

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ**

ΠΑΡΛΑΝΤΖΑΣ Β. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Η/Υ ΑΠΘ, 2012

***ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:
ΖΗΛΙΑΣΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΛΟΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ***

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

© 2016 Αθανάσιος Παρλάντζας

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται και οι σπουδές μου σαν μεταπτυχιακός φοιτητής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών και για αυτό το λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν και με βοήθησαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους επιβλέποντες της διπλωματικής αυτής, τόσο για την ευκαιρία που μου έδωσαν να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, όσο και για την συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια σε κάθε εμπόδιο που συναντήσαμε. Ευχαριστώ επίσης την οικογένεια μου για την αμέριστη και πολύχρονη συμπαράσταση και υποστήριξη της σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τους συνεργάτες που με την παρουσία τους με βοήθησαν να πετύχω τους στόχους που έθεσα σαν μεταπτυχιακός φοιτητής.

Στον πατέρα μου Βασίλη

Παρλάντζας Αθανάσιος
Οκτώβριος 2016, Τύρναβος



Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναλυτική παρουσίαση του Ελληνικού Σιδηροδρομικού Δικτύου και η προσπάθεια για βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του. Δηλαδή, εξετάζεται η ισχύουσα κατάσταση του σιδηρόδρομου και προτείνεται μία νέα μέθοδος δρομολόγησης – κυκλοφορίας των συρμών. Πιο αναλυτικά, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται λόγος για το σιδηροδρομικό δίκτυο στην Ελλάδα, ιστορική αναδρομή του ΟΣΕ και παρουσιάζονται έργα σε εξέλιξη και μελλοντικά. Ακολούθως στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται το σύστημα σηματοδότησης και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιεί. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η χωρητικότητα της σιδηροδρομικής γραμμής και τονίζεται η σκοπιμότητα της. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η Πέδη, οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την εφαρμογή της και προσδιορίζονται τα απαραίτητα μήκη πεδήσεως ανάλογα τον τύπο του συρμού και την ταχύτητα κίνησης. Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται το παρών σύστημα σηματοδότησης, τα μειονεκτήματά του, η χωρητικότητα του σιδηροδρομικού δικτύου στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ και προτείνεται ένα νέο σύστημα σηματοδότησης με μεταβλητά τμήματα γραμμής (moving blocks). Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ο Solver του excel, καταστρώνονται οι συναρτήσεις του προβλήματος και γίνεται η επίλυση του. Επίσης, υπολογίζεται η νέα χωρητικότητα του τμήματος της γραμμής που μελετάμε και παρατίθενται μερικά σενάρια δρομολόγησης διάφορων τύπων τρένων.

Περιεχόμενα

	Σελ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Ο ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ	6
1.1 Ορισμός και περιγραφή του συστήματος	6
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης σιδηρόδρομου	7
1.3 Ιστορική Αναδρομή	7
1.4 Η ιστορία του σιδηροδρόμου στην Ελλάδα	11
1.4.1 Γενικά	11
1.4.2 Θεσσαλία και Μακεδονία	13
1.4.3 Αττική και Πελοπόννησος	15
1.4.4 Η Ελλάδα διπλασιάζεται	16
1.4.5 Ίδρυση και λειτουργία του ΟΣΕ	17
1.5 Ο σιδηρόδρομος στην Ελλάδα στις ημέρες μας	17
1.6 Έργα σε εξέλιξη και μελλοντικά έργα	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ	21
2.1 Ορισμός σηματοδότησης	21
2.2 Χρησιμότητα της σηματοδότησης	21
2.3 Σκοπιμότητα της σηματοδότησης	21
2.4 Ορισμός block – τμήματος γραμμής	22
2.5 Ιστορική αναδρομή	22
2.6 Σήματα και Ενδείξεις	25
2.7 Χρήσιμοι ορισμοί	26
2.8 Εξοπλισμός σηματοδότησης	26
2.8.1 Συστήματα ανίχνευσης παρουσίας συρμών	26
2.8.1.1 Κυκλώματα γραμμής	27
2.8.1.2 Μετρητές Αξόνων	28
2.8.2 Οι διατάξεις ελέγχου και κίνησης των αλλαγών	29
2.8.3 Πίνακας – χειριστήριο σταθμάρχη	30
2.8.4 Οι καλωδιώσεις της σηματοδότησης	31
2.8.5 Διατάξεις ηλεκτρικής τροφοδοσίας	32
2.8.6 Τα φωτισήματα	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Η ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	35
3.1 Ορισμοί	35
3.2 Χαρακτηριστικά – διακρίσεις	35
3.3 Σκοπιμότητα	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Η ΠΕΔΗ ΚΑΙ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΠΕΔΗΣΕΩΣ	37
4.1 Γενικά	37
4.2 Δυνάμεις κατά την πέδη – Θεωρία τριβών	37
4.3 Ικανότητα πέδης – Προσδιορισμός μήκους πεδήσεως	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	43
5.1 Εισαγωγή – ETCS και επίπεδα	43
5.2 Προσδιορισμός του προβλήματος – Ισχύουσα κατάσταση	43
5.2.1 Ισχύουσα κατάσταση στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ	46
5.2.2 Μειονεκτήματα ισχύουσας κατάστασης	54
5.3 Νέα μέθοδος – Σηματοδότηση μεταβλητών τμημάτων γραμμής	55
5.3.1 Εισαγωγή	55
5.3.2 Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας	56
5.3.3 Αρχές του συστήματος	60
5.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα moving blocks	64
5.3.4.1 Πλεονεκτήματα	64
5.3.4.2 Μειονεκτήματα	65
5.3.5 Συστήματα – χώρες που χρησιμοποιούν σηματοδότηση με μεταβλητά τμήματα γραμμής	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Η ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	68
6.1 Εισαγωγή – Μοντέλα βελτιστοποίησης	68
6.2 Περιγραφή των δεδομένων του προβλήματος μας	68
6.3 Επίλυση με την χρήση του Solver	71
6.3.1 Γενικά	71
6.3.2 Αλγεβρική διατύπωση του προβλήματος	72
6.3.3 Κατάστρωση του μοντέλου μέσω excel	73
6.3.4 Χρήση του Solver – Επίλυση	75
6.3.5 Επίλυση του προβλήματος μόνο για εμπορικές αμαξοστοιχίες – cargo	80
6.3.6 Επίλυση του προβλήματος για 1 Inter City αμαξοστοιχία και εμπορικές αμαξοστοιχίες – cargo κατά την διάρκεια νυχτερινών δρομολογίων	81
6.3.7 Επίλυση του προβλήματος με μείωση της ταχύτητας των επιβατικών αμαξοστοιχιών κατά 20 χλμ/ώρα, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό τους	82
6.3.8 Επίλυση του προβλήματος με διάφορα σενάρια ταχύτητας συρμών και απόστασης πέδης	85
6.3.9 Ανάλυση ευαισθησίας	87
6.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	91
7.1 Συμπεράσματα	91
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΣ

1.1 Ορισμός και Περιγραφή του Συστήματος

Ο σιδηρόδρομος είναι συρμός οχημάτων, που μπορεί να κινηθεί πάνω σε δυο σταθερά συνδεδεμένες παράλληλες σιδηροτροχιές. Αποτελεί ένα χερσαίο μέσο μαζικής μεταφοράς. Κινείται ηλεκτρικά ή μηχανικά και μεταφέρει επιβάτες και εμπορεύματα σε αστικό και περιφερειακό περιβάλλον. Η εμφάνιση του σιδηρόδρομου μπορεί να τοποθετηθεί στις αρχές του 18^{ου} αιώνα, με την χρησιμοποίηση της ατμομηχανής ως μηχανής έλξης.

Ως μέσο μεταφοράς ορίζεται από τρεις συνιστώσες:

A) Την σιδηροδρομική υποδομή, δηλαδή την σιδηροδρομική γραμμή και το σύνολο των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των συρμών

B) Το τροχαίο υλικό, δηλαδή τα οχήματα, έλκοντα και ελκόμενα, που κινούνται πάνω στις σιδηροτροχιές και υλοποιούν άμεσα ή έμμεσα τις σιδηροδρομικές μεταφορές

Γ) Την εκμετάλλευση, δηλαδή το σύνολο των δραστηριοτήτων μέσω των οποίων μια σιδηροδρομική επιχείρηση εξασφαλίζει την κυκλοφορία του τροχαίου υλικού που διαθέτει, στην σιδηροδρομική υποδομή

Ο σιδηρόδρομος είναι η μόνη τεχνολογία που κατά την διάρκεια της εξελικτικής του πορείας γνώρισε πολλά скаμπανεβάσματα. Αρχικά, αποτέλεσε μέσο μεγάλης ακμής (18^{ος} αιώνας – βλέπε σχήμα 1.1), πέρασε στη συνέχεια σε μια περίοδο έντονης αμφισβήτησης και την τελευταία δεκαετία κατόρθωσε, όχι μόνο να ανακάμψει αλλά να αποτελεί και για τις περισσότερες χώρες τεχνολογία αιχμής.



Σχήμα 1.1: Τρένο 18ου αιώνα

Στις χερσαίες μεταφορές, ο σιδηρόδρομος κράτησε τα ηνία ως μέσο μεταφοράς για πάνω από 100 χρόνια (1830-1950). Με τα τρένα μεταφερόταν οι επιβάτες και τα αγαθά από τις παραλιακές πόλεις - που γνώριζαν άνθιση λόγω του θαλάσσιου εμπορίου - στην ενδοχώρα. Από την δεκαετία του 1950 και έπειτα ο σιδηρόδρομος γνωρίζει μια εποχή μεγάλης παρακμής και τα σιδηροδρομικά δίκτυα βρίσκονται σε οικονομικό αδιέξοδο. Σε αυτό συντέλεσαν η ραγδαία εξέλιξη του αυτοκινήτου καθώς και η οικονομική ύφεση στις περισσότερες χώρες. Τα τελευταία 25 χρόνια η αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στα μεγάλα οικονομικά κέντρα, η δραματική αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στους δρόμους και η αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθιστούν ολοένα και περισσότερο επιτακτική την χρήση του σιδηρόδρομου.

1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Χρήσης Σιδηροδρόμου

Ο σιδηρόδρομος σε σχέση με τα άλλα μέσα μεταφοράς παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- 1) Μεγάλη μεταφορική ικανότητα, καθώς με μόνο ένα κινητήριο σιδηροδρομικό όχημα μπορεί να μεταφερθεί φορτίο ίσο με αυτό μερικών δεκάδων οδικών οχημάτων
- 2) Ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων, ένα σιδηροδρομικό όχημα μπορεί να κινείται με ασφάλεια σε ταχύτητες που φτάνουν τα 200 χλμ/ώρα
- 3) Ασφάλεια μεταφοράς, ο σιδηρόδρομος παρουσιάζει στατιστικά τα λιγότερα ατυχήματα (θανατηφόρα)
- 4) Ανεξαρτησία από τα καιρικά φαινόμενα, δρομολόγια πραγματοποιούνται και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (πάγος, χιόνι, ομίχλη)
- 5) Μέσο φιλικό προς το περιβάλλον, τα σύγχρονα τρένα λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια και δεν ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα
- 6) Μικρό εύρος κατάληψης, μία διπλή σιδηροδρομική γραμμή καταλαμβάνει το 1/3 του χώρου που καταλαμβάνει ένας αυτοκινητόδρομος διπλής κυκλοφορίας (για μήκος 1 χιλιομέτρου και τα δυο)

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα, ο σιδηρόδρομος παρουσιάζει και μια σειρά μειονεκτημάτων. Παρακάτω παρατίθενται μερικά:

- 1) Μεγάλο μήκος πέδησης, στο σιδηρόδρομο λόγω του μικρού συντελεστή πρόσφυσης απαιτείται μεγαλύτερο μήκος πέδησης σε σχέση με το αυτοκίνητο, για το ίδιο πεδούμενο βάρος και την ίδια ταχύτητα
- 2) Αυξημένες απαιτήσεις στην χάραξη, καθώς η μέγιστη επιτρεπτή κλίση κατά μήκος της γραμμής είναι 3% (όταν στο οδικό δίκτυο είναι 10%)
- 3) Άκαμπτο σύστημα, ο σιδηρόδρομος έχει ένα συγκεκριμένο δίκτυο με αρχικούς και τελικούς σταθμούς και δεν μπορεί να εξυπηρετήσει μετακινήσεις από «πόρτα σε πόρτα» (door to door)

1.3 Ιστορική Αναδρομή

Η σιδηροτροχιά αποτελεί το βασικό στοιχείο του σιδηροδρομικού δικτύου. Έλαβε την οριστική της μορφή γύρω στο 1500 μ.Χ. και εξελίσσεται μέχρι και σήμερα. Οι

σιδηροδρομικές γραμμές κατασκευάζονται από χάλυβα και στερεώνονται πάνω σε στρωτήρες κατασκευασμένους από ξύλο ή μπετό. Οι στρωτήρες είναι κάθετοι προς τις χαλύβδινες γραμμές και τοποθετούνται πάνω σε κατάλληλα επεξεργασμένο έδαφος, που αποτελεί την υποδομή και επιδομή της γραμμής. Το πλάτος της γραμμής ποικίλλει από 0,75m έως 1,7m, με συνηθέστερο το 1,43m.

Πρώτη εικόνα σιδηροτροχιάς συναντούμε σε ορυχεία της Βόρειας Αγγλίας περίπου το 1650 μ.Χ. Το κάρβουνο μεταφερόταν με βαγόνια που κινούνταν πάνω σε ξύλινες δοκούς. Τις ξύλινες τροχιές θα αντικαταστήσουν το 1738 μ.Χ. τροχιές κατασκευασμένες με επένδυση από χυτοσίδηρο. Ο χρόνος γέννησης του σιδηρόδρομου δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί με ακρίβεια, γιατί η ιστορία του αρχίζει με την εφαρμογή της σιδηροτροχιάς και προχωρά μέχρι την ατμομηχανή, με την οποία ταυτίστηκε.

Ο πρώτος σιδηρόδρομος είχε έλξη από ατμάμαξα, της οποίας η εμφάνιση σημειώνεται τον 18ο αιώνα και η λειτουργία της στηρίζεται στη μετατροπή του έργου της σταθερής ατμομηχανής του Βατ σε μηχανική έλξη. Αργότερα, στις αρχές του 19ου αιώνα, δύο Άγγλοι μηχανικοί πήραν δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, επειδή κατάφεραν να κατασκευάσουν ατμάμαξα, που εκινείτο σε σιδηροτροχιές. Το 1804, ο Τρέβιθικ, ο ένας από αυτούς, κίνησε τον πρώτο σιδηρόδρομο στη σιδηροτροχιά των ορυχείων του Μέρθαϊρ, στη νότια Ουαλία. Ένας συρμός 14 τόνων (5 βαγόνια με 5 τόνους ορυκτών και 10 άτομα) έκανε διαδρομή 16 χλμ., με ταχύτητα 8 χλμ. την ώρα. Η ατμάμαξα του Τρέβιθικ είχε ένα λέβητα με εσωτερική εστία, έναν οριζόντιο κύλινδρο και έναν προθερμαντήρα του νερού τροφοδοσίας.

Μετά τον πρώτο αυτό πειραματισμό υπήρξαν πολλοί που ασχολήθηκαν με το αντικείμενο του σιδηροδρόμου. Άρχισαν να κάνουν μετατροπές και δοκιμές στο μηχανισμό έλξης, στην πρόσφυση των τροχών, στις σιδηροτροχιές κ.α.. Έτσι, υπήρξαν σημαντικές και ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα του σιδηρόδρομου τα επόμενα χρόνια. Το 1829, ο Άγγλος Στέφενσον κατέρριψε το ρεκόρ ταχύτητας, με 32 χιλιόμετρα/ώρα. Η τεχνική του εφαρμόστηκε στη γραμμή Stockton-Darlington (μήκος 39 χλμ) και στη γραμμή Λίβερπουλ - Μάντσεστερ, (μήκος 110 χλμ), που εγκαινιάστηκε το 1830. Για τους περισσότερους, το έτος 1830 μ.Χ. θεωρείται σαν η αρχή της ιστορίας του σιδηρόδρομου. Το 1832 μ.Χ. αρχίζουν να κατασκευάζονται σιδηροδρομικές γραμμές στις ΗΠΑ, με πρώτη γραμμή την Charleston-Hamburg.

Το παράδειγμα της Μ. Βρετανίας και στη συνέχεια των Η.Π.Α, ακολούθησαν και άλλα ευρωπαϊκά κράτη (Γαλλία 1832 Γραμμή St. Etienne – Lyon, Βέλγιο 1835 Γραμμή Βρυξέλλες – Μαλίν, Γερμανία 1835 Γραμμή Nuremberg – Fut, 1840–1850: Ρωσία, Ολλανδία, Αυστροουγγαρία, Ισπανία, Πορτογαλία, Σκανδιναβικές χώρες). Το 1858 μ.Χ. η εταιρεία Bessemer κατασκευάζει τις πρώτες σιδηροτροχιές από χάλυβα. Η εξάπλωση και εδραίωση του σιδηροδρόμου έγινε κυρίως την περίοδο 1860-1910, αντιμετωπίζοντας και νικώντας μεγάλα τεχνικά και οικονομικά προβλήματα, όπως η διάνοιξη διαβάσεων μέσα από ορεινούς όγκους, η δημιουργία θέσεων ανεφοδιασμού, η ζεύξη μεγάλων υδάτινων ρευμάτων κ.ά..

Στις αρχές του 20ού αιώνα, η εμφάνιση των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων άλλαξαν την κατάσταση στον τομέα των μεταφορών. Η ραγδαία τελειοποίηση του αυτοκινήτου περιόρισε κατά πολύ τη χρήση του σιδηρόδρομου, ώστε άρχισε να συζητιέται μέχρι και η σκοπιμότητα της διατήρησής του. Ωστόσο, σε μεγάλες αποστάσεις και για μεγάλες ποσότητες εμπορευμάτων, ο σιδηρόδρομος αποδείχθηκε αναντικατάστατος. Χαρακτηριστικά αναφέρετε ότι οι μεταφορές των στρατιωτών και των εφοδίων και στους δύο Παγκόσμιους Πολέμους στηρίχθηκαν κατά κύριο λόγο στους σιδηροδρόμους.

