδια για κάθε ανταλλαγή που θα γίνει μέσα σ' αυτόν. Αυτό δεν είναι απολύτως σωστό στην πράξη, αλλά χωρίς να αλλοιώνει σημαντικά το αποτέλεσμα, συμβάλλει στην ενιαία μεταχείριση των σταθμών ανταλλαγής και επομένως και στην απλούστευση του προβλήματος.

Το ακόλουθο σχήμα αποσαφηνίζει όσα εγράφησαν πιο πάνω και δίνει τη δυνατότητα για εύκολο φορμαλισμό.



Σχ. 10a

Σχ.10b

Με τους προηγούμενως αναφερόμενους ορισμούς δίνεται ακολούθως μια γενική τυπική διατύπωση της ανταλλαγής (**Interchange**).

Μία ανταλλαγή χαρακτηρίζεται από:

- α. Δύο χρονικές στιγμές $t_{aint} < t_{dint}$ που αντιστοιχούν στην έναρξη και λήξη της με $t_{aint} - t_{dint} = \Delta tsint$ κατά τα προαναφερόμενα.
- β. Τις k τακτικές μεταβάσεις (**Regular Transitions**) (δ_i, σ_i) με $i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$
- γ. Μία διάταξη (**Permutation**) $I: \{1, 2, 3, \dots, k\} \rightarrow \{1, 2, 3, \dots, k\}$. Αυτή είναι ένας κανόνας, ο οποίος δίνεται από ένα πίνακα (ή από ένα σχέδιο όπως το Σχ.10 a,b) ο οποίος εκδίδεται από τις αρμόδιες υπηρεσίες (**Planning, Shunting Plan**). Αυτός ο κανόνας είναι ένας μετασχηματισμός που λειτουργεί ως εξής: πχ. $I(\delta_3) = (\sigma_3)$, στο σχ. 10a, ενώ $I(\delta_3) = \sigma_1$ στο σχ.10b. Δηλ. ο κανόνας ορίζει για κάθε Task ποιο θα είναι το **Successor** του μετά την ανταλλαγή.

Επομένως μπορούμε για την ανταλλαγή με n Tasks να διατυπώσουμε την γενική έκφραση:

$$\{ (Task_1, Task_2, \dots, Task_n), I, \Delta tsint \}$$

Συνοψίζοντας, για να είναι πραγματοποιήσιμη μία ανταλλαγή μεταξύ των ζευγών (δ_i, σ_i) και (δ'_i, σ'_i) , πρέπει οι αντίστοιχοι συρμοί να ευρίσκονται στον ίδιο σταθμό ανταλλαγής και η κοινή παραμονή τους στο σταθμό να συμπίπτει για τουλάχιστον 10'. Στη χρονική αυτή διάρκεια ο συρμός που εκτελεί το δ_i μπορεί με κατάλληλους ελιγμούς να συνεχίσει στο σ'_i και αυτός που εκτελεί το δ'_i να συνεχίσει στο σ_i .

Οι ανταλλαγές μπορούν να επαναλαμβάνονται από τον ένα σταθμό ανταλλαγής στον επόμενο, αρχίζοντας από τους κόμβους-πηγές έως τους κόμβους-καταλήξεις, ώστε να δημιουργούνται διαδρομές κατά μήκος του δικτύου οι οποίες φέρνουν τον κάθε υπό συντήρηση συρμό στον κατάλληλο ΣΣ.

Για να είναι δυνατή η διαδοχική εκτέλεση δύο ανταλλαγών, πρέπει αυτές να είναι ανεξάρτητες (**Independent**). Δύο ανταλλαγές $\{(Task1\alpha, Task2\alpha, \dots, Taskn\alpha), I\alpha, \Delta t_{sint\alpha}\}$ και $\{(Task1\beta, Task2\beta, \dots, Taskn\beta), I\beta, \Delta t_{sint\beta}\}$, είναι ανεξάρτητες όταν τα σύνολα $\{(Task1\alpha, Task2\alpha, \dots, Taskn\alpha)$ και $(Task1\beta, Task2\beta, \dots, Taskn\beta)$ είναι διαζευγμένα (**Disjoint**). Με άλλα λόγια όταν $[t_{\alpha_{int\alpha}} - t_{db_{int\alpha}}] \cap [t_{\alpha_{int\beta}} - t_{db_{int\beta}}] = \emptyset$. Στο μοντέλο αυτό μόνο τέτοια ανά δύο διαζευγμένα Tasks μπορούν να εκτελεσθούν διαδοχικώς και να αποτελέσουν τμήμα της διαδρομής προς ένα ΣΣ.

Είναι φανερό, σε συμφωνία και με όσα έχουν ορισθεί στην παράγραφο 4.1, ότι αυτές οι διαδρομές που προσδιορίζονται κατ'αυτόν τον τρόπο, και οι οποίες οδηγούν ένα προς συντήρηση συρμό (**Urgent Train Unit**) από μία **πηγή** σε μία **κατάληξη** (**Maintenance Station**), είναι μονοπάτια ενός διευθυνόμενου γράφου με $G = \{V, E\}$ όπου τα $v_i \in V$ ενώ τα ζεύγη $(v_i, v_j) \in E$ είναι διατεταγμένα ζεύγη. Τα μονοπάτια αυτά, δεν έχουν κοινούς κόμβους και επομένως ούτε κοινά τόξα και αποτελούν ένα σύνολο μονοπατιών **διαζευγμένων κόμβων** (**Vertex Disjoint**).

Για ένα τέτοιο σύνολο από μονοπάτια λέμε ότι υπάρχει **κάλυψη μονοπατιών** (**Path Cover**), όταν καλύπτουν όλους τους κόμβους του G . Τον αρχικό κόμβο των μονοπατιών αυτών ονομάζουμε **πηγή** (**Source**) και τον τελευταίο **κατάληξη** (**sink**). Ένας τέτοιος διευθυνόμενος γράφος, ο οποίος περιέχει αποκλειστικώς μονοπάτια διαζευγμένων κόμβων φαίνεται στο σχήμα 4. Στο ίδιο σχήμα είναι εμφανής και ο ρόλος των **πηγών** (**sources**) και των **καταλήξεων** (**sinks**). Γενικώς οι κόμβοι **πηγές** έχουν μόνο εξερχόμενα, ενώ οι κόμβοι **καταλήξεις** έχουν μόνο εισερχόμενα βέλη.

Στον αλγόριθμο μπορούν να τεθούν περιορισμοί (πέραν των περιορισμών που μπορεί να θέτει το **Shunting Plan**). Τέτοιοι περιορισμοί προκύπτουν όταν λαμβάνονται υπ'όψιν και βαρύτερες σε κάθε υποψήφια εμπλεκόμενη ανταλλαγή. Οι περιορισμοί αυτοί μειώνουν τον αριθμό των περιπτώσεων. Καθε μία από αυτές τις διαδρομές, η οποία έχει τελικώς γίνει δεκτή από τον αλγόριθμο αποτελεί εναλλακτική λύση για διαδρομή προληπτικής συντηρήσεως ενός κρίσιμου συρμού. Από τις λύσεις αυτές, επιλέγεται μία για κάθε περίπτωση, από τους αρμόδιους τις τελευταίες τρεις ημέρες (**Short Time Planning**). Αυτή η διαδικασία τροποποιεί το σχεδιασμό των τακτικών δρομολογίων και έχει ως αποτέλεσμα την έκδοση ενός νέου **Regular Plan**.

5.2.3 Το μοντέλο μεταβάσεως(Transition Model)

Το μοντέλο μεταβάσεως αποτελεί μία εναλλακτική εκδοχή του μοντέλου ανταλλαγής. Τούτο έχει λιγότερες απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου στον αλγόριθμο. Δεν απαιτεί λεπτομερή γνώση των συνθηκών και των δυνατοτήτων αλλαγής γραμμών και ελιγμών (**Shunting**) μέσα σε ένα σταθμό ανταλλαγής, όπως το προηγούμενο μοντέλο. Αυτό διευκολύνει πολύ, γιατί τέτοια

δεδομένα σε τελική ανάλυση είναι δύσκολο να αποκτηθούν στην πράξη. Το μοντέλο μεταβάσεως χρειάζεται μόνον την πληροφορία των νέων επιτρεπτών μεταβάσεων (**Transitions**). Το μοναδικό κριτήριο για την επιλογή είναι αν υπάρχει επαρκής χρόνος για τους αναγκαίους χειρισμούς αλλαγής γραμμών (**Shunting**), οι οποίοι εμπλέκονται στην κάθε μετάβαση (**Transition**), χωρίς να δημιουργούν καθυστερήσεις. Σε κάθε επιτρεπτή μετάβαση εκχωρούνται βάρη (**Weights**) και προσδιορίζεται το συνολικό βάρος μιας λύσεως ως απλή συνάρτηση των βαρών των μεταβάσεων από τις οποίες αποτελείται.

Για την μαθηματική διατύπωση του μοντέλου πρέπει να ανατρέξουμε στους ορισμούς της § 4.1 και τα γραφήματα της § 4.2 καθώς επίσης να ορίσουμε και τα ακόλουθα.

- α. Εστω ένας γράφος $G=\{V,E\}$, όπου $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_k\}$ και $E=\{(v_i, v_j)\}$. Ως υπόδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε το σχ.6, όπου όμως τα **Tasks** έχουν αντικατασταθεί με κόμβους και οι κόμβοι μεταξύ δύο διαδοχικών **Tasks** έχουν αντικατασταθεί με τόξα (**Arcs**). Τα τόξα αυτά παριστάνουν τις μεταβάσεις από ένα **Task** στο **Successor** του. Ο γράφος που προκύπτει, όπως και του σχ. 6, είναι ακυκλικός και οι διευθυνόμενες διαδρομές σ'αυτόν είναι μονοπάτια διαζευγμένων κόμβων (**Node disjoint Paths**). Στη βιβλιογραφία για τη συντήρηση μονάδων σιδηροδρόμου, ονομάζεται **MR-Γράφος (Maintenance Routing Graph)**. Ο MR-Γράφος αφορά στην χρονική περίοδο του **Planning Horizon**.
- β. Ενα σύνολο $Q: q_i \in Q, i \in \{1,2,3, \dots, |Q|\}$ παριστάνει τις πηγές (**Sources**) του γράφου. Στο σχ. 6 είναι οι αρχικοί κόμβοι S_1, S_2, \dots, S_n και επομένως στον MR-Γράφο είναι τα αρχικά **Tasks** τα οποία αποτελούν κόμβους του.
- γ. Ενα σύνολο $U: u_i \in U, i \in \{1,2,3, \dots, |U|\}, |Q| \geq |U|$. Τα στοιχεία του συνόλου U είναι κόμβοι του MR-Γράφου και παριστάνουν πηγές, στις οποίες υπάρχουν συρμοί που πρέπει να δρομολογηθούν για συντήρηση. Προφανώς πρέπει να ισχύει και $Q \supseteq U$.
- δ. Ενα σύνολο $P: p_i \in P, i \in \{1,2,3, \dots, |P|\}$, παριστάνει τις καταλήξεις (**Sinks**) του γράφου. Τα στοιχεία αυτά είναι καταληκτικοί κόμβοι στο σχήμα 6 ενώ στον MR-Γράφο είναι τα καταληκτικά **Tasks** των τακτικών δρομολογίων (**Regular Duties**) των συρμών.
- ε. Ως πηγές χαρακτηρίζονται οι κόμβοι του γράφου, οι οποίοι δεν έχουν εισερχόμενα τόξα, ενώ ως καταλήξεις οι κόμβοι οι οποίοι δεν έχουν εξερχόμενα τόξα.
- ζ. Ενα σύνολο $M: m_i \in M, i \in \{1,2,3, \dots, |M|\}, |M| < |P|$ παριστάνει τους κόμβους όπου υπάρχει πρόσβαση σε σταθμό συντηρήσεως όπου $|U| \leq |M| < |P|$ (η $|U| \leq |M|$ εξασφαλίζει ότι υπάρχουν επαρκείς σταθμοί συντηρήσεως για τις αναμενόμενες **Urgencies** κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού). Αυτοί οι κόμβοι είναι **Tasks** τα οποία ονομάζονται **Maintenance Tasks**.
- η. Ενα σύνολο $D: d_{mn} \in D, m \in \{1,2,3, \dots, |U|\}, n \in \{1,2,3, \dots, |M|\}$ παριστάνει το σύνολο των μονοπατιών διαζευγμένων κόμβων στον MR-Γράφο, από τον κόμβο $u_f \in U$ προς τον κόμβο m_n , για κάθε u_f . Το κάθε μονοπάτι από αυτά είναι δηλαδή μία διαδρομή συντηρήσεως που οδηγεί ένα κρίσιμο (**Urgent**) συρμό s_f από μία πηγή u_f σε μία κατάληξη m_n , δηλαδή σε $\Sigma\Sigma$, μέσω τόξων (v_i, v_j) του γράφου, εκτελώντας όπου χρειάζεται, πραγματοποιήσιμες ανταλλαγές. Τα τόξα (v_i, v_j) είναι όπως προϋποθέσαμε μεταφορές (**Transitions**). Σημειώνουμε ότι οι πραγματοποιούμενες ανταλλαγές τροποποιούν αναγκαστικά και πολλά από τα άλλα μονοπάτια του τακτικού δρομολογίου εφόσον αλληλεπιδρούν με μη κρίσιμους συρμούς..
- θ. Ενα σύνολο $A: a_{ij} \in A \subset \mathcal{R}^+, i \in \{1,2,3, \dots, |E|\}, j \in \{1,2,3, \dots, |E|\}$, και μία απεικόνιση $c:$

$E \rightarrow A$, η οποία εκχωρεί σε κάθε (v_i, v_j) μεταφορά (**Transition**) έναν θετικό αριθμό από το **A**, δηλ. $c((v_i, v_j)) = a_{ij}$, ορίζουν την κοστολόγηση από κόμβο σε κόμβο με κριτήριο πόσο δύσκολο είναι να πραγματοποιηθεί, εφόσον έγινε κατόπιν ανταλλαγής, πόσο προσωπικό χρειάζεται κλπ. Οι τιμές $a_{ij} > 0$ είναι εκτιμήσεις των μελετητών κινήσεως σε συνενόηση με το προσωπικό αλλαγής γραμμών (**Shunting Crew**) μέσα στους σταθμούς.