Η κίνηση των αμαξοστοιχιών, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γινόταν αρχικά με ατμάμαξες, των οποίων η τεχνολογία βελτιωνόταν με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, μετά τη λήξη του Β' Παγκόσμιου Πολέμου έγινε σαφές στις εταιρίες σιδηροδρόμων ότι το κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους ήταν πολύ υψηλό. Γι' αυτό και σταδιακά οι ατμάμαξες άρχισαν να αντικαθίστανται από μηχανές έλξης ντίζελ με μεγαλύτερη απόδοση (μια διαδικασία που, διεθνώς πλέον, έχει επωνομαστεί "dieselisation"). Οι ντιζελοκίνητες μηχανές έλξης παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ατμομηχανές. Μεγαλύτερη ικανότητα έλξης βαρέων συρμών σε μεγάλες ταχύτητες, ευκολότερη τροφοδοσία και μεγαλύτερη αυτονομία καυσίμου.

Το πρώτο σιδηροδρομικό όχημα το οποίο αντικατέστησε την ατμάμαξα κινήθηκε από μια ντιζελοηλεκτρική μηχανή που κατασκευάστηκε το 1913. Το 1938 μ.Χ. οι ντιζελοκίνητες μηχανές τελειοποιήθηκαν και έγιναν πιο ανταγωνιστικές με μεγαλύτερη ισχύ. Η εξέλιξη συνεχίστηκε από οχήματα με μηχανές ντίζελ, τα οποία λειτουργούν με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Χρησιμοποιούνται ακόμη και στις ημέρες μας, ως μικρές μηχανές έλξης, ιδιαίτερα για ελιγμούς και ελαφρούς συρμούς.

Τη δεκαετία του '70, με την πρώτη κρίση του πετρελαίου εντάθηκαν οι προσπάθειες για την ηλεκτροκίνηση των συρμών, η οποία έχει σήμερα διεθνώς επικρατήσει σαν την αποδοτικότερη μορφή σιδηροδρομικής έλξης. Το πρώτο σιδηροδρομικό όχημα το οποίο κινούνταν με ηλεκτρισμό κατασκευάστηκε αρκετά χρόνια πριν, περίπου το 1830. Τα παλιά αυτά ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούνταν από μπαταρίες, οι οποίες ήταν βαριές και απαιτούσαν συχνή φόρτιση. Οι ηλεκτρικές αμαξοστοιχίες των επόμενων χρόνων δεν είχαν σύστημα τροφοδοσίας πάνω σε αυτές (πχ μπαταρίες) και λάμβαναν ισχύ από καλώδια τα οποία βρίσκονταν ψηλά πάνω από τις γραμμές ή από μια τρίτη σιδηροτροχιά παράλληλα με τις άλλες δυο.

Τα ηλεκτρικά τρένα είναι πιο οικονομικά από τα ντιζελοκίνητα, αρκεί η κυκλοφορία τους να είναι αρκετά πυκνή, για να ανταποκρίνεται στο κόστος εξηλεκτρισμού του σιδηροδρόμου. Επίσης, είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον και δεν προκαλούν μόλυνση του. Παρόλα αυτά, σε αρκετές περιοχές σε όλες σχεδόν τις χώρες του κόσμου, η κίνηση των συρμών γίνεται ακόμη με μηχανές ντίζελ.

Με τον ηλεκτρισμό κινούνται και τα μαγνητικά τρένα (MagLev, magnetic levitation που σημαίνει: μαγνητική αιώρηση), τα οποία είναι τα ταχύτερα σιδηροδρομικά οχήματα και κινούνται υπερυψωμένα σε στρώμα αέρα πάνω από μονή σιδηροτροχιά. Το 1961 μ.Χ. γίνεται η πρώτη δρομολόγηση μαγνητικών συρμών

υψηλών ταχυτήτων (έως και 200 χλμ/ώρα) στην Ιαπωνία, στη γραμμή που συνδέει το Τόκυο με την Οσάκα. Η γραμμή αυτή ονομάζεται Σικανσέν και λειτουργεί με ένα σύστημα 51 συρμών την ημέρα, με σύνολο 50.000 προσφερόμενων θέσεων. Τα τρένα αυτού του είδους εξυπηρετούν επίσης την συγκοινωνία Παρίσι–Ορλεάνη, και κινούνται στις γραμμές ICE (Γερμανία) και AVE (Ισπανία). Σε ειδικά διαμορφωμένες γραμμές, η ταχύτητα των MagLev (σχήμα 1.2) ξεπερνά τα 300 χλμ/ώρα.



Σχήμα 1.2: Μαγνητικά Τρένα MagLev

Το 2007 μ.Χ. πραγματοποιείται ρεκόρ ταχύτητας στο συμβατικό σιδηρόδρομο της Γαλλίας, με ηλεκτροκίνητο τρένο με μέγιστη ταχύτητα τα 574,8 χλμ/ώρα. Σήμερα, δεν γίνεται πλέον λόγος για παρακμή των σιδηρόδρομων, καθώς κατέχουν πρωτεύουσα θέση στην οικονομία και ολοκληρώνουν τα άλλα μεταφορικά μέσα. Τις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων εξυπηρετούν, συνήθως, τρία διαφορετικά δίκτυα λειτουργίας σιδηροδρόμων:

- το Τραμ με εναέρια ηλεκτροδότηση
- το Μετρό με επίγεια ηλεκτροδότηση και
- ο Περιφερειακός ή Προαστιακός Σιδηρόδρομος με σύνθετη ηλεκτροδότηση.

Η σιδηροδρομική μεταφορά είναι μια από τις οικονομικότερες μεθόδους για χερσαία μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών. Όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Επομένως, λόγω της σπουδαιότητας του τρένου στην ανθρώπινη ζωή και καθημερινότητα, γίνονται συνεχείς προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση τους. Τα τρένα του μέλλοντος, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα τρένα, δεν θα κινούνται πάνω σε ράγες, αλλά μέσα σε μεγάλους σωλήνες με κενό αέρος, που θα ενώνουν πόλεις.

Το 1910, ο φυσικός Ρ.Μ. Σάλτερ φανταζόταν το vactrain, ένα τρένο με τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Ο Elon Musk και η εταιρία του ET3, ετοιμάζεται να υλοποιήσει το φιλόδοξο όνειρο του Σάλτερ. Σύμφωνα με όσα έχουν γίνει γνωστά μέχρι στιγμής, το τρένο αυτό θα λέγεται Hyperloop και δεν θα κινείται σε ράγες αλλά στο εσωτερικό αγωγών σε κενό αέρος. Θα αποτελείται από μικρές κάψουλες που θα έχουν χωρητικότητα 4-6 ατόμων και η ταχύτητά του μπορεί να αγγίζει και τα 6437

χιλιόμετρα ανά ώρα. Σύμφωνα με τον Musk, το Hyperloop θα μπορεί να καλύψει μια απόσταση 700 χλμ σε 30 λεπτά, δηλαδή θα κινείται πιο γρήγορα και από ένα επιβατικό αεροπλάνο. Η τεχνολογία του συγκεκριμένου τρένου είναι ανοιχτή στο κοινό και υπάρχει ενθάρρυνση για περαιτέρω ανάπτυξη του. Πολλές εταιρίες έχουν δημιουργηθεί και δουλεύουν πάνω σε αυτή την τεχνολογία. Το 2017 θα ξεκινήσει η κατασκευή ενός μεγάλης κλίμακας πρωτότυπου 8 χιλιομέτρων.

1.4 Η ιστορία του σιδηροδρόμου στην Ελλάδα

1.4.1 Γενικά

Η ιστορία της Ελλάδας είναι ταυτισμένη με την ιστορία του σιδηροδρόμου. Όσο επεκτεινόταν το κράτος, επεκτεινόταν και το δίκτυο και μαζί τα σύνορα αποκτούσαν πιο στέρεη υπόσταση. Το τρένο μετράει στη χώρα μας περίπου ενάμισο αιώνα ζωής, κατά τη διάρκεια του οποίου άλλαξαν πολλά: το ελληνικό κράτος μεγάλωσε, το σιδηροδρομικό δίκτυο επεκτάθηκε και εκσυγχρονίστηκε αρκετές φορές, προκειμένου να καλύψει τις ολοένα μεγαλύτερες και πιο σύνθετες μεταφορικές ανάγκες της ελληνικής κοινωνίας, νέα μεταφορικά μέσα πήραν την πρωτοκαθεδρία, ενώ η ανθρωπογεωγραφία της ελληνικής υπαίθρου υπέστη κοσμογονικές αλλαγές.

Για πρώτη φορά, στην αρχαία Ελλάδα συναντάμε μία πρώιμη μορφή σιδηροδρόμου στον ισθμό της Κορίνθου, κατά την περίοδο της τυραννίας του Περιάνδρου. Η Δίορκος (σχήμα 1.3) ήταν σιδηρόδρομος μήκους 6 χιλιομέτρων, που μετέφερε τα πλοία πέρα από τον Ισθμό της Κορίνθου κατά τον 6ο αιώνα π.Χ. Τα φορτηγά - πλατφόρμες πάνω στα οποία τοποθετούνταν τα πλοία και ωθούνταν από σκλάβους, έτρεχαν σε αυλάκια μέσα σε μια διαδρομή ασβεστόλιθων. Η Δίορκος λειτουργούσε για πάνω από 1500 χρόνια, μέχρι την διάνοιξη της διώρυγας της Κορίνθου.



Σχήμα 1.3: Διορκός στον Ισθμό Κορίνθου

Οι πρώτες ράγες στην ιστορία του ελληνικού κράτους με την σημερινή τους μορφή, στρώθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1850, με σκοπό τη μεταφορά αγαθών και επιβατών. Ήταν μια περίοδος με έντονη αναταραχή σε πολιτικό, εθνικό, κοινωνικό

και βιομηχανικό επίπεδο. Τα τρένα σφύριζαν πολύ πριν την εποχή του Χαρίλαου Τρικούπη, όμως σε αυτόν οφείλεται το όραμα και η προσπάθεια να αποκτήσει η χώρα ένα πλήρες σιδηροδρομικό δίκτυο. Σύμφωνα με τον οραματιστή πρωθυπουργό, οι πολεμικές κινητοποιήσεις της χώρας καθιστούσαν επιτακτικότερη την ανάγκη κατασκευής γραμμών οι οποίες θα εξασφάλιζαν την ταχύτερη μεταφορά στρατευμάτων και εφοδίων χωρίς την παρέμβαση των Μεγάλων Δυνάμεων, που σε περιπτώσεις «διαφωνίας» απέκλειαν τη λιμάνια της χώρας. Επιπλέον, η οικονομική διάσταση δεν θα μπορούσε να μην αποτελεί βασικό κριτήριο αν αναλογιστεί κανείς ότι μέχρι την κατασκευή του δικτύου, η μεταφορά αλεύρων από την Λιβαδιά στην Αθήνα στοιχίζε περισσότερο από ότι η, μέσω θαλάσσης, μεταφορά τους από το εξωτερικό. Η απουσία οδικών μεταφορών -το αυτοκίνητο δεν είχε εφευρεθεί ακόμα- σήμαινε ότι ο σιδηρόδρομος ήταν το μόνο γρήγορο, μαζικό και κυρίως αξιόπιστο μέσο μεταφοράς.

Τα πρώτα τρένα στην Ελλάδα ανήκαν σε ιδιωτικές εταιρίες, με αρκετά ικανοποιητική οργανωτική δομή. Ικανοί επιχειρηματίες, κεφαλαιούχοι και τραπεζίτες και χιλιάδες εργαζόμενοι, ακόμη και από διαφορετικές χώρες, συνεργάστηκαν με σημαντική επιτυχία από τα τέλη του 19ου αιώνα και για πολλές δεκαετίες, για την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων και στην Ελλάδα με τον τρόπο που είχε ήδη αναπτυχθεί στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Με ιδιωτική επιχειρηματικότητα και χρηματοδότηση και για την εξυπηρέτηση πραγματικών αναγκών μεταφοράς εμπορευμάτων και επιβατών σε συγκεκριμένες περιοχές, σε μία περίοδο που ο σιδηρόδρομος ήταν τότε στη χώρα μας το πιο αξιόπιστο και αποτελεσματικό μέσο μεταφοράς.

Η αρχική πρόταση για κατασκευή σιδηροδρομικής γραμμής στην Ελλάδα έγινε από τον Γάλλο Φραγκίσκο Φεράλδη στις αρχές του 1835 και αφορούσε στη σύνδεση της Αθήνας με τον Πειραιά. Το καλοκαίρι του ίδιου χρόνου είχε ολοκληρωθεί η κατασκευή της οδού Πειραιώς, που ήταν ο μόνος δρόμος που συνέδεε την πρωτεύουσα με το λιμάνι και η πλειονότητα των μεταφορών πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια ζώων. Το περίεργο ήταν ότι τα επόμενα σιδηροδρομικά δίκτυα που δημιουργήθηκαν δεν ακολούθησαν τη συγκεκριμένη γραμμή, αλλά δημιουργήθηκαν όπου υπήρχε ανάγκη.

Όμως, ο σιδηρόδρομος δεν θα έμπαινε σε τροχιά κατασκευής για πολλά χρόνια ακόμα και μόλις το 1855 η κυβέρνηση εισήγαγε στη Βουλή νομοσχέδιο για την κατασκευή της συγκεκριμένης γραμμής. Χρειάστηκαν άλλα 14 χρόνια για να παραδοθούν -το 1869- στην κυκλοφορία τα πρώτα 8,5 χλμ που είχαν ως αφετηρία στο Θησείο. Την ίδια εποχή σε άλλες χώρες, όπου ο σιδηρόδρομος αποτελούσε επιλογή προόδου και μοχλό οικονομικής ανάπτυξης, κατασκευάζονταν μέχρι και 17 χλμ. γραμμής κατά μέσον όρο ημερησίως.

Η κατασκευή τού αστικού σιδηροδρομικού δικτύου φαίνεται ότι άνοιξε το δρόμο για πολλά σχέδια. Το όραμα της περιόδου ήταν να συμπεριληφθεί η χώρα στο «Ταχυδρομείο των Ινδιών», την σιδηροδρομική-ατμοπλοϊκή διαδρομή του διεθνούς εμπορίου μεταξύ των δυτικοευρωπαϊκών χωρών, της Μέσης Ανατολής και της Νοτιοανατολικής Ασίας. Ορισμένες από τις προτάσεις θα καταλήξουν στην υπογραφή συμβάσεων με το Ελληνικό Δημόσιο ή ακόμα και στην έναρξη εργασιών, όμως επί 13

χρόνια δεν θα κατασκευασθεί ούτε ένα χιλιόμετρο γραμμής. Μόλις το 1883 θα ξεκινήσει τη λειτουργία της, η σύνδεση Πύργου – Κατακόλου, μήκους 12,5 χλμ. που κατασκευάστηκε με πρωτοβουλία του δήμου Λετρινών (το επίσημο όνομα του δήμου Πύργου).

Σε αυτά τα λίγα χιλιόμετρα «έτρεχαν» τα τρένα στη χώρα, πριν ο Χαρίλαος Τρικούπης βάλει σε εφαρμογή το σχέδιο χάρη στο οποίο θα τον αναγόρευαν αργότερα σε «πατέρα του ελληνικού σιδηροδρόμου». Το όραμά του για την κατασκευή του σιδηροδρόμου είχε ως γνώμονα την αυτονόμηση της μετακίνησης του στρατού, των εμπορευμάτων και -μεταγενέστερα- των πολιτών, όπως αναφέραμε και παραπάνω. Η μεταφορά αγαθών και οι μετακινήσεις πραγματοποιούνταν έως τότε είτε με πλοία, είτε μέσω του φτωχού οδικού δικτύου και παρά το γεγονός ότι είχαν περάσει ήδη αρκετά χρόνια από την απελευθέρωση, η μετακίνηση των στρατευμάτων εξακολουθούσε να γίνεται υπό τον έλεγχο και τις αντιρρήσεις των συμμαχικών δυνάμεων. Το σκεπτικό του Τρικούπη ήταν η ουσιαστική πλέον ανεξαρτητοποίηση της χώρας. Ο λόγος μάλιστα που η γραμμή από την Αθήνα προς τη Θεσσαλία ακολούθησε τη χάραξη του Μπράλου, ήταν για να βρίσκεται μακριά από το βεληνεκές των πυροβόλων πλοίων (είτε αγγλικών είτε τουρκικών).

1.4.2 Θεσσαλία και Μακεδονία

Ένα χρόνο μετά την προσάρτηση της Θεσσαλίας στην Ελλάδα, την άνοιξη του 1882, η κυβέρνηση Τρικούπη υπογράφει σύμβαση με τον τραπεζίτη από την Κωνσταντινούπολη Θεόδωρο Μαυρογορδάτο για δύο μετρικές (ανοίγματος ενός μέτρου) γραμμές, την Βόλος – Βελεστίνο – Λάρισα μήκους 60 χλμ και την Βελεστίνο – Φάρσαλα – Καρδίτσα – Τρίκαλα – Καλαμπάκα μήκους 142 χλμ. Ακόμη και το πλάτος της σιδηροδρομικής γραμμής αποτέλεσε αντικείμενο διαμάχης μεταξύ της κυβέρνησης Τρικούπη και της αντιπολίτευσης, η οποία υποστήριζε ότι το άνοιγμα θα έπρεπε να είναι 1,44 μέτρα. Η άποψη της αντιπολίτευσης δεν υπερίσχυσε, καθώς το κόστος της θα ήταν απαγορευτικό. Τα επίσημα εγκαίνια της γραμμής Βόλος – Βελεστίνο – Λάρισα έγιναν μόλις δύο χρόνια μετά την υπογραφή της σύμβασης, το 1884, ενώ το 1886 (τέσσερα χρόνια μετά την σύμβαση) παραδόθηκε στην κυκλοφορία και η γραμμή από τον Βόλο έως την Καλαμπάκα.