Σχ. 11

Το μοντέλο καλείται να βρει τις διαδρομές με το ελάχιστο κόστος. Τα αποτελέσματα πρέπει να συζητηθούν και να εγκριθούν από τους αρμόδιους για να ενσωματωθούν στο υπάρχον σχέδιο ώστε να προκύψει το τροποποιημένο **Regular plan**.

Θα προσεγγίσουμε τώρα το πρόβλημα σε τρία βήματα:

- α. Υποθέτουμε ότι υπάρχει μόνο ένας συρμός σε κρίσιμη (**Urgent**) κατάσταση και μόνο ένας σταθμός συντηρήσεως, είναι δηλ. $|U| = 1$ και $|M| = 1$. Τότε, όπως είδαμε στα παραδείγματα και στον πίνακα 1 της § 5.1, υπάρχουν συνήθως πολλές διαδρομές, στον MR-Γράφο, οι οποίες οδηγούν το συρμό από την πηγή στον ΣΣ, δηλ. $|D| > 1$. Εστω ότι το πλήθος τους είναι w . Πέραν αυτών των διαδρομών, υπάρχουν στον MR-Γράφο και οι υπόλοιπες διευθυνόμενες διαδρομές οι οποίες ενώνουν τις υπόλοιπες πηγές $Q \setminus U$ με τις υπόλοιπες καταλήξεις $P \setminus M$ και αποτελούν μαζί με τις προηγούμενες ένα σύνολο μονοπατιών διαζευγμένων κόμβων δηλ. μία “**κάλυψη μονοπατιών**” (**Path Cover**) στον εν λόγω MR-Γράφο, όπως έχει ορισθεί προηγουμένως. Για κάθε διαδρομή συντηρήσεως αντιστοιχεί και ένα **Path Cover**. Το κάθε **Path Cover** δ_i με $i \in \{1, 2, \dots, w\}$ περιέχει ένα σύνολο μεταβάσεων (arcs) στον MR-Γράφο έστω $T: T_r \in T$, όπως έχουν διαμορφωθεί από τις απεικονίσεις I σε κάθε ανταλλαγή. Η επιμέρους αξιολόγηση αυτών των μεταβάσεων, η οποία υπολογίζεται από την απεικόνιση C , ορίζει και την συνολική αξιολόγησή του δηλ το κόστος του **Path Cover**. Η αξιολόγηση αυτή επιτυγχάνεται με την αντικειμενική συνάρτηση (**Objective Function**) ή συνάρτηση κόστους.

Αν χρησιμοποιηθεί τώρα η απλούστερη αντικειμενική συνάρτηση, δηλ. η άθροιση του κόστους που έχει εκτιμηθεί για την κάθε μετάβαση και δίνεται από την απεικόνιση C σε συμφωνία με το θ , η αξιολόγηση του όλου **Path Cover**, από απόψεως κόστους, θα υπολογίζεται από την

$$J(\delta_i) = \sum_{\forall T_r \in T} c(T_r)$$

Εδώ με δ_i συμβολίζεται το συγκεκριμένο **Path Cover** όπου $i \in \{1, 2, \dots, w\}$ και w το σύνολο των διαδρομών στον MR-Γράφο, όπως ορίστηκε πιο πάνω.

Εφαρμόζοντας την ανωτέρω σχέση σε όλα τα **Path Cover**. Που μπορούν να προκύψουν από το η_i , προκύπτει η καλύτερη λύση μεταβάσεως από τον κόμβο u_i στον m_i .

- β. Υποθέτουμε τώρα ότι υπάρχει μία **Urgent** πηγή αλλά περισσότερες της μιας καταλήξεις (**Sinks**), οι οποίες έχουν πρόσβαση σε ΣΣ, δηλ. $|U|=1$, $|M|>1$. Είναι φανερό ότι σ' αυτήν την περίπτωση ο αλγόριθμος σε κάθε κόμβο του MR-Γράφου, όπου προκύπτει επιτρεπτή ανταλλαγή, θα έχει να διερευνήσει τη συνέχεια προς τον ένα ή τον άλλο από τους $|M|$ ΣΣ. Προφανώς ο αλγόριθμος γίνεται πολυπλοκότερος και πληθαίνουν οι υπαρκτές λύσεις του προβλήματος συντηρήσεως μεταξύ των οποίων είναι πιθανό να υπάρχουν ευνοϊκότερες. Όταν υπάρχει και δεύτερος ΣΣ, μπορούν να ευρεθούν οι λύσεις που προκύπτουν αν ο συρμός κατευθυνθεί σε αυτόν και να συγκριθούν κατόπιν οι δύο περιπτώσεις κλπ.
- γ. Στην Τρίτη περίπτωση υπάρχουν οι προϋποθέσεις της β. περιπτώσεως με τη διαφορά ότι θα θεωρήσουμε ότι $|U| > 1$. Εδώ το πρόβλημα γίνεται ακόμη πολυπλοκότερο και θα πρέπει σε κάθε λύση της περιπτώσεως β., όπου θα έχει προκύψει τροποποίηση του προγραμματισμού των τακτικών δρομολογίων να διερευνηθεί η πρόσβαση του νέου κρίσιμου συρμού, σε ΣΣ ο οποίος θα είναι διαθέσιμος. Για την έρευνα των μονοπατιών συντηρήσεως του δεύτερου κρίσιμου συρμού, υπάρχει ένα νέο **Regular Plan** το οποίο έχει προκύψει από τις τροποποιήσεις που έχουν γίνει στο αρχικό όταν ληφθούν υπ' όψιν οι αλλαγές που απαιτήθηκαν λόγω των ανταλλαγών της α. ή της β. περιπτώσεως. Το ίδιο συμβαίνει και με τους υπολοίπους κρίσιμους συρμούς.

Η πρακτική αξία του μοντέλου εξαρτάται σε υψηλό βαθμό από την επιλογή της συναρτήσεως κόστους. Για κάθε λύση το κόστος επηρεάζεται από την πολυπλοκότητα και το πλήθος των αναγκαίων ανταλλαγών κατά τις μεταβάσεις (**Transitions**). Για την κοστολόγηση των λύσεων ο μελετητής έχει στη διάθεσή του το **Regular Plan** και το αντίστοιχο **Shunting Plan**. Η ακριβέστερη κοστολόγηση μιας λύσεως προκύπτει κατά το [1], αν ληφθούν υπ' όψιν και οι ακόλουθοι παράγοντες, οι οποίοι προφανώς έχουν επιρροή στο πόσο πρέπει να αλλάξει το Regular Plan:

- ◆ Η θέση της **Urgent** μονάδας τραίνου, στη σύνθεση του συρμού.
- ◆ Η διαφορά χρόνου μεταξύ των **Tasks** των εμπλεκόμενων στην ανταλλαγή.
- ◆ Γνώση της Υποδομής στον σταθμό ανταλλαγής (**Rail Yards**), κυρίως η απόσταση μεταξύ γραμμής αφίξεως και αναχωρήσεως του κρίσιμου συρμού.
- ◆ Γνώση της κινήσεως του σταθμού ανταλλαγής (υψηλή κίνηση δυσκολεύει τους ελιγμούς εντός του σταθμού).
- ◆ Εξάρτηση από την ώρα που λαμβάνει χώρα η ανταλλαγή (Κατά τις ώρες μεγίστης κινήσεως υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία ελιγμών και διαθέσεως προσωπικού, ενώ τις νυκτερινές ώρες είναι ευκολότερο).

5.2.4 Σύγκριση των δύο μοντέλων

Και τα δύο μοντέλα αφορούν στο πρόβλημα της δρομοθετήσεως ενός συντηρητέου συρμού σε σταθμό συντηρήσεως του δικτύου με τον οικονομικότερο τρόπο. Δεν δίνουν συγκεκριμένη αρίστη λύση αλλά οι λύσεις που προτείνουν πρέπει να εγκριθούν πριν την εφαρμογή, πριν τροποποιηθεί δηλ. το υπάρχον σχέδιο τακτικών δρομολογίων, από το αρμόδιο προσωπικό (**Routing Planners, Shunting Planners, Shunting Crew**) της εταιρείας. Έτσι μέσα από μια διαδραστική διαδικασία επιλέγονται ή διορθώνονται οι προτεινόμενες από τα μοντέλα λύσεις.

Και τα δύο μοντέλα προτείνουν λύσεις οι οποίες είναι αποδεκτές στην πράξη. Το μοντέλο ανταλλαγής (**Interchange Model**), απαιτεί λεπτομερή γνώση των δυνατοτήτων αλλαγής

γραμμών και ελιγμών στους σταθμούς ανταλλαγής (**Interchange Stations**), χρειάζεται επομένως μεγάλο όγκο πληροφοριών ως δεδομένα εισόδου και οδηγεί σε λύσεις οι οποίες χρειάζονται μεγάλους χρόνους επεξεργασίας. Πολλές φορές αυτό βγάζει έξω από τα όρια ενός βραχυπροθέσμου προγραμματισμού όπως είναι το πρόγραμμα τακτικών δρομολογίων. Επίσης αυτές οι πληροφορίες, σε αυτήν την έκταση, είναι στην πράξη δύσκολο να συλλεγούν.

Επειδή το μοντέλο μεταβάσεων εμπλέκεται λιγότερο στην διαδικασία μεταφοράς μιας συντηρητέας μονάδας συρμού στον προορισμό της, δίνει μικρότερο πλήθος αποδεκτών λύσεων. Από την άλλη πλευρά όμως είναι πολύ ευκολότερο να ληφθούν οι απαιτούμενες πληροφορίες εισόδου από την πράξη και δίνει δυνατότητα μέσα από μία διαδραστική διαδικασία λήψεως αποφάσεων για απόρριψη – αποδοχή λύσεων, μεταξύ των εισηγητών του μοντέλου και του τοπικού προσωπικού αλλαγής γραμμών (**Local Shunting Krew**), να ρυθμίζεται προς το καλύτερο η συνάρτηση βαρών.

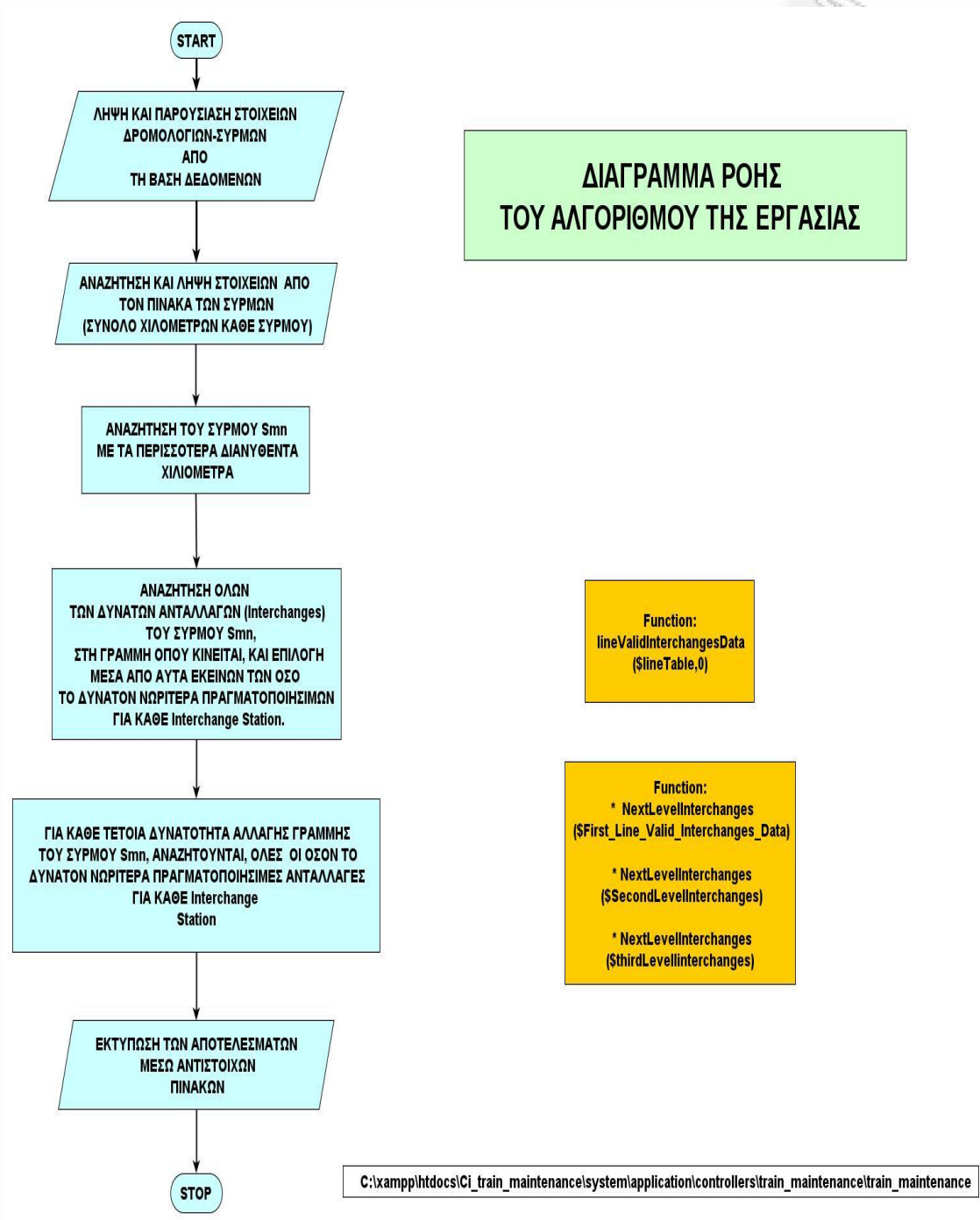
Παρ' ότι το μοντέλο μεταβάσεων χρειάζεται λιγότερα δεδομένα εισόδου, οι λύσεις που προτείνει δεν διαφέρουν πολύ από τις λύσεις του μοντέλου ανταλλαγής, ενώ μπορούν να εφαρμοσθούν εμπρόθεσμα μέσα στο χρόνο εκτελέσεως του βραχυπροθέσμου προγραμματισμού (2-3 ημέρες).

Συζητήσεις με αρμοδίους εφαρμοστές του προγραμματισμού συντηρήσεως οδηγούν ότι και τα δύο μοντέλα μπορούν να αποτελέσουν τον πυρήνα ενός υποστηρικτικού προγράμματος λήψεως αποφάσεων σε μία σιδηροδρομική εταιρεία.

6. Το λογισμικό της εργασίας

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία κάνει μια άλλη προσέγγιση. Κατ'αρχήν θεωρεί ότι υπάρχει μία βάση δεδομένων στην εταιρεία, η οποία ενημερώνεται συνεχώς από το προσωπικό της. Επίσης η διαφορά από τα άλλα μοντέλα εγκείται στο ότι δεν έχει ως βάση ένα συγκεκριμένο χιλιομετρικό όριο μετά το οποίο ο συρμός πρέπει να αναζητήσει ένα σταθμό συντηρήσεως αλλά αναζητάει από τη βάση δεδομένων τον συρμό ο οποίος είναι κοντά στο χιλιομετρικό όριο και τον δρομοθετεί σε γραμμή η οποία έχει σταθμό συντηρήσεως στη διάθεσή της. Έτσι όταν ο συρμός γίνει κρίσιμος δεν έχει παρα να κατευθυνθεί στο τέλος της γραμμής του και να αποσυρθεί για συντήρηση. Στο ακόλουθο διάγραμμα ροής λογισμικού φαίνεται η βασική δομή του αλγορίθμου.

6.1 Διάγραμμα ροής του λογισμικού



6.2 Λογισμικό – Απαιτήσεις

Για να τρέξει η εφαρμογή χρειάζεται να είναι εγκατεστημένα τα εξής στον υπολογιστή μας:

XAMPP 1.7.3 (Windows - 32)
Mozilla Firefox

(Τα ανωτέρω είναι προτεινόμενα. Αν γενικά ο χρήστης έχει εγκατεστημένα στον υπολογιστή του έναν Apache Server 2.x, PHP 5.x και MySQL 5.x καθώς και έναν οποιονδήποτε browser πιθανότατα δεν θα υπάρξει πρόβλημα. Η εφαρμογή έχει δοκιμαστεί πέραν του XAMPP, σε Apache Server 2.0.63, MySQL 5.0.51a, PHP 5.2.12 χωρίς να υπάρχει κάποια αξιοσημείωτη διαφορά. Αν χρησιμοποιηθεί **Internet Explorer** ή ο **Google Chrome** παρατηρούνται μικρές διαφορές στον τρόπο που φαίνονται οι πίνακες αλλά όχι κάτι ουσιαστικό).

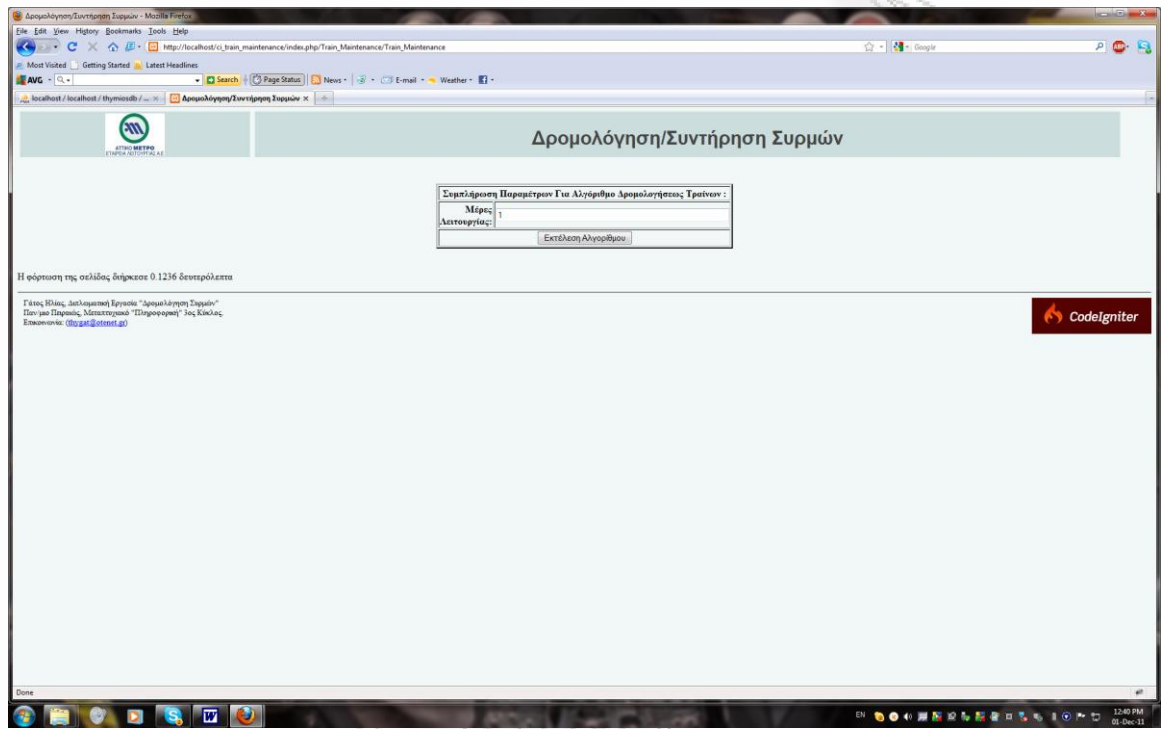
6.3 Οδηγός Εγκατάστασης

Η εφαρμογή χρησιμοποιεί το **CodeIgniter Framework** το οποίο βοηθά στην καλύτερη οργάνωση και προγραμματισμό με PHP. Για να δουλέψει επιτυχώς η εφαρμογή λοιπόν, θα πρέπει να κάνουμε **copy-paste** τον κατάλογο **ci_train_maintenance** και τον κατάλογο **assets** που υπάρχει στο CD της εργασίας μέσα στον κατάλογο **htdocs** (το path είναι συνήθως το C:\xampp\htdocs). Επίσης κάνουμε **copy-paste** τον κατάλογο **train_maintenance** μέσα στον κατάλογο **data** (το path είναι συνήθως το C:\xampp\mysql\data) για τη μεταφορά της βάσεως δεδομένων επί της οποίας έχει σχεδιαστεί η εφαρμογή. Εναλλακτικά μπορούμε να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων με όνομα **train_maintenance** και να εκτελέσουμε τον κώδικα που περιέχεται στο αρχείο **train_maintenance.sql** σε περιβάλλον MySQL. Τρέχουμε το **XAMPP Control Panel** και πατάμε **Start** στον **Apache** και στη **MySQL**. Κλείνουμε το **Control Panel**. Το επόμενο βήμα είναι να ανοίξουμε τον browser και να πληκτρολογήσουμε στην address bar τη διεύθυνση:

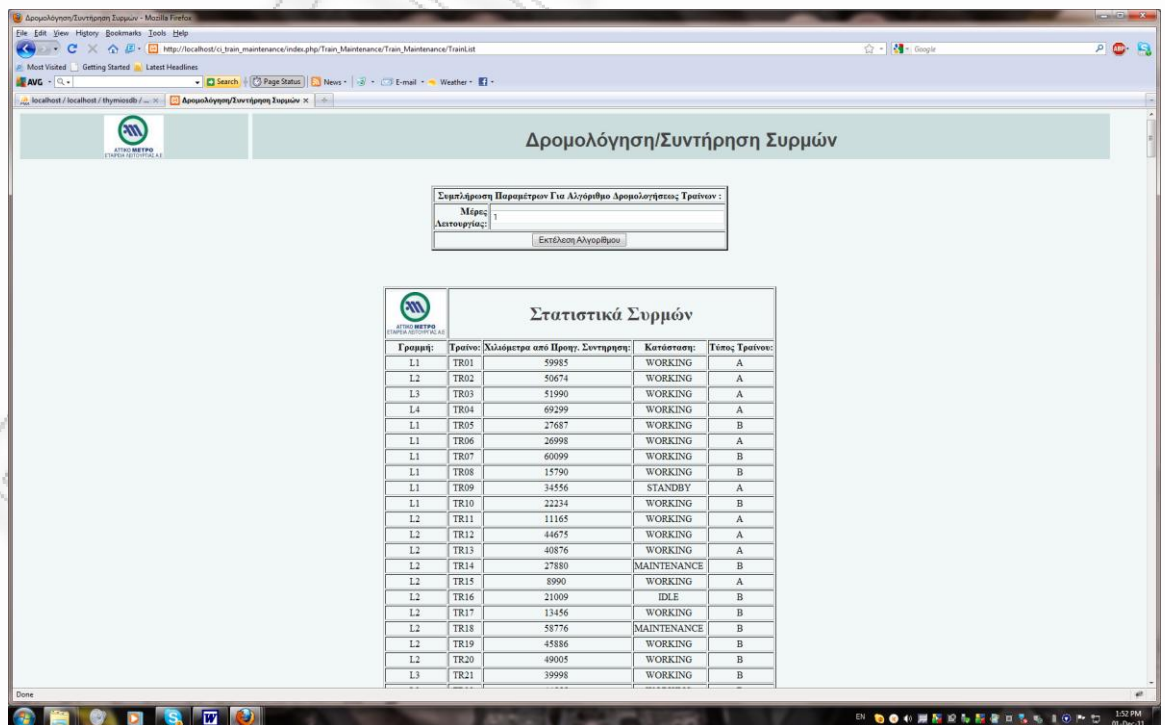
[http://localhost/ci_train_maintenance/index.php/Train Maintenance/Train Maintenance](http://localhost/ci_train_maintenance/index.php/Train_Maintenance/Train_Maintenance)
πατάμε Enter και η εφαρμογή τρέχει!!!

6.4 Περιγραφή της Εφαρμογής

Μετά την εκτέλεση της παραπάνω διεύθυνσης στην Address Bar του Browser μας εμφανίζεται η αρχική οθόνη της εφαρμογής όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.0 όπου βλέπουμε το λογότυπο της Α.Μ.Ε.Λ. Α.Ε. , του CodeIgniter Framework που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή της εφαρμογής (Αν πατήσουμε με το ποντίκι πάνω στα λογότυπα αυτά μεταφερόμαστε στις αντίστοιχες ιστοσελίδες τους) και την φόρμα εκτέλεσης του προγράμματος. Αυτή η φόρμα έχει ως πεδίο το εύρος των ημερών που θέλουμε να υπολογίσει το πρόγραμμα (από την τρέχουσα ημέρα ως αυτή που θέλουμε να τερματίσει) Το πρόγραμμα υπολογίζει (by default) εύρος ημερών **1** καθώς τα δρομολόγια όλων των ημερών πλύν των αργιών είναι ίδια οπότε και τα αποτελέσματά μας για κάθε καθημερινή θα είναι ίδια όσον αφορά τα δυνατά Interchanges ανά γραμμή. Οποιαδήποτε αλλαγή στο **Routing Plan** πραγματοποιήσει η **Λειτουργία** (Ως “Λειτουργία” αναφέρεται το τμήμα της εταιρείας που ασχολείται καθαρά με το πρακτικό κομμάτι της λειτουργίας των συρμών-γραμμών-κιριών καθώς και των εργαζομένων που απασχολούνται σε αυτά και όχι με τη διοίκησή της π.χ. Τμήμα Πληροφορικής, Οικονομικό Τμήμα, Τμήμα Δημοσίων Σχέσεων κ.τ.λ. . Ο όρος είναι αντίστοιχος του Rolling Stock σε συνδυασμό με το Rolling Crew ,αλλά όχι ταυτόσημος), ενημερώνει τη Βάση Δεδομένων που αλληλεπιδρά με την εφαρμογή η οποία παρουσιάζει τα τροποποιημένα αποτελέσματα. Πατάμε το κουμπί “ Εκτέλεση Αλγορίθμου ” και περιμένουμε να φορτωθεί η σελίδα με τα αποτελέσματα της αναζήτησής μας.