Σε σχέση με σήμερα, τα χρονοδιαγράμματα για την κατασκευή των 200 χλμ. γραμμής είναι εντυπωσιακά. Ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι από το 1996 -που υπεγράφη η σύμβαση- έως σήμερα το ελληνικό Δημόσιο προσπαθεί εδώ και 15 χρόνια να ανοίξει τις δύο σήραγγες στο Καλλίδρομο, συνολικού μήκους 18 χλμ (εννέα χιλιόμετρα προς κάθε κατεύθυνση). Σε μια περίοδο που χρειάζονταν τρεις μέρες να φτάσει κανείς από τον Βόλο (πύλη εισόδου για τη Θεσσαλία) στα Τρίκαλα, το έργο του σιδηροδρόμου ήρθε να προστεθεί στην κατασκευή 75 εθνικών δρόμων που ήταν σε εξέλιξη εκείνη την εποχή. Σε μια ιδιαίτερα δυσχερή περίοδο για την χώρα, όλη η Ελλάδα ήταν ένα πελώριο εργοτάξιο.

Την ίδια στιγμή που ο Τρικούπης υλοποιούσε το όραμά του, οι ελληνικές περιοχές που βρίσκονταν ακόμη υπό οθωμανικό έλεγχο αποκτούσαν και εκείνες ράγες. Από το 1872 είχε ήδη κατασκευαστεί η γραμμή Θεσσαλονίκης- Σκοπίων (συνολικό μήκος 243

χλμ), ύστερα από σχετική σύμβαση μεταξύ της τουρκικής κυβέρνησης και του Αυστριακού τραπεζίτη Φον Χιρς, ο οποίος είχε ιδρύσει την εταιρεία «Αυτοκρατορικοί Σιδηρόδρομοι της Ευρωπαϊκής Τουρκίας». Ο Αυστριακός είχε αναλάβει την κατασκευή, λειτουργία και εκμετάλλευση και των γραμμών Θεσσαλονίκης-Μοναστηρίου(1890), Θεσσαλονίκης - Αλεξανδρούπολης(1896) και Αλεξανδρούπολης – Πυθίου(1874).

Πίσω στην ελεύθερη Ελλάδα και το 1894, έτος που αρχίζει η κατασκευή του τρένου του Πηλίου (σχήμα 1.4), του γνωστού σε πολλούς και ως «μουτζούρη». Τον επόμενο χρόνο παραδόθηκαν τα πρώτα 12 χλμ της γραμμής Βόλος – Λεχωνιά, ενώ το 1900 υπεγράφη η σύμβαση για την επέκταση της γραμμής έως τις Μηλιές Πηλίου. Το έργο βρήκε εμπόδια, όπως ήταν η κακοκαιρία, οι αντιδράσεις των κατοίκων στις απαλλοτριώσεις αλλά και οι απεργιακές κινητοποιήσεις. Ολοκληρώθηκε τελικά το 1903. Παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα της εποχής ήθελαν μετρικές γραμμές, οι Γάλλοι σύμβουλοι και κατασκευαστές του έργου (που είχαν ήδη αναλάβει μεγάλο μέρος των ελληνικών έργων υποδομής της εποχής) επιλέγουν το άνοιγμα 60 εκατοστών προκειμένου να παράσχει στο τρένο την απαιτούμενη ευελιξία με δεδομένη την ορεινή χάραξη της περιοχής.



Σχήμα 1.4: Τρενάκι Πηλίου - Μουτζούρης

Το 1900 ξεκίνησαν τα έργα τής μήκους 400 χιλιομέτρων γραμμής Πειραιάς - Θήβα - Λιβαδειά - Λιανοκλάδι - Παπαπούλι (μέχρι εκεί έφτανε η Ελλάδα). Η γραμμή ολοκληρώθηκε το 1909 και όπως ήταν αναμενόμενο, όλα άλλαξαν με τους Βαλκανικούς πολέμους. Τα κέρδη των Βαλκανικών δεν ήταν μόνο εθνικά αλλά και σιδηροδρομικά: όλα τα υπάρχοντα σιδηροδρομικά δίκτυα (και εκτός παλαιού κράτους) εντάχθηκαν στο εθνικό, επεκτάθηκαν οι γραμμές όπου έφτανε η νέα πατρίδα, ενώ το 1920 ιδρύεται η εταιρεία ΣΕΚ (Σιδηρόδρομοι Ελληνικού Κράτους), ο πρόδρομος του σημερινού ΟΣΕ. Ετσι, από τα 70 χιλιόμετρα σιδηροδρομικού δικτύου

το 1884, ξεπεράσαμε τα 1.000 το 1900 και προσεγγίσαμε τα 2.700 το 1920. Στις ημέρες μας, το σιδηροδρομικό δίκτυο είναι μικρότερο (2.550 χιλιόμετρα) από εκείνο του 1920, κάτι που οφείλεται στο ότι μια σειρά περιφερειακών γραμμών που δημιουργήθηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα, δεν λειτουργούν πλέον.

1.4.3 Αττική και Πελοπόννησος

Από το 1880 και μετά, τα σχέδια και οι εργασίες για τη σύνδεση όλων των μεγάλων πόλεων με την πρωτεύουσα βρίσκονταν στο αποκορύφωμά τους. Οι Σιδηρόδρομοι Πειραιώς-Αθηνών-Πελοποννήσου (ΣΠΑΠ) ξεκίνησαν τις εργασίες το 1882 για τις γραμμές Πειραιώς - Ελευσίνας - Κορίνθου – Πατρών, Κορίνθου - Αργους - Ναυπλίου και Αργους – Μύλων. Τον Ιούνιο του 1884 παραδίδεται το πρώτο τμήμα (Πειραιάς – Ελευσίνα), ενώ από τέλος του 1887 παραδίδονται σταδιακά και τα υπόλοιπα τμήματα (η γραμμή του Πύργου ενώθηκε με εκείνη της Πάτρας και έφτασε και ως την Καλαμάτα) τα οποία θα δώσουν ένα αρχικό μήκος δικτύου περί τα 204 χλμ. Το τελευταίο τμήμα προστέθηκε στη γραμμή κατά την δεκαετία του '50 με την επέκταση από την Κόρινθο προς το Λουτράκι. Το σύνολο του δικτύου της Πελοποννήσου είναι μετρικό μεγέθους, με εξαίρεση τη γραμμή Διακοφτό – Καλάβρυτα που είναι εύρους 75 εκ., ο γνωστός οδοντωτός (με την επιπλέον ράγα στην μέση – σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5: Οδοντωτός Καλαβρύτων

Στο μεταξύ στην Αττική, τα προάστια έπρεπε να ενωθούν με την πρωτεύουσα ενώ η άνθηση των μεταλλείων του Λαυρίου καθιστούσε επιτακτική την ανάγκη για μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων από και προς τα Μεσόγεια. Αυτό επετεύχθη με δύο γραμμές, μία που συνέδεε την Αθήνα με την Κηφισιά (ο πρόδρομος των σημερινών ΗΣΑΠ) και τη δεύτερη που ένωνε το Ηράκλειο Αττικής (μέσω Χαλανδρίου, Γέρακα, Μαρκοπούλου, Κερατέας κλπ) με το Λαύριο, καλύπτοντας απόσταση 64 χλμ.

Το 1882 υπογράφεται ανάμεσα στην ελληνική κυβέρνηση και σε αγγλική εταιρία η σύμβαση για την κατασκευή, εντός τριών ετών, της γραμμής Αθηνών - Λαυρίου με διακλάδωση Ηρακλείου - Κηφισιάς. Στις αρχές του 1885 και εντός χρονοδιαγραμμάτων εγκαινιάζεται το πρώτο τμήμα της γραμμής, από την πλατεία Αττικής μέχρι την Κηφισιά (15 χλμ.). Τον Ιούνιο του ίδιου έτους πραγματοποιούνται τα εγκαινία του δευτέρου τμήματος μέχρι το Λαύριο. Η δεκαετία του 1880 ήταν πραγματικά μια σιδηροδρομική δεκαετία (η Βουλή μάλιστα είχε ονομαστεί χαρακτηριστικά «Σιδηροδρομική», κατά το «Συνταγματική», «Αναθεωρητική» κ.ά.) αφού εκείνο το διάστημα υπογράφηκαν συμβάσεις για την κατασκευή των δικτύων Πειραιάς - Μέγαρα - Κόρινθος - Αργος - Πάτρα κ.ά.

Το 1925 το τμήμα Αθήνα – Κηφισιά ηλεκτροδοτείται ενώ το 1929 οι ΣΠΑΠ αγοράζουν το σιδηρόδρομο Ηρακλείου – Λαυρίου. Η γραμμή προς Κηφισιά είναι ο σημερινός ηλεκτρικός σιδηρόδρομος ενώ η γραμμή προς το Λαύριο καταργήθηκε το 1956.

1.4.4 Η Ελλάδα διπλασιάζεται

Η Εταιρία των Ελληνικών Σιδηροδρόμων (γνωστή και ως «Λαρισιαϊκός Σιδηρόδρομος») ιδρύθηκε το 1902. Δύο χρόνια αργότερα γίνονται τα εγκαινία του πρώτου τμήματος της γραμμής από τον Πειραιά μέχρι τη Θήβα και τη Χαλκίδα. Το πρώτο ταξίδι Πειραιάς - Χαλκίδα διαρκεί τρεις ώρες. Τον Απρίλιο της ίδιας χρονιάς γίνονται τα εγκαινία της σήραγγας του Μπράλου και τον Ιούνιο αρχίζει η εκμετάλλευση της γραμμής Θηβών - Λιβαδειάς (41,5 χλμ.). Τον Ιούνιο του 1906 υπογράφεται η σύμβαση για την κατασκευή της προέκτασης από Δεμερλή - Λάρισα μέχρι τα τότε σύνορα στο Παραπούλι, η οποία αρχίζει να λειτουργεί τον Ιούλιο του 1909.

Μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλονίκης το 1912 - επιχείρηση που υποστηρίχθηκε εξαιρετικά από τη σιδηροδρομική μεταφορά ανθρώπων και προμηθειών - το δίκτυο της βόρειας Ελλάδας περιέρχεται στο ελληνικό κράτος και ως το 1916 συντελείται η πλήρης ενσωμάτωσή του στο υπάρχον. Η Αθήνα συνδέεται για πρώτη φορά απ' ευθείας με τις ευρωπαϊκές πρωτεύουσες.

Στη προσπάθεια σύνδεσης της Δυτικής Ελλάδας με το θεσσαλικό δίκτυο, κατασκευάστηκε μετά το 1890 η γραμμή Κρυνόρι – Μεσολόγγι - Αγρίνιο, με συνολικό μήκος 61 χλμ. η οποία αποτελούσε ιδιοκτησία της εταιρείας Σιδηρόδρομοι Βορειοδυτικής Ελλάδος (ΣΒΔΕ) και λειτουργούσε κυρίως για τη διάθεση των καπνών που παρήγαγε η περιοχή. Δυστυχώς, η γραμμή παρέμεινε αποκομμένη από την υπόλοιπη χώρα και το 1952 οι ΣΒΔΕ, μετά την πτώχευσή τους, κατάσχονται από το ελληνικό δημόσιο και υπάγονται στους ΣΠΑΠ. Τον Οκτώβριο του 1970 συμβαίνει κάτι το οποίο, εν μέρει, θυμίζει τις μέρες που διανύουμε. Οι ΣΒΔΕ σταματούν να λειτουργούν, γιατί η εκμετάλλευσή τους είναι υπερβολικά ελλειμματική, ωστόσο οι γραμμές και οι διάφορες εγκαταστάσεις διατηρούνται, χωρίς όμως να συντηρούνται. Η γραμμή «αναγεννήθηκε» προσωρινά το 2004 όταν, για καθαρά προεκλογικούς λόγους, εκτελέστηκαν κάποια δρομολόγια με συρμούς νέου τύπου, για να εγκαταλειφθούν άρον-άρον στη συνέχεια.

1.4.5 Ίδρυση και λειτουργία του ΟΣΕ

Το 1918 βρίσκει την Ελλάδα με δύο, ανεξάρτητες μεταξύ, τους σιδηροδρομικές επιχειρήσεις: του Λαρισαϊκού και της Πελοποννήσου, οι οποίες όμως χάνουν τεράστια ποσά και οδηγούνται ολοταχώς προς στη χρεοκοπία. Η κυβέρνηση Βενιζέλου έχει ως στόχο την ενοποίηση και την ανασυγκρότηση (σ.σ. όπως και και ο σημερινός ΟΣΕ βρίσκεται σε διαδικασία εξυγίανσης και ανασυγκρότησης) όλων των ελληνικών σιδηροδρόμων, ιδρύοντας το 1920 την εταιρεία «Σιδηρόδρομοι του Ελληνικού Κράτους». Το 1935 εμφανίζεται ένα παράδοξο: δημιουργούνται λεωφορειακές γραμμές μεταξύ Αθηνών - Χαλκίδας, Αθηνών - Θήβας, Αθηνών - Λιβαδειάς και Αθηνών - Λαμίας τις οποίες διαχειρίζεται η σιδηροδρομική εταιρεία. Την περίοδο 1946-49 αποκαθίστανται οι ζημιές του δικτύου από τον πόλεμο και το 1952 αρχίζει η εκμετάλλευση της γραμμής Αμύνταιου - Πτολεμαΐδας, που αποτελεί τμήμα της γραμμής Καλαμπάκας - Κοζάνης - Αμύνταιου. Τα υπόλοιπα τμήματα του δικτύου, όπως αυτό της Θεσσαλίας, ενσωματώθηκαν στους ΣΕΚ το 1955. Οι ΣΕΚ έδωσαν τη θέση τους στον ΟΣΕ καθώς το 1970 ιδρύθηκε ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος (ΟΣΕ), ως Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και το 1972 όλες οι υπηρεσίες του συγκεντρώθηκαν σε ιδιόκτητο Μέγαρο συνολικής επιφάνειας 15.400 μ². Από αυτή την περίοδο και μετά καταργούνται πλήρως οι ατμομηχανές και ο ΟΣΕ περνά στην αποκλειστική χρήση μηχανών diesel.

Η εξυγίανση των ελληνικών σιδηροδρόμων αποτέλεσε και στο παρελθόν στοίχημα, χωρίς βέβαια να ξεχνά κανείς ότι καμία συγκοινωνιακή εταιρεία δεν δημιουργήθηκε προκειμένου να γεννά κέρδη. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων των αντίστοιχων εταιρειών της Ευρώπης, αυτές αντιμετώπισαν σοβαρά οικονομικά προβλήματα τα οποία κλήθηκαν να διαχειριστούν δεκαετίες νωρίτερα. Σαράντα χρόνια μετά την ίδρυση της εταιρείας ΟΣΕ, ελπίζουμε ο Οργανισμός να μην συνεχίσει να κοιτά τα άλλα τρένα να περνούν.

1.5 Ο σιδηρόδρομος στην Ελλάδα στις ημέρες μας

Το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο εν έτη 2016 ανέρχεται σε 2552 χιλιόμετρα, εκ των οποίων το 70% αφορά γραμμή κανονικού εύρους (1435 χιλιοστά πλάτος) και το υπόλοιπο 30% επί των πλείστων γραμμή μετρικού εύρους (1000 χιλιοστά πλάτος). Η ανώτατη επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι 160 χιλιόμετρα/ώρα και αναπτύσσεται σύμφωνα με τον ακόλουθο χάρτη:



Σχήμα 1.6: Χάρτης Σιδηροδρομικού δικτύου Ελλάδας εν έτη 2016

Ο κύριος άξονας του σιδηροδρομικού δικτύου ξεκινά από την Αθήνα (Πειραιά), διατρέχει το κεντρικό τμήμα της χώρας με βόρεια κατεύθυνση, και μέσω Θεσσαλονίκης καταλήγει στην έξοδο της χώρας προς τα Σκόπια (Ειδομένη). Αποτελείται από το τμήμα Αθήνα-Τιθορέα, μήκους 166 χιλιομέτρων με διπλή ηλεκτροκινούμενη γραμμή, το τμήμα Τιθορέα-Δομοκός, μήκους 122 χιλιομέτρων με μονή χωρίς ηλεκτροκίνηση γραμμή (εντός του έτους 2017 θα παραδοθεί η νέα σύγχρονη χάραξη του τμήματος), το τμήμα Δομοκός-Θεσσαλονίκη, μήκους 233 χιλιομέτρων με διπλή ηλεκτροκινούμενη γραμμή και το τμήμα Θεσσαλονίκη-Ειδομένη, μήκους 71 χιλιομέτρων με μονή ηλεκτροκινούμενη γραμμή. Στον κύριο σιδηροδρομικό άξονα προστίθενται και οι παρακάτω διακλαδώσεις που εξυπηρετούν μεταφορικό έργο τόσο εμπορευμάτων όσο και επιβατών:

- Οινόη-Χαλκίδα, μήκους 22 χιλιομέτρων
- Λιανοκλάδι-Στυλίδα, μήκους 23 χιλιομέτρων
- Λάρισα-Βόλος, μήκους 61 χιλιομέτρων
- Καλαμπάκα-Παλαιοφάρσαλος, μήκους 80 χιλιομέτρων
- Πλατύ-Έδεσσα-Αμύνταιο-Φλώρινα, μήκους 156 χιλιομέτρων
- Θεσσαλονίκη-Στρυμόνας-Προμαχώνας-Αλεξανδρούπολη-Ορμένιο, μήκους 620 χιλιομέτρων (δίκτυο Ανατολικής Μακεδονίας)
- Κιάτο-Θριάσιο-Ικόνιο-ΣΚΑ-Αεροδρόμιο Ελ.Βενιζέλος, μήκους 280 χιλιομέτρων, που αποτελεί και τον προαστιακό σιδηρόδρομο Αθηνών

- Κιάτο-Πάτρα-Καλαμάτα-Τρίπολη, μήκους περίπου 300 χιλιομέτρων (σχεδόν όλο μετρικού εύρους) που αποτελεί το δίκτυο Πελοποννήσου

Ξεχωριστής σημασίας κατασκευαστικής και τουριστικής αποτελούν α) το τρενάκι του Πηλίου με εύρος γραμμής 60 εκατοστά – διασχίζει τις κατάφυτες πλαγιές του Πηλίου με την πυκνή βλάστηση και β) ο οδοντωτός Διακοπτού-Καλαβρύτων με μήκος 23 χιλιόμετρα και κίνηση των συρμών σε μεγάλες κλίσεις (μέχρι και 175%) με την υποβοήθεια συστήματος οδόντωσης.