Σχήμα 1.0



Σχήμα 1.1.1 (Πίνακας Δεδομένων Συρμών)

Γραμμή	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως	Σταθμός	Ενομή Δρομολογίου	Λήξη Δρομολογίου	Ημερομηνία	KLM Δρομολογίου	Αριθμός Δρομολογίου	Συνδέξιμος Σταθμός Interchange	Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως σε Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange
L1	YES	ST(1.1)	05:01:00	05:08:00	2011-07-13	7	1	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	05:10:00	05:13:00	2011-07-13	3	2	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	05:15:00	05:20:00	2011-07-13	5	3	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	05:22:00	05:28:00	2011-07-13	6	4	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.5)	05:30:00	05:35:00	2011-07-13	5	5	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.6)	05:37:00	05:42:00	2011-07-13	5	6	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.7)	05:47:00	05:52:00	2011-07-13	5	7	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.6)	05:54:00	05:59:00	2011-07-13	5	8	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.5)	06:01:00	06:07:00	2011-07-13	6	9	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.4)	06:09:00	06:14:00	2011-07-13	5	10	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.3)	06:16:00	06:19:00	2011-07-13	3	11	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	06:21:00	06:28:00	2011-07-13	7	12	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.1)	06:33:00	06:40:00	2011-07-13	7	13	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	06:42:00	06:45:00	2011-07-13	3	14	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	06:47:00	06:52:00	2011-07-13	5	15	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	06:54:00	07:00:00	2011-07-13	6	16	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.5)	07:02:00	07:07:00	2011-07-13	5	17	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.6)	07:09:00	07:14:00	2011-07-13	5	18	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.7)	07:19:00	07:24:00	2011-07-13	5	19	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.6)	07:26:00	07:31:00	2011-07-13	5	20	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.5)	07:33:00	07:39:00	2011-07-13	6	21	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.4)	07:41:00	07:46:00	2011-07-13	5	22	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.3)	07:48:00	07:51:00	2011-07-13	3	23	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	07:53:00	08:00:00	2011-07-13	7	24	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.1)	08:20:00	08:27:00	2011-07-13	7	25	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	08:37:00	08:40:00	2011-07-13	3	26	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	08:50:00	08:55:00	2011-07-13	5	27	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	09:05:00	09:11:00	2011-07-13	6	28	ST(2.3)	L2	YES

Σχήμα 1.1.2 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 1)

L1	YES	ST(1.3)	08:50:00	08:55:00	2011-07-13	5	27	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	09:05:00	09:11:00	2011-07-13	6	28	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.5)	09:21:00	09:26:00	2011-07-13	5	29	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.6)	09:36:00	09:41:00	2011-07-13	5	30	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.7)	10:01:00	10:06:00	2011-07-13	5	31	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.6)	10:16:00	10:21:00	2011-07-13	5	32	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.5)	10:31:00	10:37:00	2011-07-13	6	33	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.4)	10:47:00	10:52:00	2011-07-13	5	34	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.3)	11:02:00	11:05:00	2011-07-13	3	35	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	11:15:00	11:22:00	2011-07-13	7	36	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.1)	11:42:00	11:49:00	2011-07-13	7	37	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	11:59:00	12:02:00	2011-07-13	3	38	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	12:12:00	12:17:00	2011-07-13	5	39	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	12:27:00	12:33:00	2011-07-13	6	40	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.5)	12:43:00	12:48:00	2011-07-13	5	41	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.6)	12:58:00	13:03:00	2011-07-13	5	42	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.7)	13:23:00	13:28:00	2011-07-13	5	43	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.6)	13:38:00	13:43:00	2011-07-13	5	44	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.5)	13:53:00	13:59:00	2011-07-13	6	45	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.4)	14:09:00	14:14:00	2011-07-13	5	46	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.3)	14:16:00	14:19:00	2011-07-13	3	47	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	14:21:00	14:28:00	2011-07-13	7	48	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.1)	14:33:00	14:40:00	2011-07-13	7	49	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	14:42:00	14:45:00	2011-07-13	3	50	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	14:47:00	14:52:00	2011-07-13	5	51	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.4)	14:54:00	15:00:00	2011-07-13	6	52	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.5)	15:02:00	15:07:00	2011-07-13	5	53	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.6)	15:09:00	15:14:00	2011-07-13	5	54	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.7)	15:19:00	15:24:00	2011-07-13	5	55	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.6)	15:26:00	15:31:00	2011-07-13	5	56	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.5)	15:33:00	15:39:00	2011-07-13	6	57	ST(3.3)	L3	NO
L1	YES	ST(1.4)	15:41:00	15:46:00	2011-07-13	5	58	ST(2.3)	L2	YES
L1	YES	ST(1.3)	15:48:00	15:51:00	2011-07-13	3	59	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	15:53:00	16:00:00	2011-07-13	7	60	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.1)	16:20:00	16:27:00	2011-07-13	7	61	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.2)	16:37:00	16:40:00	2011-07-13	3	62	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(1.3)	16:50:00	16:55:00	2011-07-13	5	63	NONE	NONE	NO

Σχήμα 1.1.3 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 1)

Line	Direction	Station	Departure	Arrival	Date	Service No.	Category	Interchange	Status	
L1	YES	ST(L,1)	17:41:00	2011-07-13	3	66	NONE	NONE	NO	
L1	YES	ST(L,7)	18:01:00	18:06:00	2011-07-13	5	67	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,6)	18:16:00	18:21:00	2011-07-13	5	68	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,5)	18:31:00	18:37:00	2011-07-13	6	69	ST(G,3)	L3	NO
L1	YES	ST(L,4)	18:47:00	18:52:00	2011-07-13	5	70	ST(G,3)	L2	YES
L1	YES	ST(L,3)	19:02:00	19:05:00	2011-07-13	3	71	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,2)	19:15:00	19:22:00	2011-07-13	7	72	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,1)	19:42:00	19:49:00	2011-07-13	7	73	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,2)	19:59:00	20:02:00	2011-07-13	3	74	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,3)	20:12:00	20:17:00	2011-07-13	5	75	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,4)	20:27:00	20:33:00	2011-07-13	6	76	ST(G,3)	L2	YES
L1	YES	ST(L,5)	20:43:00	20:48:00	2011-07-13	5	77	ST(G,3)	L3	NO
L1	YES	ST(L,6)	20:58:00	21:03:00	2011-07-13	5	78	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,7)	21:23:00	21:28:00	2011-07-13	5	79	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,6)	21:38:00	21:43:00	2011-07-13	5	80	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,5)	21:53:00	21:59:00	2011-07-13	6	81	ST(G,3)	L3	NO
L1	YES	ST(L,4)	22:09:00	22:14:00	2011-07-13	5	82	ST(G,3)	L2	YES
L1	YES	ST(L,3)	22:24:00	22:27:00	2011-07-13	3	83	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,2)	22:37:00	22:44:00	2011-07-13	7	84	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,1)	23:04:00	23:11:00	2011-07-13	7	85	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,2)	23:21:00	23:24:00	2011-07-13	3	86	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,3)	23:34:00	23:39:00	2011-07-13	5	87	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,4)	23:49:00	23:55:00	2011-07-13	6	88	ST(G,3)	L2	YES
L1	YES	ST(L,5)	00:05:00	00:10:00	2011-07-14	5	89	ST(G,3)	L3	NO
L1	YES	ST(L,6)	00:20:00	00:25:00	2011-07-14	5	90	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,7)	00:45:00	00:50:00	2011-07-14	5	91	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,6)	01:00:00	01:05:00	2011-07-14	5	92	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,5)	01:15:00	01:21:00	2011-07-14	6	93	ST(G,3)	L3	NO
L1	YES	ST(L,4)	01:31:00	01:36:00	2011-07-14	5	94	ST(G,3)	L2	YES
L1	YES	ST(L,3)	01:46:00	01:49:00	2011-07-14	3	95	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,2)	01:59:00	02:16:00	2011-07-14	7	96	NONE	NONE	NO
L1	YES	ST(L,1)				97	NONE	NONE	NO	

Σχήμα 1.1.4 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 1)

Line	Direction	Station	Departure	Arrival	Date	Service No.	Category	Interchange	Status	
L2	YES	ST(L,1)	05:01:00	05:09:00	2011-07-13	8	1	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,2)	05:11:00	05:15:00	2011-07-13	4	2	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,3)	05:17:00	05:20:00	2011-07-13	3	3	ST(L,4)	L1	YES
L2	YES	ST(L,4)	05:22:00	05:25:00	2011-07-13	3	4	ST(L,5)	L4	NO
L2	YES	ST(L,5)	05:27:00	05:30:00	2011-07-13	3	5	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,6)	05:32:00	05:36:00	2011-07-13	4	6	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,7)	05:41:00	05:45:00	2011-07-13	4	7	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,6)	05:47:00	05:50:00	2011-07-13	3	8	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,5)	05:52:00	05:55:00	2011-07-13	3	9	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,4)	05:57:00	06:00:00	2011-07-13	3	10	ST(L,5)	L4	NO
L2	YES	ST(L,3)	06:02:00	06:06:00	2011-07-13	4	11	ST(L,4)	L1	YES
L2	YES	ST(L,2)	06:08:00	06:16:00	2011-07-13	8	12	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,1)	06:21:00	06:29:00	2011-07-13	8	13	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,2)	06:31:00	06:35:00	2011-07-13	4	14	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,3)	06:37:00	06:40:00	2011-07-13	3	15	ST(L,4)	L1	YES
L2	YES	ST(L,4)	06:42:00	06:45:00	2011-07-13	3	16	ST(L,5)	L4	NO
L2	YES	ST(L,5)	06:47:00	06:50:00	2011-07-13	3	17	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,6)	06:52:00	06:56:00	2011-07-13	4	18	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,7)	07:01:00	07:05:00	2011-07-13	4	19	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,6)	07:07:00	07:10:00	2011-07-13	3	20	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,5)	07:12:00	07:15:00	2011-07-13	3	21	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,4)	07:17:00	07:20:00	2011-07-13	3	22	ST(L,5)	L4	NO
L2	YES	ST(L,3)	07:22:00	07:26:00	2011-07-13	4	23	ST(L,4)	L1	YES
L2	YES	ST(L,2)	07:28:00	07:36:00	2011-07-13	8	24	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,1)	07:41:00	07:49:00	2011-07-13	8	25	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,2)	07:51:00	07:55:00	2011-07-13	4	26	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,3)	07:57:00	08:00:00	2011-07-13	3	27	ST(L,4)	L1	YES
L2	YES	ST(L,4)	08:10:00	08:13:00	2011-07-13	3	28	ST(L,5)	L4	NO
L2	YES	ST(L,5)	08:23:00	08:26:00	2011-07-13	3	29	NONE	NONE	NO
L2	YES	ST(L,6)	08:36:00	08:40:00	2011-07-13	4	30	NONE	NONE	NO

Σχήμα 1.1.5 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 2)

Line	Direction	Station	Departure Time	Arrival Time	Date	Train No.	Platform	Category	Notes	Status
L2	YES	ST(Q.5)	08:23:00	08:26:00	2011-07-13	3	29	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	08:36:00	08:40:00	2011-07-13	4	30	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)	09:00:00	09:04:00	2011-07-13	4	31	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	09:14:00	09:17:00	2011-07-13	3	32	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.5)	09:27:00	09:30:00	2011-07-13	3	33	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	09:40:00	09:43:00	2011-07-13	3	34	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	09:53:00	09:57:00	2011-07-13	4	35	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	10:07:00	10:15:00	2011-07-13	8	36	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	10:35:00	10:43:00	2011-07-13	8	37	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	10:53:00	10:57:00	2011-07-13	4	38	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	11:07:00	11:10:00	2011-07-13	3	39	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	11:20:00	11:23:00	2011-07-13	3	40	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	11:33:00	11:36:00	2011-07-13	3	41	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	11:46:00	11:50:00	2011-07-13	4	42	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)	12:10:00	12:14:00	2011-07-13	4	43	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	12:24:00	12:27:00	2011-07-13	3	44	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.5)	12:37:00	12:40:00	2011-07-13	3	45	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	12:50:00	12:53:00	2011-07-13	3	46	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	13:03:00	13:07:00	2011-07-13	4	47	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	13:17:00	13:25:00	2011-07-13	8	48	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	13:45:00	13:53:00	2011-07-13	8	49	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	14:03:00	14:07:00	2011-07-13	4	50	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	14:09:00	14:12:00	2011-07-13	3	51	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	14:14:00	14:17:00	2011-07-13	3	52	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	14:19:00	14:22:00	2011-07-13	3	53	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	14:24:00	14:28:00	2011-07-13	4	54	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)	14:33:00	14:37:00	2011-07-13	4	55	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	14:39:00	14:42:00	2011-07-13	3	56	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.5)	14:44:00	14:47:00	2011-07-13	3	57	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	14:49:00	14:52:00	2011-07-13	3	58	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	14:54:00	14:58:00	2011-07-13	4	59	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	15:00:00	15:08:00	2011-07-13	8	60	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	15:13:00	15:21:00	2011-07-13	8	61	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	15:23:00	15:27:00	2011-07-13	4	62	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	15:29:00	15:32:00	2011-07-13	3	63	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	15:34:00	15:37:00	2011-07-13	3	64	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	15:39:00	15:42:00	2011-07-13	3	65	NONE		NO

Σχήμα 1.1.6 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 2)

Line	Direction	Station	Departure Time	Arrival Time	Date	Train No.	Platform	Category	Notes	Status
L2	YES	ST(Q.5)	16:12:00	16:15:00	2011-07-13	3	69	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	16:24:00	16:28:00	2011-07-13	3	70	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	16:38:00	16:42:00	2011-07-13	4	71	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	16:52:00	17:00:00	2011-07-13	8	72	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	17:20:00	17:28:00	2011-07-13	8	73	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	17:38:00	17:42:00	2011-07-13	4	74	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	17:52:00	17:55:00	2011-07-13	3	75	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	18:05:00	18:08:00	2011-07-13	3	76	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	18:18:00	18:21:00	2011-07-13	3	77	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	18:31:00	18:35:00	2011-07-13	4	78	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)	18:45:00	18:49:00	2011-07-13	4	79	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	19:09:00	19:12:00	2011-07-13	3	80	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.5)	19:22:00	19:25:00	2011-07-13	3	81	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	19:35:00	19:38:00	2011-07-13	3	82	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	19:48:00	19:52:00	2011-07-13	4	83	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	20:02:00	20:10:00	2011-07-13	8	84	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	20:30:00	20:38:00	2011-07-13	8	85	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	20:48:00	20:52:00	2011-07-13	4	86	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	21:02:00	21:05:00	2011-07-13	3	87	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	21:15:00	21:18:00	2011-07-13	3	88	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	21:28:00	21:31:00	2011-07-13	3	89	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	21:41:00	21:45:00	2011-07-13	4	90	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)	22:05:00	22:09:00	2011-07-13	4	91	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	22:19:00	22:22:00	2011-07-13	3	92	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.5)	22:32:00	22:35:00	2011-07-13	3	93	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.4)	22:45:00	22:48:00	2011-07-13	3	94	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.3)	22:58:00	23:02:00	2011-07-13	4	95	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.2)	23:12:00	23:20:00	2011-07-13	8	96	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.1)	23:40:00	23:48:00	2011-07-13	8	97	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.2)	23:58:00	00:02:00	2011-07-14	4	98	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.3)	00:12:00	00:15:00	2011-07-14	3	99	ST(1.4)	L1	YES
L2	YES	ST(Q.4)	00:25:00	00:28:00	2011-07-14	3	100	ST(4.5)	L4	NO
L2	YES	ST(Q.5)	00:38:00	00:41:00	2011-07-14	3	101	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.6)	00:51:00	00:55:00	2011-07-14	4	102	NONE		NO
L2	YES	ST(Q.7)				103	NONE		NO	

Σχήμα 1.1.7 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 2)

Γραμμή:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως:	Σταθμός:	Έναρξη Δρομολογίου:	Λήξη Δρομολογίου:	Ημερομηνία:	KLM Δρομολογίου:	Αριθμός Δρομολογίου:	Συνδεδεμένος Σταθμός Interchange:	Γραμμή Συνδεδεμένου Σταθμού Interchange:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως σε Γραμμή Συνδεδεμένου Σταθμού Interchange:
L3	NO	ST(3.1)	05:01:00	05:04:00	2011-07-13	3	1	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.2)	05:06:00	05:10:00	2011-07-13	4	2	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	05:12:00	05:20:00	2011-07-13	8	3	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.4)	05:22:00	05:26:00	2011-07-13	4	4	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	05:28:00	05:32:00	2011-07-13	4	5	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.6)	05:34:00	05:38:00	2011-07-13	4	6	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	05:40:00	05:44:00	2011-07-13	4	7	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.8)	05:46:00	05:56:00	2011-07-13	10	8	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.9)	06:01:00	06:11:00	2011-07-13	10	9	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.8)	06:13:00	06:17:00	2011-07-13	4	10	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	06:19:00	06:23:00	2011-07-13	4	11	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.6)	06:25:00	06:29:00	2011-07-13	4	12	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	06:31:00	06:35:00	2011-07-13	4	13	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.4)	06:37:00	06:45:00	2011-07-13	8	14	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	06:47:00	06:51:00	2011-07-13	4	15	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.2)	06:53:00	06:56:00	2011-07-13	3	16	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.1)	07:01:00	07:04:00	2011-07-13	3	17	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.2)	07:06:00	07:10:00	2011-07-13	4	18	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	07:12:00	07:20:00	2011-07-13	8	19	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.4)	07:22:00	07:26:00	2011-07-13	4	20	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	07:28:00	07:32:00	2011-07-13	4	21	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.6)	07:34:00	07:38:00	2011-07-13	4	22	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	07:40:00	07:44:00	2011-07-13	4	23	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.8)	07:46:00	07:56:00	2011-07-13	10	24	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.9)	08:01:00	08:11:00	2011-07-13	10	25	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.8)	08:21:00	08:25:00	2011-07-13	4	26	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	08:35:00	08:39:00	2011-07-13	4	27	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.6)	08:49:00	08:53:00	2011-07-13	4	28	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	09:03:00	09:07:00	2011-07-13	4	29	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.4)	09:17:00	09:25:00	2011-07-13	8	30	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	09:35:00	09:39:00	2011-07-13	4	31	ST(1.5)	L1	YES

Σχήμα 1.1.8 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 3)

L3	NO	ST(3.4)	09:17:00	09:25:00	2011-07-13	8	30	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	09:25:00	09:39:00	2011-07-13	4	31	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.2)	09:49:00	09:52:00	2011-07-13	3	32	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.1)	10:12:00	10:15:00	2011-07-13	3	33	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.2)	10:25:00	10:29:00	2011-07-13	4	34	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	10:39:00	10:47:00	2011-07-13	8	35	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.4)	10:47:00	11:01:00	2011-07-13	4	36	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	11:11:00	11:15:00	2011-07-13	4	37	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.6)	11:25:00	11:29:00	2011-07-13	4	38	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	11:39:00	11:43:00	2011-07-13	4	39	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.8)	11:53:00	12:03:00	2011-07-13	10	40	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.9)	12:23:00	12:33:00	2011-07-13	10	41	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.8)	12:43:00	12:47:00	2011-07-13	4	42	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	12:57:00	13:01:00	2011-07-13	4	43	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.6)	13:11:00	13:15:00	2011-07-13	4	44	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	13:25:00	13:29:00	2011-07-13	4	45	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.4)	13:39:00	13:47:00	2011-07-13	8	46	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	13:57:00	14:01:00	2011-07-13	4	47	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.2)	14:03:00	14:06:00	2011-07-13	3	48	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.1)	14:11:00	14:14:00	2011-07-13	3	49	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.2)	14:16:00	14:20:00	2011-07-13	4	50	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	14:22:00	15:30:00	2011-07-13	8	51	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.4)	15:32:00	15:36:00	2011-07-13	4	52	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	15:38:00	15:42:00	2011-07-13	4	53	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.6)	15:44:00	15:48:00	2011-07-13	4	54	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	15:50:00	15:54:00	2011-07-13	4	55	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.8)	15:56:00	16:06:00	2011-07-13	10	56	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.9)	16:26:00	16:36:00	2011-07-13	10	57	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.8)	16:46:00	16:50:00	2011-07-13	4	58	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.7)	17:00:00	17:04:00	2011-07-13	4	59	ST(4.8)	L4	NO
L3	NO	ST(3.6)	17:14:00	17:18:00	2011-07-13	4	60	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.5)	17:28:00	17:32:00	2011-07-13	4	61	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.4)	17:42:00	17:50:00	2011-07-13	8	62	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.3)	18:00:00	18:04:00	2011-07-13	4	63	ST(1.5)	L1	YES
L3	NO	ST(3.2)	18:14:00	18:17:00	2011-07-13	3	64	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.1)	18:37:00	18:40:00	2011-07-13	3	65	NONE	NONE	NO
L3	NO	ST(3.2)	18:50:00	18:54:00	2011-07-13	4	66	NONE	NONE	NO

Σχήμα 1.1.9 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 3)

Γραμμή:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως:	Σταθμός:	Έναρξη Δρομολογίου:	Λήξη Δρομολογίου:	Ημερομηνία:	KLM Δρομολογίου:	Αριθμός Δρομολογίων:	Συνδέξιμος Σταθμός Interchange:	Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως σε Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange:
1.3	NO	ST(3,5)	17:28:00	17:32:00	2011-07-13	4	61	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,4)	17:42:00	17:50:00	2011-07-13	8	62	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,3)	18:00:00	18:04:00	2011-07-13	4	63	ST(1,5)	L1	YES
1.3	NO	ST(3,2)	18:14:00	18:17:00	2011-07-13	3	64	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,1)	18:37:00	18:40:00	2011-07-13	3	65	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,2)	18:50:00	18:54:00	2011-07-13	4	66	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,3)	19:04:00	19:12:00	2011-07-13	8	67	ST(1,5)	L1	YES
1.3	NO	ST(3,4)	19:22:00	19:26:00	2011-07-13	4	68	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,5)	19:36:00	19:40:00	2011-07-13	4	69	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,6)	19:50:00	19:54:00	2011-07-13	4	70	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,7)	20:04:00	20:08:00	2011-07-13	4	71	ST(4,8)	L4	NO
1.3	NO	ST(3,8)	20:18:00	20:28:00	2011-07-13	10	72	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,9)	20:48:00	20:58:00	2011-07-13	10	73	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,8)	21:08:00	21:12:00	2011-07-13	4	74	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,7)	21:22:00	21:26:00	2011-07-13	4	75	ST(4,8)	L4	NO
1.3	NO	ST(3,6)	21:36:00	21:40:00	2011-07-13	4	76	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,5)	21:50:00	21:54:00	2011-07-13	4	77	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,4)	22:04:00	22:12:00	2011-07-13	8	78	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,3)	22:22:00	22:26:00	2011-07-13	4	79	ST(1,5)	L1	YES
1.3	NO	ST(3,2)	22:36:00	22:39:00	2011-07-13	3	80	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,1)	22:59:00	23:02:00	2011-07-13	3	81	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,2)	23:12:00	23:16:00	2011-07-13	4	82	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,3)	23:26:00	23:34:00	2011-07-13	8	83	ST(1,5)	L1	YES
1.3	NO	ST(3,4)	23:44:00	23:48:00	2011-07-13	4	84	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,5)	23:58:00	00:02:00	2011-07-14	4	85	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,6)	00:12:00	00:16:00	2011-07-14	4	86	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,7)	00:26:00	00:30:00	2011-07-14	4	87	ST(4,8)	L4	NO
1.3	NO	ST(3,8)	00:40:00	00:50:00	2011-07-14	10	88	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,9)					89	NONE	NONE	NO
1.3	NO	ST(3,9)					90	NONE	NONE	NO

1.1.10 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 3)

Γραμμή:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως:	Σταθμός:	Έναρξη Δρομολογίου:	Λήξη Δρομολογίου:	Ημερομηνία:	KLM Δρομολογίου:	Αριθμός Δρομολογίων:	Συνδέξιμος Σταθμός Interchange:	Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange:	Υποθήκη Σταθμού Συντηρήσεως σε Γραμμή Συνδέξιμου Σταθμού Interchange:
L4	NO	ST(4,1)	05:01:00	05:05:00	2011-07-13	4	1	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,2)	05:07:00	05:10:00	2011-07-13	3	2	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,3)	05:12:00	05:15:00	2011-07-13	3	3	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,4)	05:17:00	05:21:00	2011-07-13	4	4	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,5)	05:23:00	05:27:00	2011-07-13	4	5	ST(2,4)	L2	YES
L4	NO	ST(4,6)	05:29:00	05:33:00	2011-07-13	4	6	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,7)	05:35:00	05:40:00	2011-07-13	5	7	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,8)	05:42:00	05:46:00	2011-07-13	4	8	ST(3,7)	L3	NO
L4	NO	ST(4,9)	05:51:00	05:55:00	2011-07-13	4	9	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,8)	05:57:00	06:02:00	2011-07-13	5	10	ST(3,7)	L3	NO
L4	NO	ST(4,7)	06:04:00	06:08:00	2011-07-13	4	11	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,6)	06:10:00	06:14:00	2011-07-13	4	12	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,5)	06:16:00	06:20:00	2011-07-13	4	13	ST(2,4)	L2	YES
L4	NO	ST(4,4)	06:22:00	06:25:00	2011-07-13	3	14	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,3)	06:27:00	06:30:00	2011-07-13	3	15	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,2)	06:32:00	06:36:00	2011-07-13	4	16	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,1)	06:41:00	06:45:00	2011-07-13	4	17	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,2)	06:47:00	06:50:00	2011-07-13	3	18	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,3)	06:52:00	06:55:00	2011-07-13	3	19	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,4)	06:57:00	07:01:00	2011-07-13	4	20	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,5)	07:03:00	07:07:00	2011-07-13	4	21	ST(2,4)	L2	YES
L4	NO	ST(4,6)	07:09:00	07:13:00	2011-07-13	4	22	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,7)	07:15:00	07:20:00	2011-07-13	5	23	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,8)	07:22:00	07:26:00	2011-07-13	4	24	ST(3,7)	L3	NO
L4	NO	ST(4,9)	07:31:00	07:35:00	2011-07-13	4	25	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,8)	07:37:00	07:42:00	2011-07-13	5	26	ST(3,7)	L3	NO
L4	NO	ST(4,7)	07:44:00	07:48:00	2011-07-13	4	27	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,6)	07:50:00	07:54:00	2011-07-13	4	28	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,5)	07:56:00	08:00:00	2011-07-13	4	29	ST(2,4)	L2	YES
L4	NO	ST(4,4)	08:10:00	08:13:00	2011-07-13	3	30	NONE	NONE	NO
L4	NO	ST(4,3)	08:23:00	08:26:00	2011-07-13	3	31	NONE	NONE	NO

Σχήμα 1.1.11 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 4)

Train No.	Direction	Station	Time	Date	Days	Category	Status
L4	NO	ST(4,1)	08:13:00	2011-07-13	3	30	NONE
L4	NO	ST(4,2)	08:23:00	2011-07-13	3	31	NONE
L4	NO	ST(4,3)	08:36:00	2011-07-13	4	32	NONE
L4	NO	ST(4,4)	09:00:00	2011-07-13	4	33	NONE
L4	NO	ST(4,5)	09:14:00	2011-07-13	3	34	NONE
L4	NO	ST(4,6)	09:27:00	2011-07-13	3	35	NONE
L4	NO	ST(4,7)	09:40:00	2011-07-13	4	36	NONE
L4	NO	ST(4,8)	09:54:00	2011-07-13	4	37	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,9)	10:08:00	2011-07-13	4	38	NONE
L4	NO	ST(4,10)	10:22:00	2011-07-13	5	39	NONE
L4	NO	ST(4,11)	10:37:00	2011-07-13	4	40	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,12)	11:01:00	2011-07-13	4	41	NONE
L4	NO	ST(4,13)	11:15:00	2011-07-13	5	42	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,14)	11:30:00	2011-07-13	4	43	NONE
L4	NO	ST(4,15)	11:44:00	2011-07-13	4	44	NONE
L4	NO	ST(4,16)	11:58:00	2011-07-13	4	45	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,17)	12:12:00	2011-07-13	3	46	NONE
L4	NO	ST(4,18)	12:25:00	2011-07-13	3	47	NONE
L4	NO	ST(4,19)	12:38:00	2011-07-13	4	48	NONE
L4	NO	ST(4,20)	13:02:00	2011-07-13	4	49	NONE
L4	NO	ST(4,21)	13:16:00	2011-07-13	3	50	NONE
L4	NO	ST(4,22)	13:29:00	2011-07-13	3	51	NONE
L4	NO	ST(4,23)	13:42:00	2011-07-13	4	52	NONE
L4	NO	ST(4,24)	13:56:00	2011-07-13	4	53	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,25)	14:09:00	2011-07-13	4	54	NONE
L4	NO	ST(4,26)	14:23:00	2011-07-13	5	55	NONE
L4	NO	ST(4,27)	14:36:00	2011-07-13	4	56	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,28)	14:50:00	2011-07-13	4	57	NONE
L4	NO	ST(4,29)	15:03:00	2011-07-13	5	58	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,30)	15:17:00	2011-07-13	4	59	NONE
L4	NO	ST(4,31)	15:30:00	2011-07-13	4	60	NONE
L4	NO	ST(4,32)	15:44:00	2011-07-13	4	61	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,33)	15:57:00	2011-07-13	3	62	NONE
L4	NO	ST(4,34)	16:10:00	2011-07-13	3	63	NONE
L4	NO	ST(4,35)	16:24:00	2011-07-13	4	64	NONE
L4	NO	ST(4,36)	16:37:00	2011-07-13	4	65	NONE
L4	NO	ST(4,37)	16:51:00	2011-07-13	4	66	NONE