1.6 Έργα σε εξέλιξη και μελλοντικά έργα

Ο ΟΣΕ, ως υπεύθυνος φορέας συντήρησης και εξυγχιτισμού του σιδηροδρομικού δικτύου σχεδιάζει και εκτελεί έργα με γνώμονα την αναβάθμιση του δικτύου, την αύξηση της χωρητικότητας του, την βελτιστοποίηση της ασφάλειας και την ταχύτερη διασυνοριακή σύνδεση της χώρας με τις γειτονικές χώρες.

Πρωταρχικός στόχος του ΟΣΕ είναι ο κύριος άξονας να αποτελείται εξολοκλήρου από διπλή σιδηροδρομική γραμμή με ηλεκτροκίνηση και σηματοδότηση. Έτσι ο χρόνος κάλυψης των αποστάσεων θα μειωθεί και η χωρητικότητα του δικτύου θα αυξηθεί, με συνέπεια ο σιδηρόδρομος να είναι το πλέον ανταγωνιστικό μέσο μεταφοράς στην χώρα μας. Σε δευτερεύοντα χρόνο, ο ΟΣΕ αποσκοπεί στην βελτιστοποίηση των υπόλοιπων τμημάτων και στην δημιουργία νέων δικτύων, με σκοπό να συνδεθούν μεταξύ τους όλα τα μεγάλα αστικά κέντρα και λιμάνια.

Με βάση τις παραπάνω αρχές, τα έργα που εκτελούνται από τον ΟΣΕ αυτή την χρονική περίοδο (2016) είναι τα ακόλουθα:

- Κατασκευή Νέας Διπλής Σιδηροδρομικής Γραμμής Υψηλών Ταχυτήτων Τιθορέας - Λιανοκλαδίου – Δομοκού
- Κατασκευή παραλλαγής της σιδηροδρομικής γραμμής Θεσσαλονίκης-Ειδομένης, στο τμήμα Πολύκαστρο - Ειδομένη
- Κατασκευή νέας διπλής γραμμής με σηματοδότηση – τηλεδιοίκηση στο τμήμα Κιάτο – Ροδοδάφνη
- Κατασκευή Εμπορευματικού Κέντρου Θριασίου Πεδίου
- Ανάταξη και αναβάθμιση του συστήματος σηματοδότησης – τηλεδιοίκησης στον άξονα Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Προμαχώνας

Επιπλέον, ο ΟΣΕ μελετά νέα έργα και έχει προκηρύξει κάποια από αυτά, που πρόκειται σύντομα να ξεκινήσουν. Παρακάτω παρατίθενται μερικά:

- Εγκατάσταση ηλεκτροκίνησης και σηματοδότησης επί της σιδηροδρομικής γραμμής Λάρισα – Βόλος
- Εγκατάσταση Ηλεκτροκίνησης και σηματοδότησης στο τμήμα Παλαιοφάρσαλος – Καλαμπάκα
- Επεκτάσεις του Προαστιακού Σιδηροδρόμου σε Λαύριο, Ραφήνα και Λουτράκι
- Αναβάθμιση σε εντοπισμένα τμήματα της σιδηροδρομικής γραμμής με ηλεκτροκίνηση και σηματοδότηση στο σιδηροδρομικό δίκτυο Θεσσαλονίκη - Στρυμώνας – Αλεξανδρούπολη - Ορμένιο

- Ανάταξη και αναβάθμιση του συστήματος σηματοδότησης στο τμήμα Θεσσαλονίκη-Ειδομένη
- Ολοκλήρωση υπολειπόμενων εργασιών ηλεκτροκίνησης στο τμήμα Πειραιάς-Αθήνα



Σχήμα 1.7: Τα νέα σιδηροδρομικά έργα της Ελλάδος τα επόμενα χρόνια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

2.1 Ορισμός Σηματοδότησης

Σηματοδότηση ονομάζεται ένα γεγονός που παρέχει στοιχεία και ενδείξεις που προαναγγέλλουν τα χαρακτηριστικά μιας μελλοντικής ενέργειας ή κατάστασης. Στο σιδηρόδρομο με τον όρο σηματοδότηση περιγράφουμε το σύνολο των σημάτων και εξοπλισμού που είναι υπεύθυνα για την ρύθμιση της κυκλοφορίας των τρένων.

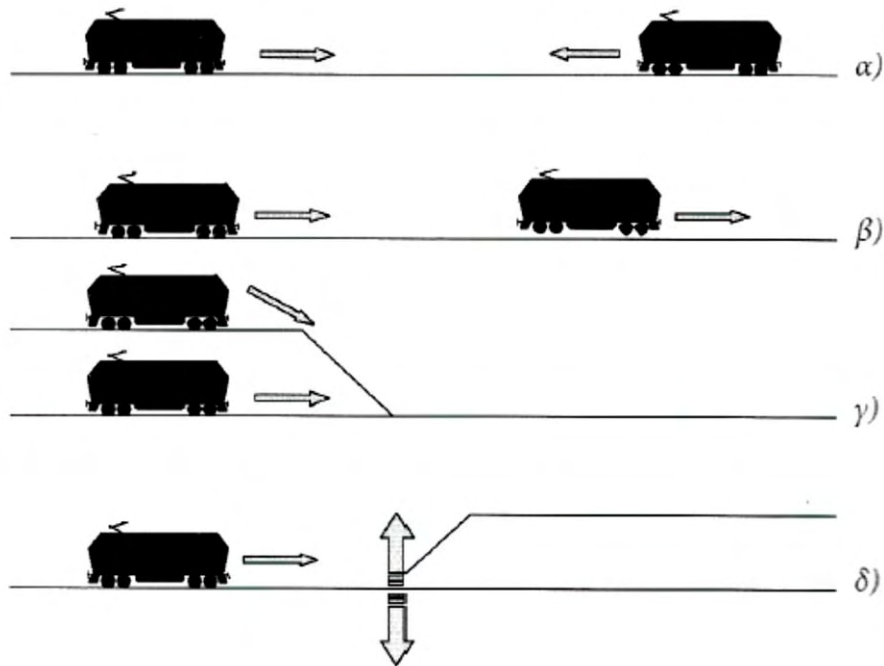
2.2 Χρησιμότητα της σηματοδότησης

Με τον όρο χρησιμότητα νοούμε την ευεργετικότητα και το πλεονέκτημα που προσφέρει η σηματοδότηση στο σιδηροδρομικό δίκτυο. Αρχικά, η σηματοδότηση επιτρέπει την ορθολογικότερη χρησιμοποίηση της χωρητικότητας ενός τμήματος γραμμής. Με άλλα λόγια δρομολογείται ο μέγιστος αριθμός συρμών που μπορούν να κυκλοφορήσουν σε μία γραμμή, με πλήρη ασφάλεια και λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες λειτουργίας και εκμετάλλευσης της γραμμής. Επιπλέον, η σηματοδότηση παρέχει διάφορες πληροφορίες στους μηχανοδηγούς και στο προσωπικό της γραμμής (είσοδος σε επόμενο σταθμό, έλευση τρένου κλπ.)

2.3 Σκοπιμότητα της σηματοδότησης

Ο κύριος λόγος ύπαρξης της σιδηροδρομικής σηματοδότησης είναι η ασφαλής κυκλοφορία των συρμών κατά μήκος της γραμμής. Πιο συγκεκριμένα είναι υπεύθυνη για τα ακόλουθα (βλέπε και σχήμα 2.1):

- Αποφυγή μετωπικής σύγκρουσης δύο αντίθετα κινούμενων αμαξοστοιχιών σε μονή (αμφίδρομη) γραμμή κυκλοφορίας
- Αποφυγή οπισθομετωπικής σύγκρουσης δύο διαδοχικών αμαξοστοιχιών που κινούνται με την ίδια κατεύθυνση σε μία γραμμή, δηλαδή η μία αμαξοστοιχία πίσω από την άλλη
- Αποφυγή σύγκρουσης δυο συρμών στα σημεία διακλάδωσης, διαχωρισμού και διασταύρωσης (σιδηροδρομικές αλλαγές κυκλοφορίας) δυο ή περισσότερων σιδηροδρομικών γραμμών
- Αποφυγή εκτροχιασμού λόγω λανθασμένων χειρισμών σε αλλαγές κυκλοφορίας της σιδηροδρομικής γραμμής
- Προστασία των συρμών στις ισόπεδες διαβάσεις-διασταυρώσεις με οδικές αρτηρίες ή σημεία διέλευσης ζώων ή πεζών
- Αποφυγή εκτροχιασμού των συρμών σε σημεία και τμήματα του δικτύου όπου επιβάλλεται περιορισμός της ταχύτητας διέλευσης, όπως μεγάλη κατωφέρεια, υποχρεωτική βραδυπορία λόγω εκτελούμενων έργων)



Σχήμα 2.1: Περιγραφή κινδύνων που ελαττώνονται με την σηματοδότηση:

- A) Μετωπική σύγκρουση συρμών
- B) Οπισθομετωπική σύγκρουση συρμών
- Γ) Πλαγιομετωπική σύγκρουση συρμών
- Δ) Σύγκρουση λόγω «κακών» χειρισμών σε διασταυρώσεις γραμμών

2.4 Ορισμός Block – Τμήματος Γραμμής

Τα τρένα που βρίσκονται σε μια σιδηροδρομική γραμμή δεν πρέπει να συγκρούονται μεταξύ τους. Αυτό επιτυγχάνεται αν δεν βρίσκονται στο ίδιο τμήμα γραμμής την ίδια χρονική στιγμή. Έτσι οι σιδηροδρομικές γραμμές χωρίζονται σε τμήματα, που είναι γνωστά ως block. Υπό κανονικές συνθήκες μόνο ένα τρένο επιτρέπεται να βρίσκεται σε ένα block κάθε φορά. Η αρχή αυτή αποτελεί τη βάση για τα περισσότερα συστήματα σηματοδότησης των σιδηροδρομικών γραμμών.

2.5 Ιστορική Αναδρομή

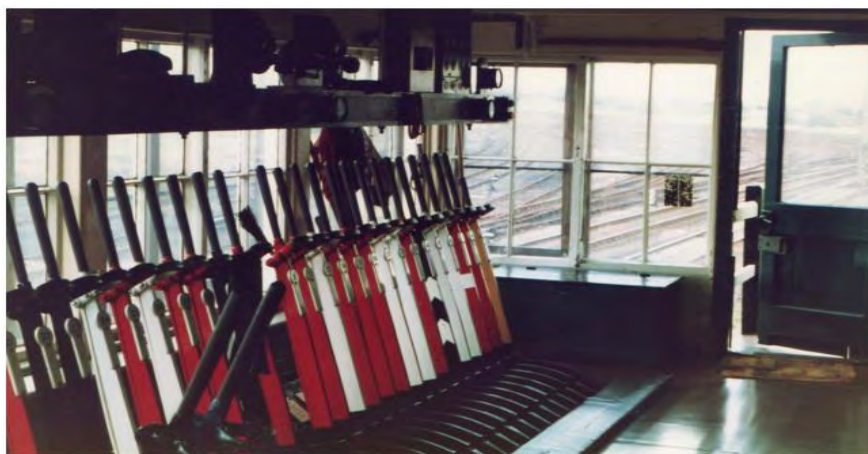
Στις πρώτες σιδηροδρομικές γραμμές διπλής κυκλοφορίας (μία γραμμή για κάθε κατεύθυνση), τα τρένα δρομολογούνταν αρκετά μακριά το ένα μετά το άλλο, με σκοπό να αποφευχθεί μια πιθανή σύγκρουση. Στις πολύ πρώιμες ημέρες της σηματοδότησης, άντρες-φύλακες ευρέως γνωστοί με το όνομα hobby, τοποθετούνταν – στεκόταν ανά διαστήματα (block) της γραμμής. Εφοδιασμένοι με ένα χρονόμετρο ειδοποιούσαν τους οδηγούς των τρένων για το πόσος χρόνος έχει περάσει από την προηγούμενη διέλευση τρένου. Αν ένα τρένο είχε περάσει σύντομα, το ακόλουθο τρένο θα πρέπει να μειώσει την ταχύτητά του, ώστε να μην συγκρουστεί με το προηγούμενο, δίνοντας του το απαραίτητο χρονικό διάστημα για να αναπτύξει ταχύτητα και να απομακρυνθεί.

Οι φύλακες δεν είχαν τη δυνατότητα να γνωρίζουν αν ένα τρένο έχει περάσει ολόκληρο το τμήμα της γραμμής εμπρός. Έτσι αν ένα τρένο έχει σταματήσει για οποιαδήποτε λόγο, τότε ο μηχανοδηγός του επόμενου τρένου δεν το γνώριζε – εκτός και αν αυτό ήταν ορατό. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, κατά τα πρώτα χρόνια του σιδηρόδρομου τα ατυχήματα ήταν συχνά.

Παράλληλα, την ίδια εποχή στις μονές σιδηροδρομικές γραμμές (αμφίδρομη κυκλοφορία) χρησιμοποιούνταν η μέθοδος της «μαγκούρας». Όταν ένας συρμός εισερχόταν σε ένα block, έπαιρνε από ένα σημείο μαζί του μια μαγκούρα. Όταν έβγαινε από το block την άφηνε σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Έτσι, όποιος συρμός κυκλοφορούσε στην γραμμή έπρεπε υποχρεωτικά να έχει μαζί του την μαγκούρα. Οπότε, εάν ένας άλλος συρμός ήθελε να εισέλθει στο block δεν μπορούσε γιατί όταν έφτανε στην αρχή του block δεν την έβρισκε και καταλάβαινε πως το τμήμα γραμμής μπροστά του είναι κατειλημμένο από ένα άλλο τρένο.

Με την εφεύρεση του ηλεκτρικού τηλεγράφου, κατέστη δυνατό για το προσωπικό του σιδηρόδρομου που βρισκόταν σε ένα σταθμό ή σε ένα block, να στέλνει ένα μήνυμα (συνήθως μια καθορισμένη ακολουθία από ήχους) για να επιβεβαιώσει αν ένα τρένο έχει περάσει ή όχι. Έτσι, γινόταν γνωστό στον προηγούμενο φύλακα ότι το block μπροστά του ήταν ελεύθερο και πως μπορεί να διέλθει το επόμενο τρένο. Το σύστημα αυτό ονομαζόταν «absolute block system» - απόλυτο block σύστημα.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1830, σταθερά μηχανικά σήματα άρχισαν να αντικαθιστούν τα σήματα με τα χέρια. Αρχικά, εφαρμόστηκαν σε τοπικό επίπεδο, αλλά αργότερα έγινε συνήθης πρακτική να λειτουργούν όλα τα σήματα σε ένα συγκεκριμένο τμήμα γραμμής-block με μοχλούς, ομαδοποιημένα σε ένα κουτί σημάτων. Όταν ένα τρένο εισερχόταν σε ένα block, τότε ο φύλακας γύριζε ένα μοχλό στη θέση «πλήρες» και δήλωνε πως το τμήμα της γραμμής είναι κατειλημμένο. Όταν το τρένο περνούσε από το block και αυτό ήταν διαθέσιμο για επόμενο τρένο, τότε ένας μοχλός γύριζε στη θέση «ελεύθερο». Στην παρακάτω φωτογραφία (σχήμα 2.2) απεικονίζεται ένα κουτί σημάτων (junction box).



Σχήμα 2.2: Κουτί σημάτων – μοχλών (junction box) για τον χειρισμό αλλαγών και φωτοσημάτων

Το 1889 για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Κοινοβούλιο ψήφισε νόμο με τον οποίο καθιστά υποχρεωτική την εφαρμογή του «absolute block system», με σκοπό την αποφυγή σιδηροδρομικών ατυχημάτων. Τα επόμενα χρόνια, παρόμοια νομοθεσία ψηφίσθηκε και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Έτσι, παρατηρείται πως η σηματοδότηση κατέστη αναγκαία για όλα τα σιδηροδρομικά δίκτυα εκείνων των χρόνων. Όλες οι πρακτικές σηματοδότησης εκείνης της εποχής αποτέλεσαν πρόδρομο των σύγχρονων συστημάτων σηματοδότησης.

Πριν επιτραπεί η είσοδος ενός τρένου σε ένα τμήμα γραμμής, θα πρέπει ο φύλακας να βεβαιωθεί πως δεν είναι κατειλημμένο. Όταν το τρένο φτάσει στο τέλος του block, ο φύλακας θα πρέπει να ελέγξει αν όλα τα βαγόνια του τρένου έχουν φτάσει έως εκεί και μετά να στείλει μήνυμα πως το τμήμα γραμμής είναι ελεύθερο. Αυτό εξασφαλίζει πως δεν έχει αποκολληθεί κανένα μέρος της αμαξοστοιχίας και παραμένει εντός του block, πράγμα που θα δημιουργούσε σιδηροδρομικό ατύχημα. Η αρτιότητα του συρμού ελεγχόταν, τοποθετώντας στο τελευταίο βαγόνι έναν έγχρωμο δίσκο (συνήθως κόκκινο) ή ένα φαναράκι. Έτσι, εάν ένα τρένο έφτανε στο τέλος ενός block και ο φύλακας δεν έβλεπε στο τελευταίο βαγόνι το παραπάνω σήμα, τότε σταματούσε αυτό το τρένο, δεν επέτρεπε στο επόμενο να εισέλθει και διερευνούσε την κατάσταση.

Στις ΗΠΑ, λίγα χρόνια αργότερα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το «permissive block system» - ανεκτικό block σύστημα. Σε αυτό τον τύπο συστήματος, μία αμαξοστοιχία μπορεί να εισέλθει σε ένα κατειλημμένο τμήμα γραμμής από μια άλλη αμαξοστοιχία, αλλά με τέτοια ταχύτητα ώστε να μπορεί να σταματήσει με ασφάλεια (σημαντικός παράγοντας ήταν η ορατότητα της προπορευόμενης αμαξοστοιχίας). Αυτό επέτρεπε την βελτίωση της απόδοσης του δικτύου και χρησιμοποιούνταν κυρίως σε εμπορευματικές αμαξοστοιχίες.

Όλα τα παραπάνω συστήματα αποτελούσαν ένα είδος σηματοδότησης που ήταν βασισμένος μόνο σε μηχανικές διατάξεις. Τα τελευταία 60 χρόνια, και με ιδιαίτερα επιταχυνόμενους ρυθμούς, εφαρμόστηκαν συστήματα στα οποία η μηχανική σηματοδότηση αντικαταστάθηκε με ηλεκτρική. Αυτό οφείλεται στην ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα, άρχισαν να χρησιμοποιούνται διατάξεις, οι οποίες ανιχνεύουν την παρουσία ενός συρμού στη γραμμή, χειρίζονται τις αλλαγές γραμμής από απόσταση, προειδοποιούν τους μηχανοδηγούς για την κατάσταση που επικρατεί μπροστά από το μήκος ορατότητας τους και ελέγχουν την ταχύτητα των συρμών, με σκοπό να τον ακινητοποιήσουν αν συντρέχει σημαντικός λόγος.

Αρχικά, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η σηματοδότηση με block καθορισμένου μήκους. Δηλαδή, κάθε τμήμα γραμμής ορίζεται μεταξύ δυο σταθερών σημείων. Αυτά τα σταθερά σημεία μπορεί να είναι είτε δύο σταθμοί, είτε δυο σήματα (φανοί). Τα μήκη των block έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν τα τρένα να διέρχονται τόσο συχνά, όσο είναι απαραίτητο. Μια ελαφρώς χρησιμοποιούμενη γραμμή χωρίζεται σε τμήματα μερικών χιλιομέτρων, σε αντίθεση με μια πολυσύχναστη γραμμή που χωρίζεται σε τμήματα μερικών εκατοντάδων μέτρων. Φυσικά σε κάθε block μπορεί να βρίσκεται μόνο ένα τρένο κάθε χρονική στιγμή. Ένα

τρένο δεν επιτρέπεται να εισέλθει σε ένα block εάν δεν λάβει το απαραίτητο σήμα – εντολή από τον φύλακα ή τον διαχειριστή της γραμμής. Στα περισσότερα συστήματα με block καθορισμένου μήκους, μεταξύ δυο τρένων πρέπει να υπάρχουν πάντοτε δυο block με την ένδειξη ελεύθερα. Δηλαδή για να εισέλθει ένα τρένο σε ένα τμήμα γραμμής, θα πρέπει και το επόμενο τμήμα να μην είναι κατειλημμένο από τρένο. Αυτό γίνεται με σκοπό να εξασφαλίζεται η ελάχιστη απόσταση που απαιτείται για να μπορέσει να φρενάρει – σταματήσει με ασφάλεια το τρένο αν χρειαστεί.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των συστημάτων με block καθορισμένου μήκους, είναι πως όταν στη γραμμή κυκλοφορούν τρένα με μεγάλες ταχύτητες, είναι μεγαλύτερη η απόσταση ακινητοποίησής τους. Έτσι πρέπει να κατασκευάζονται block με μεγάλο μήκος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χωρητικότητα της γραμμής.

Η παραπάνω τύπου σηματοδότηση, δηλαδή με σταθερού μήκους block χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα στις περισσότερες χώρες. Το επόμενο βήμα εξέλιξης της σηματοδότησης είναι η δημιουργία μεταβαλλόμενου μήκους block (moving blocks signalling system). Σε αυτού του τύπου σηματοδότησης, η απόσταση μεταξύ δυο τρένων καθορίζεται σε ασφαλές μήκος μέσω υπολογιστών που επικοινωνούν απευθείας μεταξύ των τρένων. Το σύστημα βασίζεται στην γνώση της ακριβούς θέσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης του κάθε τρένου μέσω αισθητήρων που βρίσκονται στην γραμμή. Έτσι δημιουργούνται block ίσα με την απαραίτητη ασφαλή απόσταση μεταξύ των τρένων που τρέχουν εκείνη την στιγμή στη γραμμή. Επομένως, κάθε δευτερόλεπτο αλλάζει η διάταξη του δικτύου και εκμεταλλεύεται στο έπακρο η χωρητικότητά του, αυξάνοντας την ροή συρμών.

2.6 Σήματα και Ενδείξεις

Σιδηροδρομικό σήμα χαρακτηρίζεται κάθε σταθερή ή κινητή διάταξη που έχει σκοπό να μεταδώσει μία ή περισσότερες πληροφορίες στους μηχανοδηγούς των αμαξοστοιχιών και στο προσωπικό των σιδηροδρομικού δικτύου.

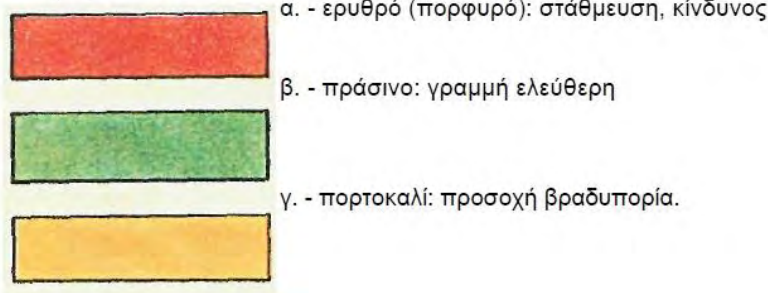
Τα σήματα εξυπηρετούν τις παρακάτω κυρίως τρεις λειτουργίες:

- A) Στάθμευση συρμών
- B) Περιορισμό ταχύτητας συρμών
- Γ) Αλλαγή διεύθυνσης κυκλοφορίας

Κάθε μια από τις λειτουργίες αυτές υλοποιείται με σήματα αναγγελίας που είναι προειδοποιητικά και σήματα εκτέλεσης. Τα σήματα κατατάσσονται σε κατηγορίες και μπορεί να είναι οπτικά, ακουστικά, φωτεινά, μηχανικά, μόνιμα, κινητά κ.α. Στα οπτικά σήματα και για λόγους ευκρίνειας χρησιμοποιούνται τα παρακάτω χρώματα (σχήμα 2.3):

- A) Πράσινο: γενικά υποδηλώνει ελεύθερη διέλευση
- B) Κόκκινο: γενικά υποδηλώνει δεσμεύσεις – στάθμευση αμαξοστοιχίας
- Γ) Πορτοκαλί: γενικά υποδηλώνει ανάγκη για αυξημένη προσοχή και βραδυπορία γιατί ακολουθεί δεσμευτικό σήμα

Στα οπτικά σήματα χρησιμοποιούνται τα επόμενα χρώματα, που έχουν τη σημασία που αναγράφεται απέναντί τους,



Σχήμα 2.3: Χρωματικά Οπτικά Σήματα

2.7 Χρήσιμοι Ορισμοί

Με τον όρο κύρια γραμμή χαρακτηρίζεται το τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής, που περιλαμβάνεται μεταξύ των κυρίων σημάτων δύο συνακόλουθων σταθμών.

Σταθμός ονομάζεται ένα σύμπλεγμα γραμμών, συμπεριλαμβανομένων των κύριων γραμμών, που συνδέεται με τηλέγραφο ή τηλέφωνο με ένα ή περισσότερα όμοια συμπλέγματα γραμμών. Καλύπτεται με σήματα και στις δυο πλευρές του.

Με τον όρο ελιγμός χαρακτηρίζεται κάθε κίνηση οχήματος ή αμαξοστοιχίας με ή χωρίς δική του κινητήρια δύναμη που έχει σκοπό τον σχηματισμό και την τροποποίηση των αμαξοστοιχιών και την μετατόπιση του τροχαίου υλικού.

Σταθμάρχης χαρακτηρίζεται ο υπάλληλος που είναι σε υπηρεσία σε ένα σταθμό, ευθύνεται για την ασφάλεια της κυκλοφορίας των αμαξοστοιχιών και μπορεί να επιτρέψει την αναχώρηση ή την ελεύθερη διέλευση τους από τον σταθμό.

Μηχανοδηγός εννοείται ο υπάλληλος που διευθύνει κάθε όχημα που έχει την δική του κίνηση.

2.8 Εξοπλισμός Σηματοδότησης

Ένα σύστημα σηματοδότησης αποτελείται από ηλεκτρικές διατάξεις περιλαμβάνει:

- Τα συστήματα ανίχνευσης παρουσίας συρμών
- Τις διατάξεις ελέγχου και κίνησης των αλλαγών
- Τον πίνακα χειρισμού (χειριστήριο σταθμάρχη)
- Τις καλωδιώσεις
- Τις διατάξεις ηλεκτρικής τροφοδοσίας
- Τα σήματα (φωτεινά)

2.8.1 Συστήματα ανίχνευσης παρουσίας συρμών

Τα συστήματα ανίχνευσης παρουσίας συρμών αποτελούνται από:

2.8.1.1 Κυκλώματα Γραμμής

Την βάση του μεγαλύτερου μέρους της σύγχρονης σιδηροδρομικής σηματοδότησης αποτελεί το σύστημα αυτόματου αποκλεισμού (automatic block system). Η γενική φιλοσοφία του παραπάνω συστήματος είναι ο χωρισμός της γραμμής σε τμήματα, μέσα στα οποία μπορεί να υπάρχει το πολύ ένας συρμός. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί κυκλώματα γραμμής, που βραχυκυκλώνονται από τους τροχούς ενός τρένου.

Ένα τμήμα (μήκος) αποκλεισμού χαρακτηρίζεται ελεύθερο όταν ο τελευταίος άξονας του συρμού έχει αφήσει το τμήμα αυτό, ενώ κατειλημμένο όταν έστω και ένας μόνο άξονας του συρμού βρίσκεται μέσα σε αυτό. Στην αρχή κάθε τμήματος αποκλεισμού (όταν πρόκειται για κυκλοφορία μονής κατεύθυνσης) υπάρχει συνήθως ένα σήμα (σχήμα 2.4), του οποίου η ένδειξη καθορίζεται ή όχι, από την παρουσία τρένου στο τμήμα αποκλεισμού που «προστατεύει» (όταν έχω κυκλοφορία διπλής κατεύθυνσης στην ίδια γραμμή, τότε τοποθετούνται σήματα στην αρχή και στο τέλος κάθε τμήματος αποκλεισμού).



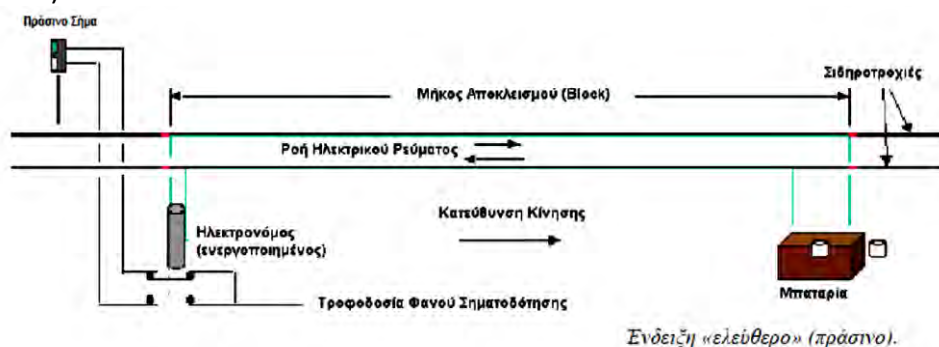
Σχήμα 2.4: Απλουστευμένο διάγραμμα περιγραφής βασικής αρχής λειτουργίας τμήματος αποκλεισμού:

Το μήκος αποκλεισμού που καταλαμβάνει το τρένο 1 προστατεύεται από το κόκκινο σήμα στην είσοδο του (κατειλημμένο). Το προηγούμενο μήκος είναι ελεύθερο από τρένα. Έτσι, το πράσινο σήμα επιτρέπει στο τρένο 2 να εισέλθει στο μήκος αυτό.

Το κύκλωμα γραμμής είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο οποίο η γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι δυο σιδηροτροχιές ενός τμήματος γραμμής. Το μήκος του τμήματος της γραμμής μπορεί να ποικίλλει από μερικά μέτρα μέχρι πολλά χιλιόμετρα. Τα άκρα των σιδηροτροχιών κάθε τμήματος είναι μονωμένα με τα γειτονικά τους μέσω μονωτικών αρμών.

Οι σιδηροτροχιές τροφοδοτούνται στο ένα τους άκρο (πομπός του κυκλώματος γραμμής) με ρεύμα χαμηλής τάσης μέσω μιας πηγής τροφοδοσίας (π.χ. μπαταρία). Στο άλλο άκρο (δέκτης του κυκλώματος γραμμής) βρίσκεται ένας ηλεκτρονόμος (ρελαί), που διεγείρεται και έλκει τον οπλισμό του, όταν τροφοδοτείται από ρεύμα. Όταν δεν τροφοδοτείται τότε αποδιεγείρεται και ο οπλισμός του πέφτει. Όταν δεν υπάρχει τρένο στο κύκλωμα γραμμής, τότε το ρεύμα κυκλοφορεί μέσω της γραμμής και διεγείρει τον ηλεκτρονόμο, με αποτέλεσμα το σήμα να δείχνει την ένδειξη

ελεύθερο (πράσινο) και να επιτρέπει την είσοδο συρμού στο τμήμα της γραμμής (σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Περιγραφή ελεύθερου κυκλώματος γραμμής

Όταν υπάρχει τρένο στο κύκλωμα γραμμής, τότε το μεγαλύτερο τμήμα του ρεύματος ρέει από τους τροχούς και τους άξονες του τρένου (βραχυκύκλωμα), με αποτέλεσμα ο ηλεκτρονόμος να μην διαρρέεται από αρκετό ρεύμα και να αποδιεγείρεται. Η «διακοπή» αυτή θα προκαλέσει την ένδειξη κατειλημμένο (κόκκινο) στο σήμα που προστατεύει το υπόψη τμήμα και δεν επιτρέπει την είσοδο συρμού (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Περιγραφή κατειλημμένου κυκλώματος γραμμής

2.8.1.2 Μετρητής Αξόνων

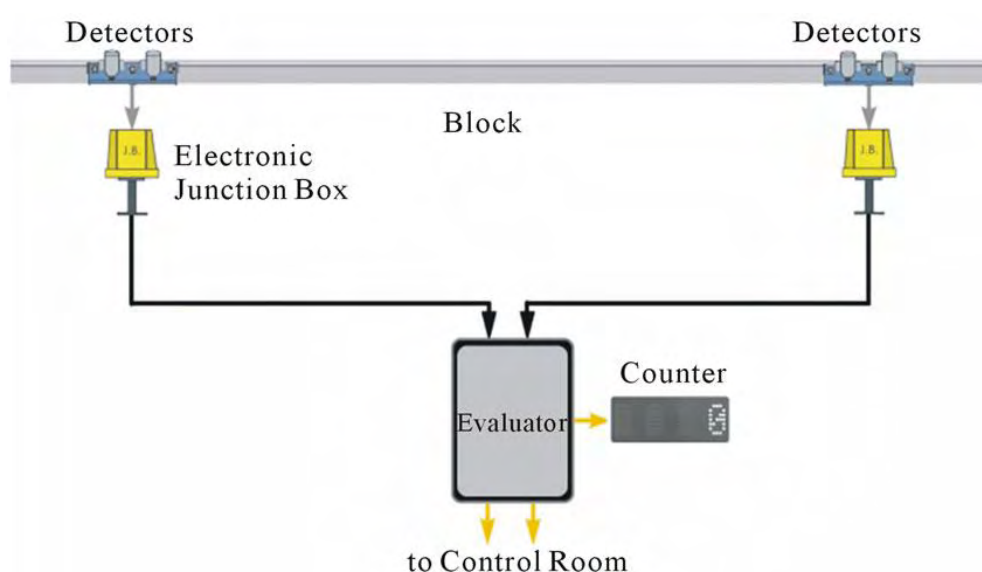
Ο μετρητής αξόνων είναι μια ηλεκτρική διάταξη η οποία εκτελεί την ίδια ακριβώς εργασία με το κύκλωμα γραμμής, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Δηλαδή, ο μετρητής αξόνων είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση της παρουσίας συρμών σε ένα τμήμα γραμμής. Οι μετρητές αξόνων συνδέονται πάντα σε ζεύγη, ένας σε κάθε άκρο του τμήματος αποκλεισμού, που είναι υπεύθυνοι να «προστατεύσουν».

Οι μετρητές αξόνων μετρούν και συγκρίνουν τον αριθμό των αξόνων του τρένου που εισήλθαν στο τμήμα αποκλεισμού με τον αριθμό των αξόνων που εξήλθαν. Με την είσοδο του πρώτου άξονα του συρμού στο τμήμα αποκλεισμού, το σήμα εισόδου

δείχνει κόκκινο (κατειλημμένο). Το σήμα θα ανάψει πράσινο (ελεύθερο), όταν όλοι οι άξονες που εισήλθαν στο τμήμα αποκλεισμού, εξέλθουν από αυτό. Σε περίπτωση που εξέλθουν λιγότεροι άξονες από αυτούς που εισήλθαν, τότε πρέπει να γίνει έλεγχος στο τμήμα γραμμής για πιθανή «αποκοπή» βαγονιού.

Η διάταξη του μετρητή αξόνων (σχήμα 2.7) αποτελείται από:

- Τους ανιχνευτές αξόνων (detectors), που τοποθετούνται στα δυο άκρα του τμήματος αποκλεισμού
- Τα ηλεκτρονικά κουτιά σύνδεσης (junction box), που εξακριβώνουν την φορά κίνησης των αξόνων
- Τον εκτιμητή – μετρητή (Counter) που επεξεργάζεται τις πληροφορίες και τις αποστέλλει στο Τεχνικό Δωμάτιο (Control Room)



Σχήμα 2.7: Περιγραφή συστήματος μετρητών αξόνων

2.8.2 Οι διατάξεις ελέγχου και κίνησης των αλλαγών

Σιδηροδρομική αλλαγή (βλέπε σχήμα 2.8 παρακάτω) είναι ο σχηματισμός όπου μια γραμμή διαχωρίζεται σε δύο, χωρίς να διακόπτεται η πορεία των συρμών, όποια γραμμή και αν ακολουθήσουν. Για τις αλλαγές τροχιάς υπάρχουν δυο σωστές θέσεις: α) η κύρια θέση (κύριος κλάδος) και β) η παρακαμπτήριος θέση (παρεκκλίνοντας κλάδος). Το σύστημα των δυο βελόνων της αλλαγής κινείται με τη βοήθεια ειδικού χειριστηρίου (μηχανικά ή ηλεκτρικά). Οι θέσεις και η καλή επαφή των βελόνων (συχνά αποκαλείται πως η αλλαγή έχει έλεγχο) ανιχνεύονται με ειδικές ηλεκτρικές διατάξεις που ονομάζονται ανιχνευτές επαφής βελόνων.