Σχήμα 1.1.12 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 4)

L4	NO	ST(4,38)	17:05:00	2011-07-13	4	67	NONE
L4	NO	ST(4,39)	17:18:00	2011-07-13	4	68	NONE
L4	NO	ST(4,40)	17:31:00	2011-07-13	3	69	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,41)	17:44:00	2011-07-13	4	70	NONE
L4	NO	ST(4,42)	17:57:00	2011-07-13	5	71	NONE
L4	NO	ST(4,43)	18:10:00	2011-07-13	4	72	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,44)	18:23:00	2011-07-13	4	73	NONE
L4	NO	ST(4,45)	18:36:00	2011-07-13	5	74	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,46)	18:49:00	2011-07-13	4	75	NONE
L4	NO	ST(4,47)	19:02:00	2011-07-13	4	76	NONE
L4	NO	ST(4,48)	19:15:00	2011-07-13	4	77	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,49)	19:28:00	2011-07-13	3	78	NONE
L4	NO	ST(4,50)	19:41:00	2011-07-13	4	79	NONE
L4	NO	ST(4,51)	19:54:00	2011-07-13	4	80	NONE
L4	NO	ST(4,52)	20:07:00	2011-07-13	4	81	NONE
L4	NO	ST(4,53)	20:20:00	2011-07-13	3	82	NONE
L4	NO	ST(4,54)	20:33:00	2011-07-13	3	83	NONE
L4	NO	ST(4,55)	20:46:00	2011-07-13	4	84	NONE
L4	NO	ST(4,56)	20:59:00	2011-07-13	4	85	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,57)	21:12:00	2011-07-13	4	86	NONE
L4	NO	ST(4,58)	21:25:00	2011-07-13	5	87	NONE
L4	NO	ST(4,59)	21:38:00	2011-07-13	4	88	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,60)	21:51:00	2011-07-13	4	89	NONE
L4	NO	ST(4,61)	22:04:00	2011-07-13	4	90	ST(3,7)
L4	NO	ST(4,62)	22:17:00	2011-07-13	4	91	NONE
L4	NO	ST(4,63)	22:30:00	2011-07-13	4	92	NONE
L4	NO	ST(4,64)	22:43:00	2011-07-13	3	93	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,65)	22:56:00	2011-07-13	4	94	NONE
L4	NO	ST(4,66)	23:09:00	2011-07-13	3	95	NONE
L4	NO	ST(4,67)	23:22:00	2011-07-13	4	96	NONE
L4	NO	ST(4,68)	23:35:00	2011-07-13	4	97	NONE
L4	NO	ST(4,69)	23:48:00	2011-07-13	3	98	NONE
L4	NO	ST(4,70)	24:01:00	2011-07-13	3	99	NONE
L4	NO	ST(4,71)	24:14:00	2011-07-13	4	100	NONE
L4	NO	ST(4,72)	24:27:00	2011-07-13	4	101	ST(2,4)
L4	NO	ST(4,73)	24:40:00	2011-07-13	4	102	NONE

Σχήμα 1.1.13 (Πίνακας Δεδομένων Δρομολογίων Γραμμής 4)

Ο Συρμός TR04 που είναι στη γραμμή L4 έχει διανύσει τα περισσότερα χιλιόμετρα (69299 KLM) και συνεπώς θα δρομολογηθεί πρώτος σε Γραμμή που βρίσκεται Σταθμός Συντήρησης !!!

Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή:	Γραμμή:	Σταθμός:	Δρομολόγιο Γραμμής:	Ώρα Αναχώρησης:	Σταθμός Προέλευσης:	Γραμμή Προέλευσης:	Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή Προέλευσης:
YES	L2	ST(2,4)	4	05.22.00	ST(4,5)	L4	NO
NO	L3	ST(3,7)	87	00.26.00	ST(4,8)	L4	NO

Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή:	Γραμμή:	Σταθμός:	Δρομολόγιο Γραμμής:	Ώρα Αναχώρησης:	Σταθμός Προέλευσης:	Γραμμή Προέλευσης:
YES	L1	ST(1,4)	46	14.09.00	ST(2,3)	L2
NO	L4	ST(4,5)	61	14.49.00	ST(2,4)	L2

Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή:	Γραμμή:	Σταθμός:	Δρομολόγιο Γραμμής:	Ώρα Αναχώρησης:	Σταθμός Προέλευσης:	Γραμμή Προέλευσης:
YES	L2	ST(2,3)	59	14.54.00	ST(1,4)	L1
NO	L3	ST(3,7)	87	00.26.00	ST(4,8)	L4

1.1.14 (Πίνακες Προτάσεων Εναλλακτικών Διαδρομών του Τραίνου με τα περισσότερα

Η φόρτωση της σελίδας πήρασε 1.5003 δευτερόλεπτα

Γάτος Ηλίας, Διπλωματική Εργασία "Δρομολόγηση Συρμών"
 Παιν για Παιχνίδι Μετακινήσεων "Παράρτημα" της Κιάκας
 Επικοινωνία: 0lygati@olinet.gr

CodeIgniter

Σχήμα 1.1.15 (Πίνακες Προτάσεων Εναλλακτικών Διαδρομών του Τραίνου με τα περισσότερα Χιλιόμετρα.)

Η σελίδα που φορτώνεται δείχνει δεδομένα που αφορούν τα τρέινα που λαμβάνουν μέρος (Πίνακας “Στατιστικά Συρμών” Σχήμα 1.1.1), Τα δρομολόγια της Γραμμής 1 (1ος Πίνακας “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” Σχήματα 1.1.2, 1.1.3, 1.1.4), Τα Αναζήτηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης κατά την Προληπτική Συντήρηση Συρμών Σιδηροδρομικών Δικτύων

δρομολόγια της Γραμμής 2 (2ος Πίνακας “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” Σχήματα 1.1.5, 1.1.6, 1.1.7), Τα δρομολόγια της Γραμμής 3 (3ος Πίνακας “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” Σχήματα 1.1.8, 1.1.9, 1.1.10), Τα δρομολόγια της Γραμμής 4 (4ος Πίνακας “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” Σχήματα 1.1.11, 1.1.12, 1.1.13) και τα υπόλοιπα δεδομένα αφορούν τον υπολογισμό των Εναλλακτικών Διαδρομών του τρένου με μέγιστο αριθμό χιλιομέτρων από τη γραμμή που βρίσκεται, στις άλλες γραμμές του Δικτύου (Πίνακες “1ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών”, “2ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών” και “3ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών” Σχήματα 1.1.14 και 1.1.15).

Οι πίνακες που περιέχουν στον τίτλο τους τον όρο “Στατιστικά” αφορούν στην παρουσίαση των δεδομένων που δέχεται το πρόγραμμα από τη Βάση Δεδομένων του συστήματος και τα οποία επεξεργάζεται για να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της αναζητήσεως εναλλακτικών διαδρομών Interchange του τρένου με μέγιστο αριθμό χιλιομέτρων, στους παρακάτω πίνακες. Θα σταθούμε εδώ για να αναλύσουμε τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην οθόνη μας από την πρώτη κατηγορία πινάκων:

6.5 Πίνακας “Στατιστικά Συρμών”

Ο πίνακας αυτός παραθέτει στοιχεία για τους συρμούς που λαμβάνουν μέρος στο σύστημα και αποτελείται από τα πεδία:

Γραμμή: Ο κωδικός (ID) της γραμμής που βρίσκεται ο κάθε συρμός.

Τραίνο: Ο κωδικός (ID) του συρμού.

Χιλιόμετρα από Προηγ. Συντήρηση: Τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει ο συρμός από την τελευταία συντήρηση.

Κατάσταση: Σε τι κατάσταση λειτουργίας είναι ο συρμός.

Τύπος Τραίνου: Το είδος του συρμού.

Πίνακες “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” (Για τις Γραμμές 1,2,3 και 4)

Οι πίνακες αυτοί παραθέτουν στοιχεία για τα δρομολόγια που εκτελούνται σε κάθε γραμμή και αποτελούνται από τα πεδία:

Γραμμή: Η γραμμή που εκτελούνται τα δρομολόγια.

Υπαρξη Σταθμού Συντηρήσεως: Δείχνει αν υπάρχει Σταθμός Συντηρήσεως στη συγκεκριμένη γραμμή.

Σταθμός: Ο κωδικός του σταθμού της γραμμής.

Έναρξη Δρομολογίου: Η ώρα που αρχίζει το εκάστοτε δρομολόγιο (Ο συρμός φεύγει από τον σταθμό).

Λήξη Δρομολογίου: Η ώρα που τελειώνει το εκάστοτε δρομολόγιο (Ο συρμός φτάνει στον επόμενο σταθμό).

Ημερομηνία: Η Ημερομηνία που εκτελούνται τα δρομολόγια.

KLM Δρομολογίου: Ο αριθμός χιλιομέτρων από τον σταθμό που αρχίζει το εκάστοτε δρομολόγιο μέχρι τον επόμενο σταθμό.

Αριθμός Δρομολογίου: Ο κωδικός (ID) του δρομολογίου.

Συνδεδεμένος Σταθμός Interchange: Ο Σταθμός Interchange της συνδεδεμένης γραμμής (αν υπάρχει, δηλαδή αν ο σταθμός που αρχίζει το δρομολόγιο συνδέεται με σταθμό Interchange άλλης γραμμής, αλλιώς παίρνει την τιμή “NONE”).

Γραμμή Συνδεδεμένου Σταθμού Interchange: Η γραμμή στην οποία ανήκει ο συνδεδεμένος σταθμός Interchange (αν υπάρχει, όπως παραπάνω, αλλιώς παίρνει την τιμή “NONE”).

Υπαρξη Σταθμού Συντηρήσεως σε Γραμμή Συνδεδεμένου Σταθμού Interchange: Δείχνει αν υπάρχει Σταθμός Συντηρήσεως στη συνδεδεμένη γραμμή (αν υπάρχει, όπως παραπάνω, αλλιώς παίρνει την τιμή “NONE”).

6.6 Πίνακες Αποτελεσμάτων

Στη δεύτερη κατηγορία πινάκων (Σχήματα 1.1.14 και 1.1.15) έχουμε τους πίνακες των αποτελεσμάτων της αναζητήσεως βέλτιστης διαδρομής του τρένου με τον μέγιστο αριθμό χιλιομέτρων. Οι πίνακες αυτοί προκύπτουν από τους πίνακες της πρώτης κατηγορίας μετά από επεξεργασία των δεδομένων τους. Αποτελούνται από τα εξής πεδία:

Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή: Δείχνει αν υπάρχει Σταθμός Συντηρήσεως στη γραμμή που θα καταλήξει ο Συρμός μετά το πιθανό Interchange.

Γραμμή: Η γραμμή που θα καταλήξει ο συρμός μετά το πιθανό Interchange.

Σταθμός: Ο σταθμός που θα καταλήξει ο συρμός μετά το πιθανό Interchange.

Δρομολόγιο Γραμμής: Το δρομολόγιο που θα αναλάβει ο συρμός μετά το πιθανό Interchange.

Ωρα Αναχωρήσεως: Η ώρα που θα αναχωρήσει το παραπάνω δρομολόγιο.

Σταθμός Προελεύσεως: Ο σταθμός Interchange από όπου προήλθε ο συρμός.

Γραμμή Προελεύσεως: Η γραμμή από όπου προήλθε ο συρμός.

Υπάρχει Συντήρηση στη Γραμμή Προελεύσεως (Μόνο για τον πίνακα “1ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών”): Δείχνει αν υπάρχει Σταθμός Συντηρήσεως στη γραμμή όπου βρίσκεται ο συρμός πριν το πιθανό Interchange.

6.7 Επεξήγηση – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Το πρόγραμμα αφού επεξεργαστεί καταλλήλως τα στοιχεία των πινάκων της πρώτης κατηγορίας, εμφανίζει τον συρμό με τον μεγαλύτερο αριθμό διανυθέντων χιλιομέτρων από την προηγούμενη συντήρηση (Σχήματα 1.1.14 και 1.1.15) ο οποίος στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ο συρμός TR04 της γραμμής L4 και κατόπιν εμφανίζει όλες τις δυνατότητες μεταπηδήσεως του στις υπόλοιπες γραμμές για το υπόλοιπο της ημέρας. Το πρόγραμμα διαλέγει και παρουσιάζει εκείνες τις δυνατότητες αλλαγής γραμμής που γίνονται πρώτες έτσι ώστε να προτιμά τα Interchanges που οδηγούν σε πιο γρήγορη κατάληξη σε Σταθμό Συντηρήσεως. Αυτή την προτίμηση την λάβαμε αυθαιρέτως καθώς οι προτιμήσεις του προγράμματος καθορίζονται κατόπιν συζητήσεως με τον προϊστάμενο της Λειτουργίας. Άλλα κριτήρια που θα μπορούσαν να ληφθούν υπ'όψιν είναι ο αριθμός συνολικών Interchanges ή κάποιοι σταθμοί Interchange να προτιμώνται σε σχέση με άλλους.