Σχήμα 2.8: Σιδηροδρομική αλλαγή

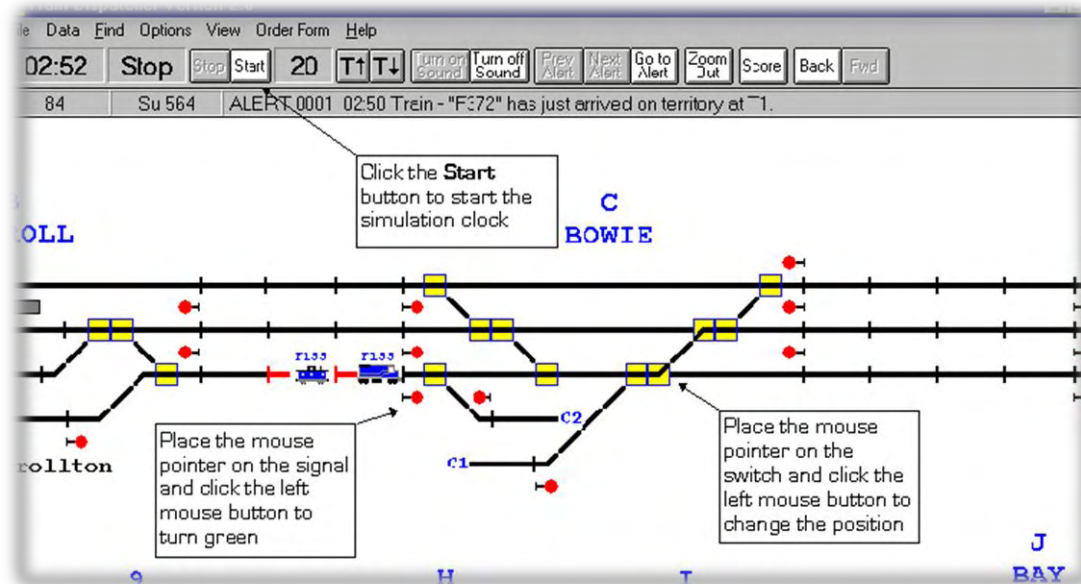
2.8.3 Ο πίνακας χειρισμού ή χειριστήριο σταθμάρχη

Σε κάθε σηματοδοτούμενο σταθμό και ειδικότερα στο γραφείο του σταθμάρχη βρίσκεται ο πίνακας χειρισμού (σχήμα 2.9). Απεικονίζει μια μικρογραφία του σταθμού, περιλαμβάνοντας το σύνολο των γραμμών και των αλλαγών με σαφή σχηματική μορφή. Με φωτεινές ενδείξεις παριστάνονται οι θέσεις των αλλαγών, το χρώμα των φωτισημάτων και η κατάληψη των κυκλωμάτων γραμμής από ένα συρμό. Επίσης με φωτεινές ενδείξεις υποδεικνύονται τυχόν βλάβες ή ανωμαλίες του συστήματος σηματοδότησης.



Σχήμα 2.9: Χειριστήριο Σταθμάρχη σιδηροδρομικού σταθμού Ομόνοιας

Με τον πίνακα χειρισμού, ο σταθμάρχης πραγματοποιεί τους απαραίτητους χειρισμούς για να χαράξει ένα δρομολόγιο. Οι χειρισμοί εκτός από το χειριστήριο του σταθμάρχη μπορούν να γίνουν και μέσω Η/Υ (πληκτρολόγιο, οθόνη και ποντίκι) μέσω προηγμένων προγραμμάτων (σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10: Προγραμματιστικό περιβάλλον ελέγχου ενός σηματοδοτούμενου σταθμού

2.8.4 Οι καλωδιώσεις της σηματοδότησης

Συνδέουν τα τμήματα αποκλεισμού, τις ηλεκτροκίνητες αλλαγές, τα φωτόσημα, τα κυκλώματα γραμμής και πάσης φύσεως συσκευές σηματοδότησης που βρίσκονται στο πεδίο, με τον πίνακα χειρισμού του σταθμού. Εξασφαλίζουν την ηλεκτρική τροφοδοσία των παραπάνω, καθώς και τον έλεγχο τους από τον σταθμάρχη.

Η τοποθέτηση των καλωδίων γίνεται μέσα σε προκατασκευασμένα δίδυμα κανάλια εκ σκυροδέματος, τα οποία είναι εύκολα επισκέψιμα για συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών (σχήμα 2.11). Σε περιοχές όπου οι καλωδιώσεις κινδυνεύουν από βανδαλισμό και κλοπή, τοποθετούνται σε σκάμμα και γίνεται επίχωση με άμμο, πλάκες και υλικά εκσκαφής – πράγμα που τα καθιστά μη επισκέψιμα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα χρήματα που απαιτούνται για τις καλωδιώσεις αποτελούν σημαντικό μέρος του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας ενός συστήματος σηματοδότησης.



Σχήμα 2.11: Δίδυμοι Καλωδιοφορείς εκ σκυροδέματος

2.8.5 Διατάξεις ηλεκτρικής τροφοδοσίας

Σε κάθε σταθμό απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα για να τροφοδοτούνται οι διατάξεις σηματοδότησης. Η κύρια πηγή τροφοδοσίας των σταθμών είναι το δίκτυο της ΔΕΗ. Επειδή η λειτουργία της σηματοδότησης πρέπει να είναι συνεχής και αδιάλειπτη (24/7), έχει προβλεφθεί σε κάθε σταθμό συστοιχία συσσωρευτών (μπαταρίες) και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z), σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας από την ΔΕΗ.



Σχήμα 2.12: α) Συστοιχία συσσωρευτών και β) ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ)

Τα παραπάνω (σχήμα 2.12) λειτουργούν με την εξής λογική: αν έχουμε διακοπή της τροφοδοσίας από την ΔΕΗ, αρχικά μέχρι να εκκινήσει η γεννήτρια, το απαραίτητο ρεύμα αντλείται από τις μπαταρίες. Στη συνέχεια αναλαμβάνει η γεννήτρια την τροφοδοσία με ηλεκτρικό ρεύμα. Σε περίπτωση που η γεννήτρια παρουσιάσει βλάβη, οι συσσωρευτές ενεργοποιούνται ξανά. Το μέγεθος της γεννήτριας και η χωρητικότητα των συσσωρευτών έχουν υπολογισθεί ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε σταθμού, ώστε να τις καλύπτουν για ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

2.8.6 Τα φωτισήματα

Τα φωτισήματα είναι φωτεινά οπτικά σήματα. Τοποθετούνται σε ιστό ή πινακίδα δεξιά και άνω της γραμμής ανά κατεύθυνση, σε ορατά σημεία από τους μηχανοδηγούς (σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13: Φωτισήματα εξόδου από σταθμό (ΤΧ2 Θεσσαλονίκη)

Ανάλογα με την λειτουργικότητά τους, τα φωτισήματα διακρίνονται σε:

- A) Σήματα προστασίας σταθμών
- B) Σήματα τμημάτων αποκλεισμού (block)
- Γ) Σήματα ελεύθερης-ανοιχτής γραμμής

- Δ) Κύρια Σήματα
- Ε) Σήματα προειδοποίησης (φωτοπρόσημα)
- ΣΤ) Σήματα περιορισμού ταχύτητας

Τα φωτοπρόσημα συνοδεύουν τα κύρια φωτόσημα και σκοπός τους είναι να ενημερώσουν το μηχανοδηγό για την ένδειξη του επερχόμενου κύριου φωτοσήματος. Τοποθετούνται πριν από τα κύρια φωτοσήματα και σε απόσταση μεγαλύτερη ή ίση από το απαιτούμενο, για την επιτρεπόμενη ταχύτητα κυκλοφορίας, μήκος πέδησης.

Οι συνήθεις ενδείξεις των φωτοσημάτων είναι: α) κόκκινο, που δηλώνει στάση β) κόκκινο διαλείπον, που δηλώνει μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα συρμού 15 χλμ/ώρα γ) πορτοκαλί, που δηλώνει προσοχή ότι το επόμενο φωτόσημα είναι κόκκινο δ) πορτοκαλί διαλείπον, που δηλώνει προσοχή ότι το επόμενο φωτόσημα είναι κίτρινο ε) πράσινο, που δηλώνει ελεύθερη διέλευση με τη μέγιστη ταχύτητα στ) πράσινο διαλείπον, που δηλώνει προσοχή ότι το επόμενο φωτόσημα είναι πορτοκαλί διαλείπον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ

ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

3.1 Ορισμοί

Με τον όρο χωρητικότητα σιδηροδρομικής γραμμής C, νοείται η κυκλοφοριακή ικανότητα, δηλαδή ο αριθμός των αμαξοστοιχιών που μπορούν να κυκλοφορήσουν πάνω σε μια γραμμή, μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Κατά τον υπολογισμό της χωρητικότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν: α) οι ειδικές συνθήκες εκμετάλλευσης και λειτουργίας της γραμμής και β) η τήρηση ορισμένων περιορισμών που εξασφαλίζουν ένα πολύ καλό επίπεδο εξυπηρέτησης.

Η χωρητικότητα υπολογίζεται στο κρίσιμο υποτμήμα του υπό εξέταση σιδηροδρομικού δικτύου και εκφράζεται σε αριθμό τρένων ανά χρονικό διάστημα (ώρα, ημέρα κλπ). Το κρίσιμο υποτμήμα είναι το υποτμήμα ενός δεδομένου τμήματος γραμμής με τη μικρότερη χωρητικότητα, δηλαδή με το μεγαλύτερο χρόνο διάνυσης.

Ποσοστό κορεσμού της γραμμής είναι ο λόγος του αριθμού των συρμών που έχουν προγραμματιστεί για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, προς τη χωρητικότητα του τμήματος κατά τον θεωρητικό υπολογισμό. Εκφράζεται σε εκατοστιαίο ποσοστό.

3.2 Χαρακτηριστικά - Διακρίσεις

Η χωρητικότητα, ως προς τον αριθμό των επιτρεπόμενων κατευθύνσεων διακρίνεται σε:

- Χωρητικότητα μονής γραμμής
- Χωρητικότητα διπλής γραμμής

Ως προς το χρονικό διάστημα αναφοράς διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

- Μέση ωριαία χωρητικότητα γραμμής
- Ημερήσια χωρητικότητα γραμμής
- Χωρητικότητα κατά το χρόνο λειτουργίας της γραμμής
- Χωρητικότητα συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος

Ως προς τις συνθήκες εκμετάλλευσης της γραμμής, έχουμε τις παρακάτω κατηγορίες:

- Θεωρητική χωρητικότητα
- Πρακτική χωρητικότητα
- Χωρητικότητα στην ώρα αιχμής

Η πρακτική χωρητικότητα διαφέρει από την θεωρητική, στο ότι η δεύτερη εκφράζει τον μέγιστο αριθμό τρένων που μπορούν να κυκλοφορήσουν σε μια σιδηροδρομική γραμμή σε ιδανικές συνθήκες, χωρίς κενά διαστήματα μεταξύ δυο διαδοχικών

συρμών. Έτσι, η πρακτική χωρητικότητα περιέχει έναν συντελεστή ελαστικότητας, ώστε να αποτρέψει καθυστερήσεις αμαξοστοιχιών σε περίπτωση που συμβεί κάποιο απρόοπτο γεγονός (πρακτική χωρητικότητα = θεωρητική χωρητικότητα * συντελεστή ελαστικότητας). Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ελαστικότητας είναι μεταξύ 0 και 1.

3.3 Σκοπιμότητα

Η χωρητικότητα της γραμμής, καθώς και η γνώση αυτής, αποτελούν σημαντικό προτέρημα για τους ακόλουθους λόγους:

- 1) Στην χωρητικότητα της γραμμής βασίζεται ο προγραμματισμός των τακτικών και των εκτάκτων δρομολογίων, η διάρθρωση του ωραρίου των δρομολογίων, η ασφαλής κυκλοφορία των συρμών και η μείωση των καθυστερήσεων
- 2) Συμβάλλει καθοριστικά στην μελέτη για την κατασκευή νέων σιδηροδρομικών γραμμών και καθορίζει την χάραξη και την πυκνότητα τους (μονή ή διπλή γραμμή)
- 3) Προσδιορίζει την πολιτική των μεταφορών σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή (όσο μεγαλύτερη χωρητικότητα – τόσο περισσότερα δρομολόγια – μεγαλύτερο εύρος επιλογής τρόπου μεταφοράς)
- 4) Εάν η χωρητικότητα επαρκεί και καλύπτει τα επιβατικά τρένα, τότε ο διαχειριστής του συστήματος έχει την δυνατότητα να «χορηγήσει» διαδρομές σε διάφορες επιχειρήσεις που επιθυμούν να μεταφέρουν εμπορεύματα (πχ. COSCO, HP κλπ.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΠΕΔΗ ΚΑΙ ΤΟ ΜΗΚΟΣ

ΠΕΔΗΣΕΩΣ

4.1 Γενικά

Με τον όρο πέδη περιγράφεται η μείωση της ταχύτητας ενός κινούμενου συρμού, με σκοπό την ακινητοποίηση του. Κινούμενο όχημα επιβραδύνεται και ακινητοποιείται αν αναπτυχθούν σε αυτό δυνάμεις αντίθετες στην κίνηση του, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια.

Μήκος πέδης ή μήκος φρεναρίσματος, αποκαλείται η απόσταση που διανύει ένα τρένο από την στιγμή που γίνεται αντιληπτό ένα εμπόδιο έως την πλήρη ακινητοποίηση του. Το μήκος πέδης δεν είναι σταθερό και διαφοροποιείται ανάλογα τον τύπο αμαξοστοιχίας. Εξαρτάται από:

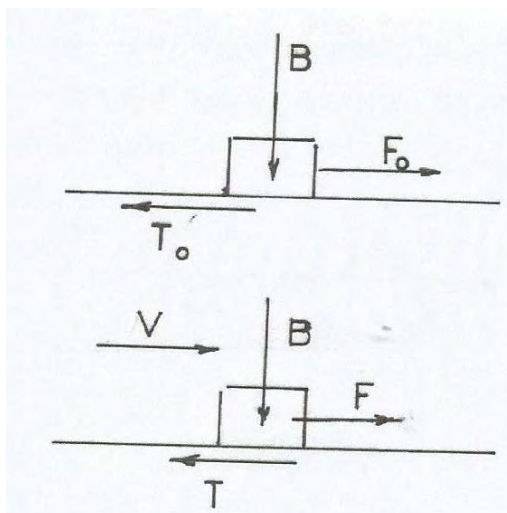
1. Την κατάσταση της σιδηροδρομικής γραμμής και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της
2. Την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας την στιγμή αμέσως πριν την έναρξη του φρεναρίσματος
3. Τις καιρικές συνθήκες (βροχή, χιόνι, παγετός κτλ.)
4. Την κλίση του εδάφους (ανωφέρεια ή κατωφέρεια)
5. Τα χαρακτηριστικά πέδης των αμαξοστοιχιών, δηλαδή τα αδρανειακά στοιχεία κάθε τύπου τρένου
6. Το χρόνο αντίδρασης του μηχανοδηγού
7. Την αναγνώριση σημάτων, δηλαδή πόσο γρήγορα μπορεί να δει ένας μηχανοδηγός ένα σήμα ή ένα εμπόδιο

4.2 Δυνάμεις κατά την πέδη – Θεωρία Τριβών

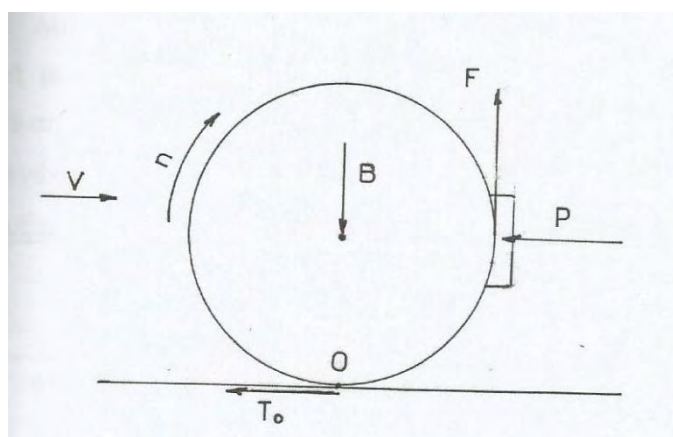
Κατά το φρενάρισμα ενός συρμού αναπτύσσεται ένα σύστημα δυνάμεων, προκυμμένου να ακινητοποιηθεί. Όταν το τρένο κινείται με μία σταθερή ταχύτητα πάνω στην σιδηροτροχιά, τότε οι δυνάμεις που αναπτύσσονται, είναι αυτές του Βάρους \mathbf{B} ($B=m \cdot g$, όπου m η συνολική μάζα του τρένου και g η επιτάχυνση την βαρύτητας), της δύναμης \mathbf{F} λόγω της κινητικής ενέργειας του τρένου (οφείλεται στην ταχύτητα V του τρένου) και η τριβή \mathbf{T} που αντιτίθεται στην φορά της κίνησης.