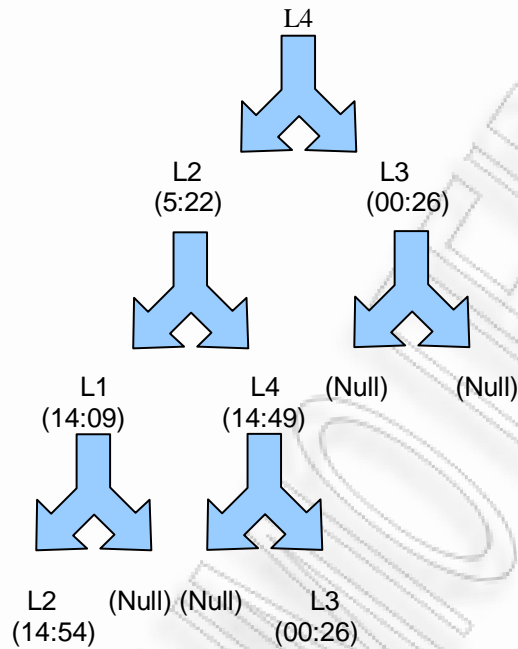
Πρέπει να διευκρινιστεί επίσης ότι το πρόγραμμα δεν σταματάει σκοπίμως όταν βρεθεί Interchange με Σταθμό Συντηρήσεως στη γραμμή μεταβίβασης και αυτό διότι πιθανώς η Συντήρηση της συγκεκριμένης γραμμής μπορεί να μην είναι διαθέσιμη ή για κάποιους άλλους λόγους που γνωρίζει η Λειτουργία να μην προτιμηθεί η Συντήρηση της συγκεκριμένης γραμμής. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται δηλαδή παρέχουν πληροφορίες για τη Λειτουργία οι οποίες θα ήταν χρήσιμες και για άλλα προβλήματα που μπορεί να προέκυπταν, για παράδειγμα, δρομολόγηση συρμού που έχει υποστεί βλάβη εκτάκτως σε κάποιον Σταθμό Συντηρήσεως (Οι Σταθμοί Συντηρήσεως συνήθως είναι υπεύθυνοι και για τις επισκευές βλαβών στους συρμούς). Κάτι άλλο που θα μπορούσε να συμβεί είναι, για παράδειγμα, ένας σταθμός Interchange να μην είναι διαθέσιμος για μετεπιβίβαση οπότε ίσως χρειαστεί η προσέγγιση μιας γραμμής από μια εναλλακτική οδό (μέσω Interchanges).

Διαβάζοντας το προσωπικό της Λειτουργίας τα αποτελέσματα που αναγράφονται στους πίνακες θα πρέπει να μπορεί να καταλάβει και να εκτελέσει το αποτέλεσμα που προτείνεται. Τα πεδία που πρέπει κανείς να προσέξει για την ανάγνωση των αποτελεσμάτων είναι τα **Γραμμή Προελεύσεως, Γραμμή και Ώρα Αναχωρήσεως**. Τα υπόλοιπα πεδία είναι σαφή άμεσα στον αναγνώστη. Κάθε επίπεδο δυνατής ανταλλαγής συρμών αφορά τα επίπεδα του δυαδικού δένδρου επιλογών ανα γραμμή.

Ο συρμός TR04 βρίσκεται στη γραμμή 4 (L4) αρχικά. Ο πρώτος πίνακας (“**1ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών**”) έχει ως δυνατά Interchanges αυτά που γίνονται στις γραμμές L2 και L3 με ώρα ενάρξεως των αντίστοιχων δρομολογίων 05:22 το πρωί και 00:26 τα μεσάνυχτα. Το πρόγραμμα προφανώς λαμβάνει ως πιθανά τα περαιτέρω Interchanges που γίνονται στις γραμμές αυτές μετά από τις ώρες ενάρξεως των αντίστοιχων δρομολογίων.

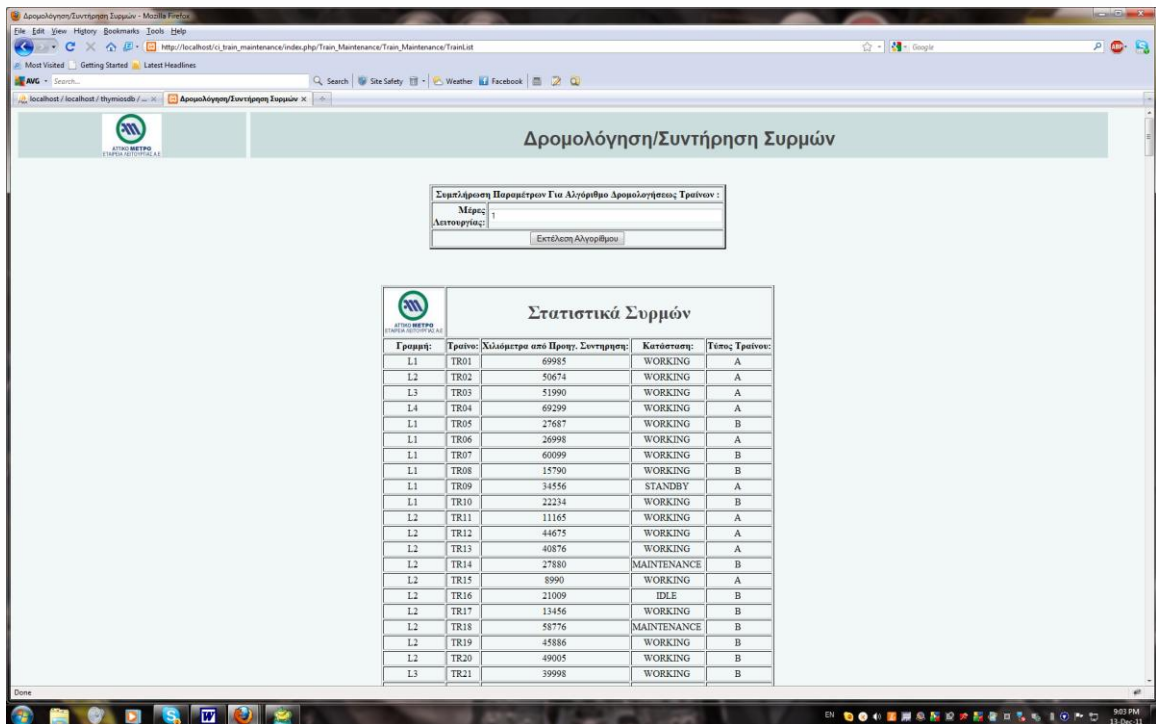
Στον δεύτερο πίνακα (“**2ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών**”) παρατηρούμε ότι Γραμμή Προελεύσεως έχουμε μόνο τη Γραμμή 2. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί Interchange από τη Γραμμή 3 μετά τις 00:26 τα μεσάνυχτα. Στο πεδίο “Γραμμή” μπορούν να γίνουν Interchanges στη γραμμή 1 και στη γραμμή 4 με ώρα ενάρξεως των αντίστοιχων δρομολογίων 14:09 και 14:49 (Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι έχουμε βάλει ως χρόνο εκτελέσεως ενός Interchange το 1 λεπτό της ώρας και ότι το Interchange αυτό μπορεί να εκτελεστεί 1 λεπτό πριν από τους αναγραφόμενους χρόνους αναχωρήσεως).

Στον τρίτο πίνακα (“**3ο Επίπεδο Δυνατής Ανταλλαγής Συρμών**”) έχουμε γραμμές προελεύσεως τις γραμμές 1 και 4 με δυνατά Interchanges τις γραμμές 2 και 3 με ώρες αναχωρήσεως τις 14:54 και 00:26 αντιστοίχως.

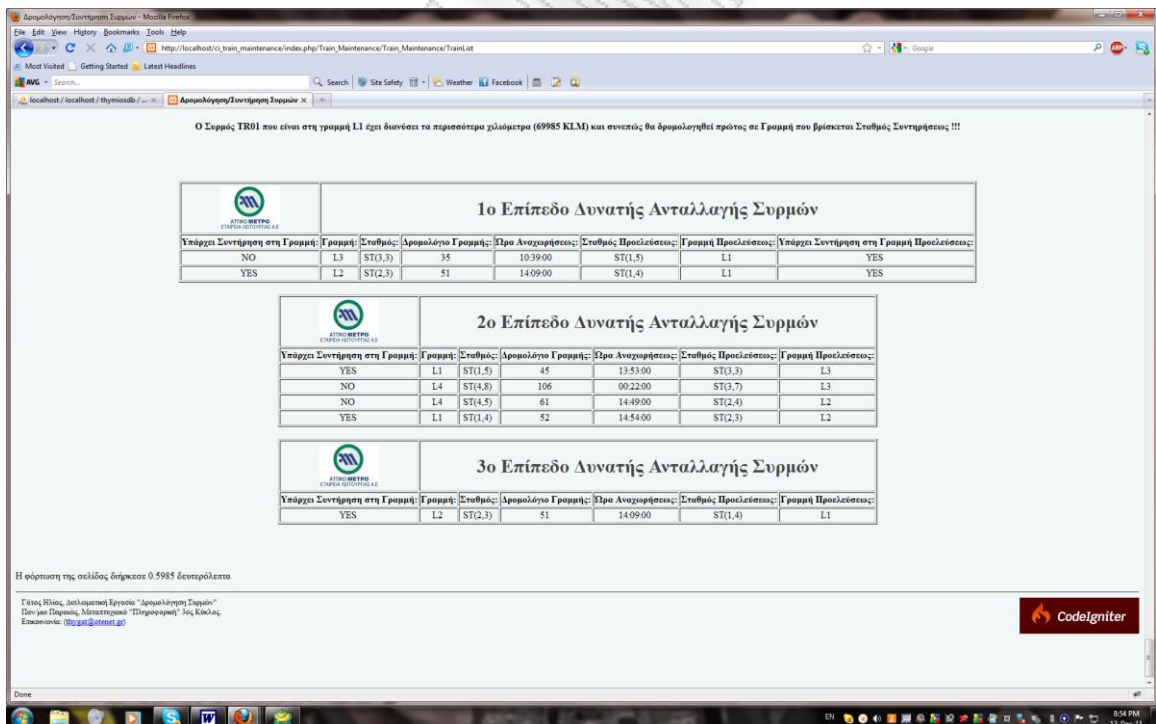


Το ανωτέρω δυαδικό δέντρο μας δείχνει τις δυνατότητες Interchange του συρμού TR04 από τη γραμμή 4, στις άλλες γραμμές. Σταθμοί Συντηρήσεως υπάρχουν στις γραμμές 1 και 2 οπότε ο συρμός πραγματοποιεί Interchange στις (05:21) στη γραμμή 2 (η χρονική στιγμή που θα γίνει το Interchange θα είναι τουλάχιστον 1 λεπτό της ώρας πριν την έναρξη του επομένου δρομολογίου) και αν συντρέχουν λόγοι (π.χ. ο σταθμός συντηρήσεως της γραμμής 2 είναι κατειλημένος όλη τη μέρα), πραγματοποιεί μετά και δεύτερο Interchange στις (14:08) στη γραμμή 1.

Ας δούμε ένα ακόμα παράδειγμα: Αλλάζουμε στη Βάση Δεδομένων μας στον πίνακα **trains_lines** τα χιλιόμετρα του συρμού TR01 από 59985 σε 69985 οπότε κάνοντας reload το tab της εφαρμογής στον browser, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα στον πίνακα “Στατιστικά Συρμών” (Σχήμα 2.1.1) καθώς και στους πίνακες των αποτελεσμάτων (Σχήμα 2.1.2). Οι ενδιαμέσοι πίνακες “Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων” δεν επηρεάζονται από την αλλαγή.



Σχήμα 2.1.1



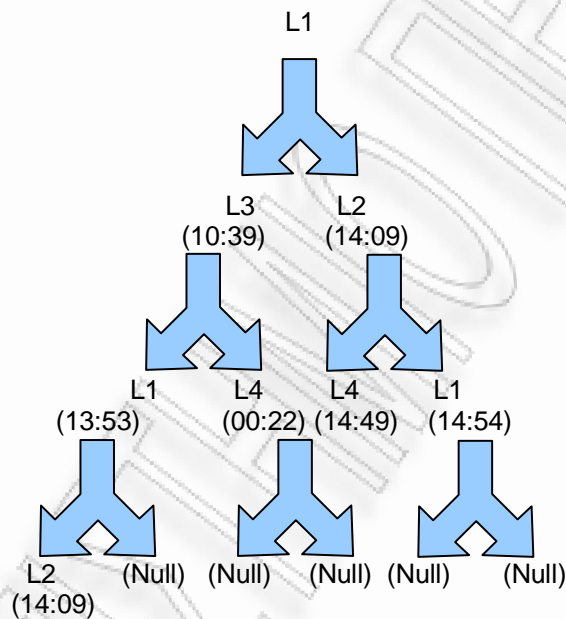
Σχήμα 2.1.2

Προφανώς η αλλαγή έγινε έτσι ώστε ο συρμός με τον μεγαλύτερο αριθμό διανυθέντων χιλιομέτρων να γίνει ο “TR01”. Το πρόγραμμα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.2 ανταποκρίθηκε στην αλλαγή αυτή αναλύοντας και παρουσιάζοντας τα δυνατά Interchanges για αυτόν τον συρμό ξεκινώντας από τη γραμμή 1. Όπως επίσης φαίνεται και στο σχήμα, ο συρμός στο πρώτο επίπεδο ανταλλαγής ξεκινά από τη γραμμή 1 (Η οποία διαθέτει σταθμό συντηρήσεως οπότε μια πιθανή λύση για τη Αναζήτηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης κατά την Προληπτική Συντήρηση Συρμών Σιδηροδρομικών Δικτύων

λειτουργία είναι να μην γίνουν Interchanges και ο συρμός να αποσυρθεί στο τέλος του Routing Plan για τη συγκεκριμένη μέρα) και μπορεί να πραγματοποιήσει Interchange στις (10:38) στη γραμμή 3 ή στις (14:08) στη γραμμή 2 όπου υπάρχει κι εκεί σταθμός συντηρήσεως.