Η τριβή (στην περίπτωση μας αναφερόμαστε στην τριβή ολίσθησης) δίνεται από τον τύπο: $\mathbf{T} = \mu \cdot \mathbf{B}$, όπου μ (αδιάστατο μέγεθος) ο συντελεστής τριβής που εξαρτάται από την φύση των υλικών και την ποιότητα των επιφανειών και B το βάρος της αμαξοστοιχίας. Επειδή η δύναμη F είναι μεγαλύτερη από την τριβή T , το τρένο κινείται (σχήμα 4.1). Όταν το σύστημα πέδης ενεργοποιείται τότε στους τροχούς ασκείται και το σύνολο των δυνάμεων πέδης P , που αντιτίθενται στην φορά της κίνησης και ακινητοποιούν το συρμό (σχήμα 4.2). Κατά την πέδη καταβάλλεται

προσπάθεια η δύναμη πέδησης να έχει τιμή μικρότερη από την δύναμη πρόσφυσης (οριακή τιμή που ακινητοποιούνται οι τροχοί) προς αποφυγή ολίσθησης (ο χρόνος για να ακινητοποιηθεί ένας τροχός που ολισθαίνει είναι μεγαλύτερος από ένα τροχό που κυλιέται ελαφρά πεδούμενος).



Σχήμα 4.1: Δυνάμεις κατά την κίνηση ενός συρμού



Σχήμα 4.2: Δυνάμεις στον τροχό της αμαξοστοιχίας κατά την ενεργοποίηση του συστήματος πεδήσεως

4.3 Ικανότητα Πέδης – Προσδιορισμός Μηκών Πεδήσεως

Το πεδούμενο βάρος (ΠΒ) είναι εκείνο το βάρος (B) του οχήματος (μέγιστο βάρος αμαξοστοιχίας στο ελληνικό δίκτυο 2400 τόνοι), που μπορεί να ακινητοποιήσει η πέδη του (ακαριαία) μέσα σε μία σαφώς καθορισμένη απόσταση, όταν το όχημα κινείται με μία σαφώς καθορισμένη ταχύτητα. Από τον παραπάνω ορισμό καταλαβαίνουμε πως το πεδούμενο βάρος δεν είναι ένα απλό βάρος. Η τιμή του καθορίζεται και από άλλα μεγέθη εκτός του βάρους, όπως η κλίση της γραμμής, ο χρόνος δράσεως του μηχανοδηγού, ο χρόνος ανάπτυξης της μέγιστης δύναμης στον κύλινδρο πέδης και ο χρόνος αδράνειας του μοχλικού συστήματος.

Στην πράξη η ικανότητα πέδης χαρακτηρίζεται από το ποσοστό πεδούμενου βάρους (ΠΒ/Β), που συμβολίζεται με λ και είναι ίσο με τον λόγο του πεδούμενου βάρους του συρμού προς το συνολικό βάρος της αμαξοστοιχίας. Ο υπολογισμός του μήκους πέδης γίνεται μέσω διαφόρων εξισώσεων και διαγραμμάτων. Στην παρούσα εργασία θα εστιάσουμε σε δύο από αυτά.

Αρχικά το μήκος πέδης S_{π} μπορεί να υπολογισθεί από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{\pi} = \frac{4,24 * V}{1000\phi\lambda + 0,0006V^2 + 3 - i}$$

όπου: **S π** : το μήκος πέδησης (σε μέτρα)

V: η ταχύτητα τρένου την στιγμή που ξεκινάει η πέδη

ϕ : συντελεστής τριβής που εξαρτάται από την κλίση της γραμμής

(κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,5 ανάλογα την ταχύτητα και την κλίση της γραμμής)

λ : ποσοστό πεδούμενου βάρους (βρίσκεται για καθορισμένη ταχύτητα και κλίση από το σχήμα 4.3)

i: η κατά μήκος κλίση της γραμμής (ποσοστό που δηλώνει πόσα μέτρα έχω ανέβει κατακόρυφα, όταν έχω διανύσει 100 μέτρα οριζόντια)

Κλίση κεντρικών ραγών σε ‰	Κατηγορία πέδης	Για ορισκή ταχύτητα μέχρι																												
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
		χιλιόμετρα ανά ώρα απαιτούνται τα κατωτέρω ελάχιστα ποσοστά πεδούμενου βάρους																												
1	R/P G	6	6	6	6	6	7	8	10	12	14	18	22	27	31	35	42	47	56	62	71	79	82	92	102	111	123	134	148	163
2	R/P G	6	6	6	6	7	8	9	11	13	16	20	24	28	33	37	44	49	57	64	72	80	85	94	104	113	125	136	151	165
3	R/P G	6	6	6	7	8	9	10	12	14	17	21	25	29	34	38	45	50	58	65	73	81	87	96	106	115	128	139	154	167
4	R/P G	6	6	7	8	9	10	11	13	15	18	22	26	30	35	39	46	51	59	66	74	82	89	98	108	118	131	142	157	170
5	R/P G	6	7	8	9	10	11	12	14	16	19	23	27	31	36	40	47	52	61	68	75	84	92	100	110	121	134	145	160	173
6	R/P G	8	9	10	11	12	13	14	16	18	21	25	29	32	38	42	48	53	62	69	77	86	94	102	112	123	136	148		
7	R/P G	9	10	11	12	13	14	15	17	19	22	26	31	34	40	44	51	56	65	72	80	89	96	104	115	126				
8	R/P G	10	11	12	13	14	15	16	18	21	24	28	33	37	42	47	54	60	68	75	83	92	98	107	118	129				
10	R/P G	11	12	13	14	16	17	18	20	23	25	29	34	39	43	48	55	61	69	76	85	93	104	114						
12	R/P G	12	13	14	16	18	19	20	22	25	27	31	37	41	46	50	56	62	70	77	87	94								
15	R/P G	13	14	15	17	20	21	22	24	27	30	35	41	45	50	54	61	67	76	83										
17	R/P G	15	17	18	20	22	23	25	27	30	33	38	43	47	52	56	63	69	78	85										
20	R/P G	18	20	21	23	25	26	28	31	34	37	42	47	51	57	61	67	73												
22	R/P G	20	22	23	25	27	28	31	33	36	39	44	49	52	59	63	70	76												
25	R/P G	24	26	27	28	31	32	35	37	40	43	48	53	57	63	67														
27	R/P G	28	30	31	33	35	36	39	41	44	47	52	57	61	67	71														
30	R/P G	33	35	36	38	40	41	44	46	49	52	57	62	66	72	76														

Σχήμα 4.3: Πίνακας εύρεσης ποσοστού πεδούμενου βάρους λ

Ένας δεύτερος τύπος που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό του μήκους πέδης, απλούστερος και πιο εμπειρικός (εφαρμόζεται και για τον υπολογισμό του μήκους πέδης των αυτοκινήτων) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{\pi} = V * t_a + \frac{V^2}{2a}$$

όπου: **t**: ο χρόνος αντίδρασης του μηχανοδηγού και είναι περίπου ίσος με 1,5 sec
a: η επιβράδυνση του τρένου κατά το φρενάρισμα (κατά UIC546 η μέση επιβράδυνση των τρένων μετά από ακαριαία πέδη πρέπει να είναι ίση με 0,85 m/sec², ανεξάρτητα από την κλίση του εδάφους και την αναπτυσσόμενη τριβή)

Στον παραπάνω τύπο, το απαιτούμενο μήκος πέδης είναι το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών: α) του διαστήματος που διανύει ο συρμός κατά το χρόνο αντίληψης και αντίδρασης του μηχανοδηγού έως τη στιγμή που αρχίζει η διαδικασία της πέδης και β) του διαστήματος που διανύει ο συρμός από την αρχή της επιβράδυνσης του έως την πλήρη στάση του (ακινητοποίηση).

Λαμβάνοντας υπόψιν τους παραπάνω τύπους και κάνοντας αριθμητικές δοκιμές επιβεβαιώθηκαν οι τιμές των μηκών πέδης που χρησιμοποιούν οι μηχανοδηγοί στην καθημερινή τους εργασία. Οι εμπειρικές απαντήσεις των μηχανοδηγών σε συνάρτηση με τις υπολογισμένες τιμές παρατίθενται παρακάτω:

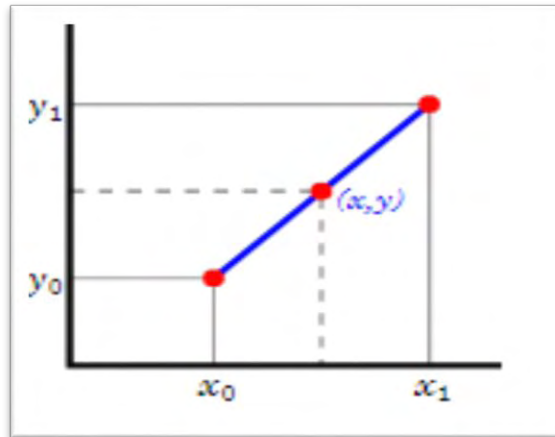
- 400 μέτρα μήκος πέδης για ταχύτητα μέχρι $v=80$ χλμ/ώρα
- 700 μέτρα μήκος πέδης για ταχύτητα μέχρι $v=120$ χλμ/ώρα
- 1000 μέτρα μήκος πέδης για ταχύτητα μέχρι $v=140$ χλμ/ώρα
- 1200 μέτρα μήκος πέδης για ταχύτητα μέχρι $v=160$ χλμ/ώρα
- 1800 μέτρα μήκος πέδης για ταχύτητα μέχρι $v=200$ χλμ/ώρα

Τα παραπάνω μέτρα μπορούν να θεωρηθούν μια ασφαλής εκτίμηση για ακινητοποίηση ενός τρένου, όταν κινείται με την ανώτερη ταχύτητα (μέχρι), σε μία από τις πέντε παραπάνω περιπτώσεις. Για παράδειγμα, αν ένα τρένο έχει ταχύτητα 130 χλμ/ώρα, τότε η ασφαλής απόσταση για να ακινητοποιηθεί είναι 1000 μέτρα γιατί εντάσσεται στην υποκατηγορία μέχρι 140 χλμ/ώρα.

Για καλύτερη προσέγγιση του απαιτούμενου μήκους πέδης ανάλογα με την στιγμιαία ταχύτητα του συρμού, χρησιμοποιούμε την γραμμική παρεμβολή. Η παρεμβολή επιλύει το ακόλουθο πρόβλημα: δεδομένης της τιμής κάποιας άγνωστης συνάρτησης σε ορισμένα σημεία, βρίσκει την τιμή που έχει η συνάρτηση αυτή σε κάποιο άλλο σημείο, μεταξύ των δεδομένων σημείων. Εάν τα δύο γνωστά σημεία δίνονται από τις συντεταγμένες (x_0, y_0) και (x_1, y_1) , η γραμμικά παρεμβάλλουσα ευθεία είναι μεταξύ αυτών των δύο σημείων. Για μια τιμή x στο διάστημα (x_0, x_1) , η τιμή y κατά μήκος της ευθείας γραμμής δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

Η εξίσωση προέρχεται γεωμετρικά από το σχήμα 4.4 παρακάτω.



Σχήμα 4.4: Γεωμετρική απεικόνιση γραμμικής παρεμβολής

Λύνοντας την εξίσωση ως προς y , η οποία είναι η άγνωστη τιμή στη x , μας δίνει:

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)}$$

η οποία είναι η φόρμουλα για γραμμική παρεμβολή στο διάστημα (x_0, x_1) .

Στην περίπτωση μας, για τον προσδιορισμό του απαραίτητου μήκους πέδης (άγνωστη τιμή), με βάση τις δοσμένες πέντε υποκατηγορίες ταχύτητας-μήκους πέδης, η παραπάνω εξίσωση μετατρέπεται στην ακόλουθη:

$$ΜΠ = ΚΜ + (ΑΜ - ΚΜ) \frac{(Τ - ΚΤ)}{(ΑΤ - ΚΤ)}$$

με: ΜΠ = Ζητούμενο Μήκος Πέδης
 ΚΜ = Δοσμένο Κάτω Όριο Διαστήματος Μήκους Πέδης
 ΑΜ = Δοσμένο Άνω Όριο Διαστήματος Μήκους Πέδης
 Τ = Ταχύτητα Συρμού του Ζητούμενου Μήκους Πέδης
 ΚΤ = Δοσμένο Κάτω Όριο Διαστήματος Ταχύτητας
 ΑΤ = Δοσμένο Άνω Όριο Διαστήματος Ταχύτητας

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση σε όλα τα δοσμένα διαστήματα και με βήμα ανά 5 χλμ/ώρα, δημιουργήθηκε η λίστα απόσταση πέδης- ταχύτητα συρμού (σχήμα 4.5). Με βάση την λίστα ταχύτητα συρμού – μήκος πέδης, μπορούμε ανά πάσα χρονική στιγμή να γνωρίζουμε την απόσταση που χρειάζεται ένας συρμός για να ακινητοποιηθεί, ανάλογα με την ταχύτητα του. Ο παρών πίνακας αποτελεί ένα σημαντικό εγχειρίδιο για την συνέχεια της παρούσας εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ-ΜΗΚΟΣ ΠΕΔΗΣ					
Ταχύτητα (km/h)	Μήκος Πέδης (m)	Ταχύτητα (km/h)	Μήκος Πέδης (m)	Ταχύτητα (km/h)	Μήκος Πέδης (m)
0	0	85	437.5	165	1275
5	25	90	475	170	1350
10	50	95	512.5	175	1425
15	75	100	550	180	1500
20	100	105	587.5	185	1575
25	125	110	625	190	1650
30	150	115	662.5	195	1725
35	175	120	700	200	1800
40	200	125	775		
45	225	130	850		
50	250	135	925		
55	275	140	1000		
60	300	145	1050		
65	325	150	1100		
70	350	155	1150		
75	375	160	1200		
80	400				

Σχήμα 4.5: Πίνακας απόστασης πέδης - ταχύτητας συρμού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1 Εισαγωγή - ETCS και Επίπεδα

Το ETCS (European Train Control System) είναι ένα πρότυπο σηματοδότησης, το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει μια σειρά από παλιότερα ασύμβατα μεταξύ τους πρότυπα, με σκοπό την σιδηροδρομική ασφάλεια ακόμη και στην περίπτωση ανθρώπινου λάθους. Το ETCS κατατάσσει τα συστήματα σηματοδότησης σε κατηγορίες - επίπεδα, ανάλογα με τον εξοπλισμό, την μέθοδο και τα μέσα που χρησιμοποιούν. Σκοπός του προτύπου είναι η υιοθέτηση κοινών κανόνων και μεθόδων από όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έτσι ώστε να είναι εφικτή η διακρατική (άνευ συνόρων) κίνηση των τρένων. Επισημαίνεται ότι το ίδιο πρότυπο ακολούθησαν και αρκετές χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα δικά τους τρένα, καθιστώντας το παγκόσμιο πρότυπο σηματοδότησης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εφαρμογή του προδιαγράφεται για τέσσερα διαφορετικά επίπεδα:

Επίπεδο 0: Το τροχαίο υλικό κινείται στις γραμμές με σηματοδότηση που βασίζεται αποκλειστικά στον διαχωρισμό των τμημάτων γραμμής μέσω κυκλωμάτων γραμμής. Δεν υπάρχει καμιά επικοινωνία μεταξύ γραμμής και τρένου.

Επίπεδο 1: Το ETCS εγκαθίσταται τόσο στο τροχαίο υλικό, όσο και σε εγκαταστάσεις σηματοδότησης δίπλα στη σιδηροδρομική γραμμή. Έτσι, επιτυγχάνεται επικοινωνία μεταξύ γραμμής και τρένου. Για παράδειγμα, σε περίπτωση παραβίασης φωτισήματος (κόκκινη ένδειξη) από τον μηχανοδηγό, το τρένο θα φρενάρει αυτόματα.

Επίπεδο 2: Όπως στο επίπεδο 1, αλλά η επικοινωνία γίνεται ασύρματα μέσω του συστήματος GSM-R. Το GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway) είναι ένα διεθνές πρότυπο ασύρματης σιδηροδρομικής επικοινωνίας μεταξύ των τρένων και των Κέντρων Ελέγχου Κυκλοφορίας. Εγγυάται μηδενική απώλεια δεδομένων για ταχύτητες μέχρι και 500 χλμ/ώρα.

Επίπεδο 3: Όπως στο επίπεδο 2, αλλά πλέον η θέση του συρμού και η ακεραιότητα της σύνθεσης της αμαξοστοιχίας δεν βασίζεται πλέον σε κυκλώματα γραμμής και μετρητές αξόνων. Σηματοδότηση με κινούμενα (μεταβλητά) τμήματα γραμμής.