Στο δεύτερο επίπεδο δυνατής ανταλλαγής συρμών, ο συρμός μπορεί να μεταπηδήσει από τη γραμμή 3 στις γραμμές 1 και 4 στις (13:52) και στις (00:21) αντιστοίχως, και από τη γραμμή 2 στις γραμμές 4 και 1 στις (14:48) και στις (14:53) αντιστοίχως.

Τέλος, στο τρίτο επίπεδο ο συρμός "TR01" μπορεί να μεταπηδήσει από τη γραμμή 1 στη γραμμή 2 στις (14:08). Προφανώς αυτή η αλλαγή προκύπτει από το "παρακλάδι" L1 => L3 => L1 => L2 όπου τα ωράρια των δρομολογίων το επιτρέπουν. Αυτό γίνεται πιο σαφές στο παρακάτω διάγραμμα.



6.8 Αντοχή της εφαρμογής σε αλλαγές στη βάση δεδομένων

Η εφαρμογή είναι σχεδιασμένη κατά τέτοιον τρόπο ώστε να λειτουργεί για οποιαδήποτε αλλαγή στη βάση δεδομένων (που αφορά το περιεχόμενο των πεδίων των πινάκων και όχι π.χ. την αλλαγή του ονόματος των πεδίων) χωρίς καμία μετατροπή στον κώδικα. Δεν χρειάζονται αλλαγές ακόμα και αν κάποια δομικά στοιχεία του δικτύου αλλάξουν, ενώ μικρές τροποποιήσεις θα χρειαστούν αν αλλάξουν κάποια άλλα συγκεκριμένα δομικά στοιχεία του δικτύου.

Πιο συγκεκριμμένα δεν χρειάζεται να υπάρξει καμία τροποποίηση στον κώδικα εαν:

- Αλλάξουν οποιαδήποτε δεδομένα του πίνακα "Στατιστικά Συρμών". Αυτά είναι και τα πιο ευμετάβλητα στοιχεία του συστήματος καθώς υπόκεινται σε καθημερινή αλλαγή. Για παράδειγμα κάθε φορά που ένας συρμός τελειώνει το δρομολογίό του, ενημερώνεται η βάση δεδομένων για αλλαγή των αντίστοιχων χιλιομέτρων, καθώς και για τη θέση του συρμού και τη διαθεσιμότητά του.
- Αλλάξουν οποιαδήποτε δεδομένα στον πίνακα "Στατιστικά Γραμμών/Σταθμών/Δρομολογίων" που αφορούν τα Δρομολόγια (π.χ. Έναρξη/Λήξη δρομολογίων, χρονικό εύρος συνόλου δρομολογίων κ.τ.λ.).
- Προσθεθούν σταθμοί στο δίκτυο, είτε αποτελούν προέκταση αυτού, είτε αποτελούν ενδιάμεσους σταθμούς μεταξύ δύο προηγουμένως γειτονικών σταθμών.

- Προστεθούν Σταθμοί Συντηρήσεως στο δίκτυο.
- Προστεθούν Σταθμοί Interchange στο δίκτυο, δηλαδή οι γραμμές να συνδέονται (τέμνονται) και σε άλλα σημεία, αρκεί κάθε Σταθμός Interchange να συνδέει δύο γραμμές και όχι περισσότερες.

Μικρές τροποποιήσεις θα χρειαστούν εαν προστεθούν γραμμές στο δίκτυο (πρέπει να ενημερωθεί το πρόγραμμα στα σημεία όπου πρέπει να διαλέξει τον πίνακα των δρομολογίων που αφορούν μια συγκεκριμένη γραμμή).

Θα χρειαστεί επίσης μια μικρή τροποποίηση εαν θελήσουμε τα κριτήρια βελτιστοποίησης να είναι άλλα από αυτό που παρουσιάζεται εδώ (Το πρόγραμμα προτιμά τα Interchanges που είναι δυνατόν να γίνουν πρώτα όσον αφορά έναν συγκεκριμένο σταθμό Interchange και αυτό γιατί τα συνεργεία που πραγματοποιούν τα Interchanges προτιμούν τις πρωινές βάρδιες) όπου θα φιλτράρονται τα αποτελέσματα στην αντίστοιχη συνάρτηση βελτιστοποίησης με βάση άλλο ή άλλα κριτήρια.

Μεγαλύτερες τροποποιήσεις θα χρειαστούν αν δημιουργηθούν Σταθμοί Interchange που επικοινωνούν με παραπάνω από δύο γραμμές. Αυτό γιατί η σχέση στη βάση δεδομένων των Σταθμών Interchange με τις γραμμές ή τους σταθμούς που συνδέονται είναι 1-1.

6.9 Επεκτασιμότητα

Η εφαρμογή σχεδιαστηκε για να προτείνει ένα σύνολο βολικών διαδρομών που θα ακολουθήσει ένας συρμός με μέγιστο αριθμό διανυθέντων χιλιομέτρων προκειμένου να βρεθεί σε γραμμή που διαθέτει Σταθμό Συντηρήσεως. Η υλοποίηση της διαδικασίας αυτής επιτρέπει και μια σειρά από επεκτάσεις καθώς σε πολλές περιπτώσεις που προκύπτουν σε ένα σιδηροδρομικό δίκτυο, χρειάζεται να γίνει αλλαγή ή απόσυρση των συρμών που πραγματοποιούν μια σειρά δρομολογίων, με άλλους που λειτουργούν ήδη ή βρίσκονται σε διαθεσιμότητα. Κάποιες από αυτές είναι, πέραν από τη **Διαδικασία Καθαρισμού των Συρμών** (που μπορεί να θεωρηθεί κι αυτή ως συντήρηση με την ευρεία έννοια καθώς εκτελείται κι αυτή στους Σταθμούς Συντηρήσεως), η **Διαχείριση Βλαβών των Συρμών** (όταν υποστούν βλάβη οι συρμοί αποσύρονται αμέσως και αντικαθίστανται απο συρμούς σε διαθεσιμότητα) και η **Διαχείριση Ρυθμού Συντηρήσεως των Συρμών** η οποία ασχολείται με την ανάθεση δρομολογίων στους συρμούς κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ένας σταθερός ρυθμός συρμών που έχουν ανάγκη να δρομολογηθούν για συντήρηση. Το τελευταίο όπως γίνεται κατανοητό είναι ευρύτερο του προβλήματος που εξετάζουμε εδώ, καθώς όταν αποφασιστεί ποιός συρμός χρειάζεται να συντηρηθεί με βάση το πλαίσιο κανόνων του συστήματος συντηρήσεως, τότε θα μπορεί η λειτουργία να εκτελέσει την εφαρμογή μας ώστε ο συγκεκριμένος συρμός να προωθηθεί σε γραμμή που βρίσκεται Σταθμός Συντηρήσεως και να συντηρηθεί. Η εφαρμογή δηλαδή μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα ευρύτερο πρόγραμμα που αφορά το ρυθμό συντηρήσεως των συρμών.

7. Συμπεράσματα

Είναι σαφές ότι στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δεν ήταν δυνατόν να ληφθούν υπ'όψιν όλες οι παραλλαγές και οι περιορισμοί του προβλήματος της προληπτικής συντηρήσεως, το οποίο σχετίζεται και εξαρτάται και από άλλα προβλήματα του προγραμματισμού λειτουργίας του σιδηροδρομικού δικτύου. Η έρευνα έδειξε ότι, όσο και να προσεγγίζουν τα μαθηματικά μοντέλα την πραγματικότητα, η βοήθειά τους είναι συμβουλευτική. Οι λύσεις που προτείνουν δεν είναι αυτοτελείς αλλά αλληλεπιδρούν με την όλη λειτουργία του δικτύου και προσαρμόζονται σε αυτήν. Προτείνουν Τροποποίηση τουλάχιστον του βραχυπροθέσμου σχεδιασμού των τακτικών δρομολογίων και εμπλέκουν προσωπικό διαφόρων βαθμίδων, όπως προσωπικό αλλαγής τροχιών στους σταθμούς (**Shunting Crew**), υπεύθυνους του τοπικού προγραμματισμού κινήσεως (**Local Planners**) κλπ. Ετσι, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογηθούν και

εγκριθούν από τους εμπλεκόμενους και αρμόδιους πριν επιλεγούν και εφαρμοσθούν. Επειδή η φύση του προβλήματος απαιτεί, για οποιαδήποτε λύση, να ληφθεί απόφαση μέσα στις τρεις επόμενες ημέρες, τα μοντέλα πρέπει να μπορούν να επεξεργασθούν το πρόσφατο πληροφοριακό υλικό σε εύλογο χρόνο. Σε αυτή την κατεύθυνση βοηθάει η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστού η οποία μέσω της βάσεως δεδομένων μπορεί να εξασφαλίσει άμεση λήψη στοιχείων για το δίκτυο. Η παρούσα εργασία δίνει μία εικόνα του τι βοήθεια μπορεί να παρέξει αυτή η δυνατότητα. Μελλοντικά ίσως μία *on line* παρακολούθηση του δικτύου με δυνατότητες άμεσου ελέγχου στις διαδικασίες του δικτύου μέσω αυτοματισμών να προσέγγιζε καλύτερα το πρόβλημα. Επομένως τα μαθηματικά μοντέλα τα οποία παρουσιάστηκαν εδώ δεν δίνουν λύσεις άμεσα χρησιμοποιήσιμες στην πράξη αλλά βοηθούν να κατανοήσουμε το πρόβλημα και τους αρμόδιους να πάρουν αποφάσεις.

8. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Maroti, Gabor
Operations research models for railway rolling stock planning / Gabor Maroti. { Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, 2006.
Proefschrift. { ISBN 90-386-0744-X. { ISBN 978-90-386-0744-3
- [2] Fioole, P.J., Kroon, L.G., Mar_oti, G., Schrijver, A. (2004)
A Rolling Stock Circulation Model for Combining and Splitting of Passenger Trains. CWI Research Report PNA{E0420, Center for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, The Netherlands.
To appear in European Journal of Operational Research.
- [3] Maroti, G., Kroon, L.G. (2004). Maintenance Routing for Train Units: the Scenario Model. CWI Research Report PNA{E0414, Center for Mathematics and Computer Science, Amsterdam, The Netherlands. Revised version with the title Maintenance Routing For Train Units: the Interchange Model to appear in Computers and Operations Research.
- [4] G. Maroti, LG. Kroon
Maintenance Routing for Train Units: the Transition Model
Report PNA=E9415 August 2004
- [5] G. Maroti, LG. Kroon
Maintenance Routing for Train Units: the Scenario Model
CWI Research Report 2004
- [6] K.Ziarati, F. Soumis, J. Desrosiers, 1997. Locomotive Assignment Using Train Delays. GERAD Publication G-97-27. GERAD 3000 chemin de la Côte Sainte Catherine, Montreal, Canada
- [7] K. Ziarati, , F. Soumis, J. Desrosiers, M. M. Solomon, Aug. 1999.
A Branch-first, Cut-second Approach for Locomotive Assignment. Management Science Journal. Vol.45, No 8, August 1999, pp 1156-1168.
- [8] Norbert Lingaya, Jean-François Cordeau, Guy Desaulniers, Jacques Desrosiers, François Soumisin Transportation Research Part B: Methodological(2002)
Operational car assignment at VIA Rail Canada
- [9] L.Anderegg, I Stephan, E. Gantenbein, I Stature, *Train Routing Algorithms: Concepts, Design Choices, and Practical Considerations* Proceedings of the 5th Workshop on Algorithm Engineering and Experiments, Baltimore, Maryland,

Januar 2003.

- [10] Alexander Schrijver¹, Ramon M. Lentink,² Leo G. Kroon
 Shunting of Passenger Train Units:
 an Integrated Approach
 Rotterdam School of Management, Erasmus Transportation Science 42(4):436-449
 (2008)
- [11] Apragmatic algorithm for the train-set routing: The case of Korea
 high-speed railway_
 Sung-Pil Hong^a, Kyung Min Kim^b, Kyungsik Lee^c, Bum Hwan Park^{d,*}
 a. Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Republic of
 Korea
 b. Railway Policy and Logistics Department, Korea Railroad Research
Institute, Republic of Korea
 c. School of Industrial and Management Engineering, Hankuk University of
 Foreign Studies, Republic of Korea
 d. Department of Management Information System, Korea National Railroad
 College, 374-18, Worm-Dong, Uiwang-Si, Gyeonggi-Do, 437-763,
 Republic of Korea
 Received 25 August 2006; accepted 31 March 2008
- [12] Στην ακόλουθη διεύθυνση βρίσκουμε βιβλία για τα θέματα αυτής της εργασίας:
<http://books.google.gr/books?id=43YgMiUx7ooC&pg=PA887&lpg=PA887&dq=anderegg.+trains.+locomotive+railways&source=bl&ots=GWL4H87-yM&sig=75lsC4d23HGFHfEspIGW1JSItYE&hl=el&sa=X&ei=KyUpT6u5Nc64hAfp6SUBQ&ved=0CEwQ6AEwBA#v=onepage&q=anderegg%2C%20trains%2C%20locomotive%20railways&f=false>