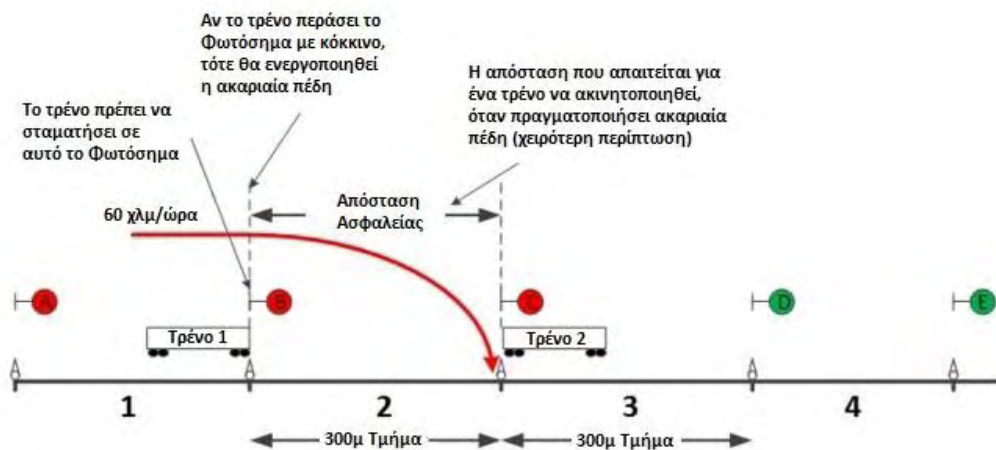
5.2 Προσδιορισμός του προβλήματος – Ισχύουσα Κατάσταση

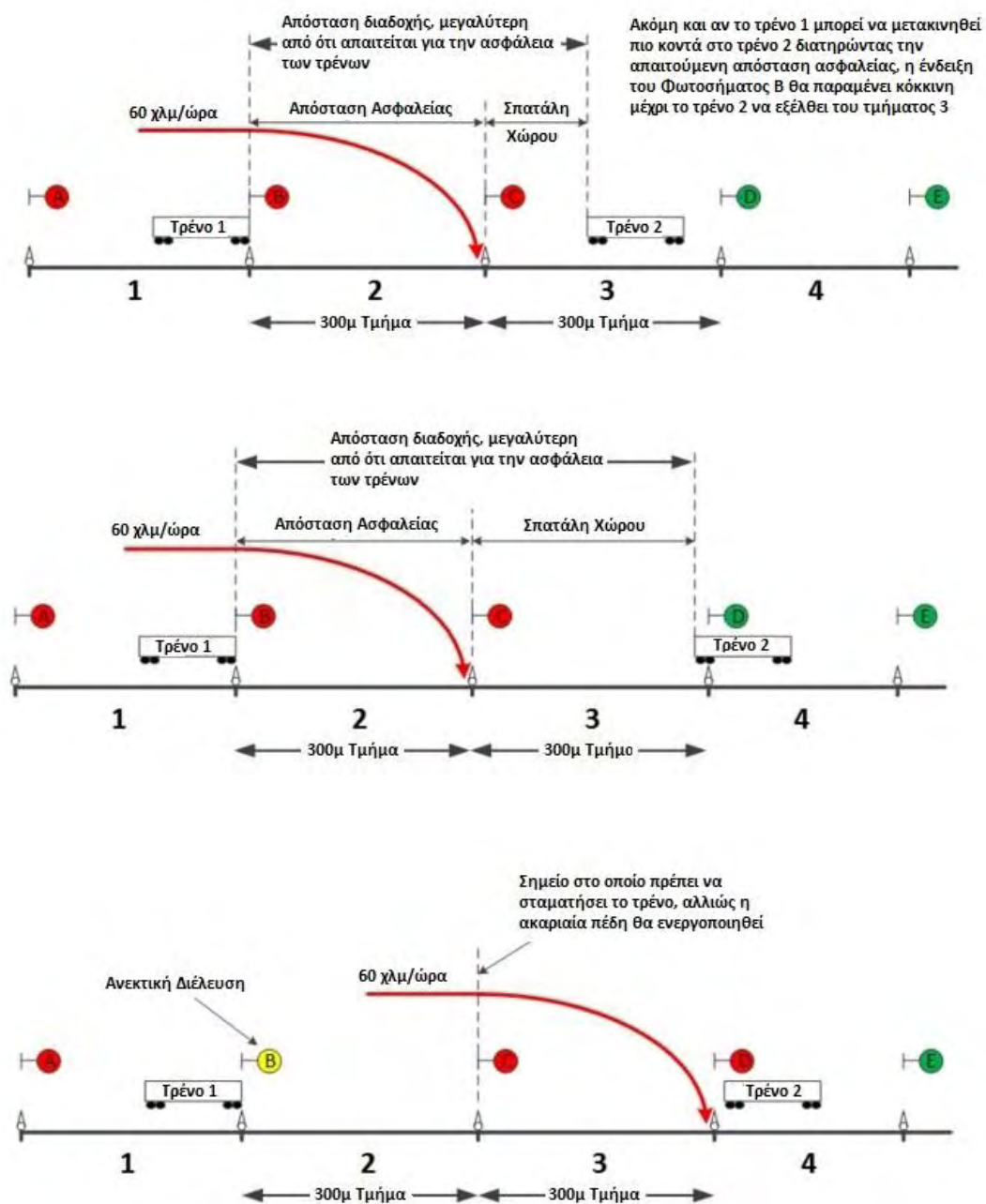
Τα τελευταία 150 χρόνια, η μέθοδος σηματοδότησης που έχει επικρατήσει και έχει υπηρετήσει τα σιδηροδρομικά δίκτυα είναι η μέθοδος του προκαθορισμένου τμήματος γραμμής (fixed block). Βασίζεται στην εφεύρεση του κυκλώματος γραμμής,

που περιγράψαμε παραπάνω και είναι η πιο ασφαλής μέθοδος που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα για την ανίχνευση της παρουσίας ενός συρμού σε ένα τμήμα γραμμής. Εντάσσεται στο επίπεδο 0 του ETCS. Αναμενόμενο ήταν η μέθοδος των προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής να επικρατήσει και στα ελληνικά σιδηροδρομικά δίκτυα.

Ο πρωταρχικός σκοπός μιας μεθόδου σηματοδότησης είναι να διατηρήσει τα τρένα σε ασφαλή απόσταση μεταξύ τους, ώστε να μπορούν να φρενάρουν σε περίπτωση σφάλματος, χωρίς να έρθουν σε επαφή (τρακάρισμα). Ωστόσο, η απόσταση μεταξύ δυο τρένων δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί, γιατί η χωρητικότητα της γραμμής θα είναι μικρή και θα επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στο επιβατικό κοινό. Για παράδειγμα, μια λάθος εκτίμηση στον χρόνο διαδοχής δυο τρένων, θα έχει σαν αποτέλεσμα τρένα να φτάνουν σε ένα σταθμό ανά 5 λεπτά, ενώ θα μπορούσαν να φτάνουν και ανά 3 λεπτά.

Η σηματοδότηση με προκαθορισμένα τμήματα γραμμής, διαιρεί την συνολική σιδηροδρομική γραμμή σε επιμέρους μικρά τμήματα. Έτσι, καθορίζεται η απόσταση ασφαλείας μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών (συνήθως δύο τμήματα γραμμής) και η συχνότητα των τρένων με την οποία θα εξυπηρετείται ένας σταθμός. Η απόσταση ασφαλείας μεταξύ δυο τρένων και ο χρόνος διαδοχής δύο τρένων από ένα σταθμό είναι αντιστρόφως ανάλογα ποσά μεταξύ τους. Έτσι, η πρόκληση για τους σχεδιαστές σιδηροδρομικών γραμμών με αυτό τον τρόπο σηματοδότησης είναι η βελτιστοποίηση του συστήματος, επιλέγοντας ένα από τα δύο παραπάνω αντιστρόφως ανάλογα ποσά. Αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτό μέσα από το απλό παράδειγμα που ακολουθεί.





Σχήμα 5.1: Περιγραφή Σηματοδότησης Προκαθορισμένων Τμημάτων Γραμμής

Αν το τρένο 1 ταξιδεύει με σταθερή ταχύτητα στα 60 χλμ/ώρα, τότε απαιτούνται 300 μέτρα για να ακινητοποιηθεί. Επομένως, το τμήμα γραμμής που χωρίζει το τρένο 1 με το προπορευόμενο τρένο 2 θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 300 μέτρα. Καθώς το τρένο 2 ταξιδεύει και απομακρύνεται από το φωτιστήμα C, το τρένο 1 δεν μπορεί να εισέλθει στο τμήμα γραμμής 2, μέχρι το τρένο 2 να εξέλθει από το τμήμα γραμμής 3. Αυτό το είδος σηματοδότησης ονομάζεται σηματοδότηση προκαθορισμένου τμήματος γραμμής (fixed block signaling) με απόσταση ασφαλείας δυο τμημάτων γραμμής μεταξύ δυο τρένων. Το αποτέλεσμα της παραπάνω μεθόδου είναι η δημιουργία μιας υπερ-ασφαλούς περιοχής μεταξύ δυο συρμών, αλλά δημιουργείται μια αδικαιολόγητα μεγάλη απόσταση διαδοχής (το τρένο 1 μπορεί να κινηθεί πιο

κοντά στο τρένο 2, διατηρώντας την απόσταση ασφαλείας, αλλά δεν το κάνει, σπαταλώντας χώρο).

Από το παραπάνω παράδειγμα, συμπεραίνουμε ότι όσο το μήκος του τμήματος γραμμής (block) αυξάνεται, τόσο το περιθώριο ασφαλείας αυξάνεται, αλλά σε βάρος της απόστασης διαδοχής δυο τρένων από ένα σταθμό (μείωση της χωρητικότητας της γραμμής). Μειώνοντας το μήκος του τμήματος γραμμής (μπλοκ), μειώνεται η απόσταση διαδοχής δυο συρμών, αλλά σε βάρος της ασφάλειας.

5.2.1 Ισχύουσα Κατάσταση στο τμήμα Θεσ/νίκη –Πλατύ

Στις γραμμές του Ελληνικού Σιδηροδρομικού Δικτύου (ΟΣΕ) χρησιμοποιείται η σηματοδότηση με τμήματα προκαθορισμένου μήκους. Το μήκος των τμημάτων της γραμμής (block) υπολογίστηκε με βάση τις επικρατέστερες ταχύτητες των συρμών σε αυτά τα σημεία και τα συνηθέστερα μήκη πέδησης των διαφόρων τύπων αμαξοστοιχιών. Επίσης, ο χρόνος αντίδρασης των μηχανοδηγών θεωρείται ο ίδιος (worst case scenario). Έτσι, ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω για κάθε περιοχή, προχώρησε στην τμηματοποίηση της γραμμής. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται ότι η απόσταση μεταξύ κυρίου φωτοσήματος και προφωτοσήματος ενός σταθμού, ορίστηκε στα 1200 μέτρα (σταθερό τμήμα γραμμής) βάση της απόστασης πέδης ενός επιβατικού τρένου που κινείται με ταχύτητα 160 χλμ/ώρα. Στη συνέχεια, παρατίθεται ένας πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει την ταχύτητα των συρμών στο τμήμα Αθήνα – Θεσ/νίκη, καθώς και το χρόνο που απαιτείται για να καλυφθεί η αντίστοιχη απόσταση (στοιχεία που λήφθηκαν υπόψιν για την τμηματοποίηση της γραμμής).

ΑΠΌ (χλμ)	ΠΡΟΣ (χλμ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)	ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (km)	ΧΡΟΝΟΣ (λεπτά)
Αθήνα 10.3	11.1	40	0.8	1.2
11.1	18 ΣΚΑ	85	6.9	4.8
18 ΣΚΑ	Αχαρναί 21.1	90	3.1	2.1
Αχαρναί 21.1	21.8	100	0.7	0.4
21.8	Δεκέλεια 25	120	3.2	1.6
Δεκέλεια 25	Αγ.Στέφανος 33.5	95	8.5	5.3
Αγ.Στέφανος 33.5	35.8	75	2.3	1.8
35.8	36	20	0.2	0.6
36	Αφίδναι 40.1	85	4.1	2.9
Αφίδναι 40.1	44.8	80	4.7	3.5
44.8	47	100	2.2	1.3
47	Σφενδάλη 50.9	80	3.9	2.9
Σφενδάλη 50.9	Αυλών 59.2	90	8.3	5.5
Αυλών 59.2	Αγ.Θωμάς 64.2	90	5	3.3

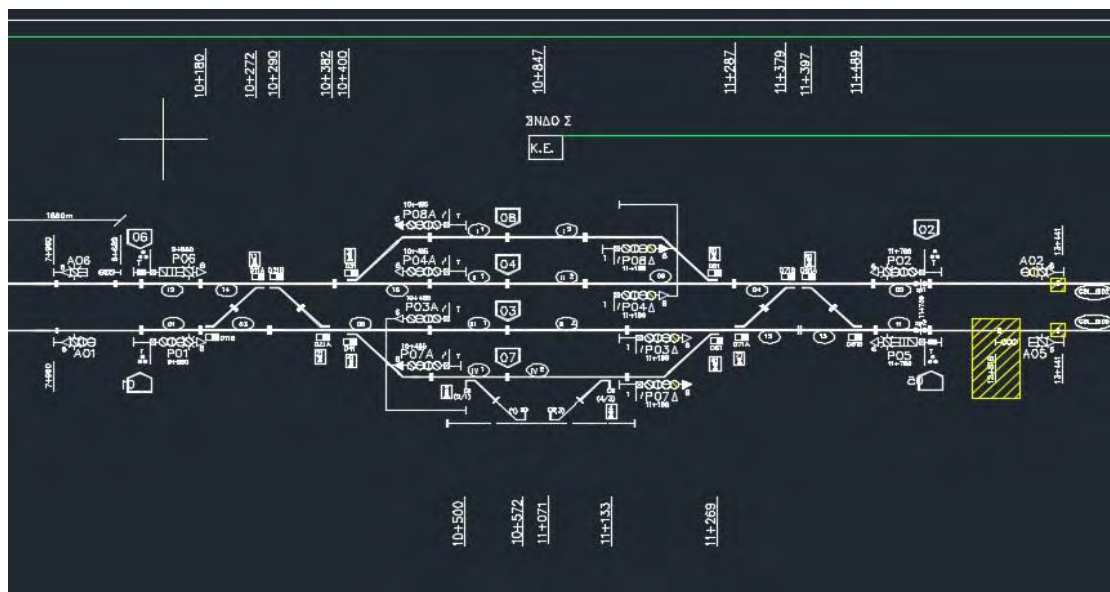
Αγ.Θωμάς 64.2	65.3	120	1.1	0.5
65.3	Οινόφυτα 68.6	90	3.3	2.2
Οινόφυτα 68.6	Οινόη 71.4	80	2.8	2.1
Οινόη 71.4	Τανάγρα 75.3	160	3.9	1.4
Τανάγρα 75.3	Ελεών 85	160	9.7	3.6
Ελεών 85	Ύπατον 92.9	160	7.9	2.9
Ύπατον 92.9	99.1	160	6.2	2.3
99.1	Θήβα 99.9	80	0.8	0.6
Θήβα 99.9	100.6	80	0.7	0.5
100.6	Σφίγγα 110.7	160	10.1	3.7
Σφίγγα 110.7	Αλιάρτος 119.4	160	8.7	3.2
Αλιάρτος 119.4	120	120	0.6	0.3
120	Υψηλάντης 126.7	160	6.7	2.5
Υψηλάντης 126.7	Αλαλκομεναί 131.6	160	4.9	1.8
Αλαλκομεναί 131.6	Λιβαδειά 140.2	160	8.6	3.2
Λιβαδειά 140.2	Χαιρώνεια 147.7	160	7.5	2.8
Χαιρώνεια 147.7	Δαυλεία 152.7	160	5	1.8
Δαυλεία 152.7	Παρόριον 158.4	160	5.7	2.1
Παρόριον 158.4	Κηφισός 161.1	160	2.7	1.1
Κηφισός 161.1	164.1	160	3	1.1
164.1	Τιθορέα 164.6	120	0.5	0.2
Τιθορέα 164.6	167.1	40	2.5	3.7
167.1	Παρνασσός 172.3	110	5.2	2.8
Παρνασσός 172.3	173.1	120	0.8	0.4
173.1	Αμφίκλεια 181.2	85	8.1	5.7
Αμφίκλεια 181.2	Λιλαία 185.7	120	4.5	2.2
Λιλαία 185.7	193.5	120	7.8	3.9
193.5	Μπράλος 194.3	70	0.8	0.7
Μπράλος 194.3	Ελευθεροχώριον 201	60	6.7	6.7
Ελευθεροχώριον 201	Ασωπός 205	65	4	3.7
Ασωπός 205	Αρπίνη 212.6	65	7.6	7.1
Αρπίνη 212.6	214.5	65	1.9	1.7
214.5	Γοργοπόταμος 215.2	35	0.7	1.2
Γοργοπόταμος 215.2	221.4	120	6.2	3.1
221.4	Λειανοκλάδι 222.5	90	1.1	0.7

Λειανοκλάδι 222.5	Λυγαριά 230.7	90	8.2	5.5
Λυγαριά 230.7	Στύρφακα 236.1	60	5.4	5.4
Στύρφακα 236.1	Καρυά 247	60	10.9	10.9
Καρυά 247	251.7	65	4.7	4.3
251.7	Καλλιπεύκη 257.4	45	5.7	7.6
Καλλιπεύκη 257.4	262	70	4.6	3.9
262	Αγγεΐαι 265.4	100	3.4	2.04
Αγγεΐαι 265.4	266.8	100	1.4	0.84
266.8	Θέρμαι 271.3	70	4.5	3.8
Θέρμαι 271.3	Ξυνιάς 277.5	60	6.2	6.2
Ξυνιάς 277.5	Θαυμακός 283.5	75	6	4.8
Θαυμακός 283.5	284.2	80	0.7	0.525
284.2	287.3	100	3.1	1.86
287.3	Δομοκός 287.9	70	0.6	0.5
Δομοκός 287.9	288.3	80	0.4	0.3
288.3	Παλαιοφάρσαλο 303.1	140	14.8	6.3
Παλαιοφάρσαλο 303.1	Ορφανά 313.3	160	10.2	3.825
Ορφανά 313.3	Δοξαράς 321.9	160	8.6	3.225
Δοξαράς 321.9	Κρανών 328.8	160	6.9	2.5875
Κρανών 328.8	Μεζούρλο 343.6	160	14.8	5.55
Μεζούρλο 343.6	344.7	160	1.1	0.4125
344.7	Λάρισα 345.4	100	0.7	0.42
Λάρισα 345.4	346.3	100	0.9	0.54
346.3	348	40	1.7	2.55
348	349.4	130	1.4	0.6
349.4	Ζάχαρη 353.3	160	3.9	1.4
Ζάχαρη 353.3	Ευαγγελισμός 369	160	15.7	5.9
Ευαγγελισμός 369	Ραψάνη 387.4	160	18.4	6.9
Ραψάνη 387.4	Νέοι Πόροι 398.3	160	10.9	4.1
Νέοι Πόροι 398.3	Λεπτοκαρυά 410.6	160	12.3	4.6
Λεπτοκαρυά 410.6	Λιτόχωρον 418.6	160	8	3
Λιτόχωρον 418.6	434.3	160	15.7	5.8
434.3	Κατερίνη 435	30	0.7	1.4
Κατερίνη 435	435.6	30	0.6	1.2
435.6	Κορινός 441.8	160	6.2	2.3

Κορινός 441.8	Μακρύγιαλος 449.9	160	8.1	3.1
Μακρύγιαλος 449.9	Αιγίνιον 464.1	160	14.2	5.3
Αιγίνιον 464.1	481.7	160	17.6	6.6
481.7	482.3	100	0.6	0.3
482.3	Πλατύ 482.6/36.3	160	0.3	0.1
Πλατύ 482.6/36.3	Άδενδρο 28.8	160	7.5	2.8
Άδενδρο 28.8	Αξιός 20.2	160	8.6	3.2
Αξιός 20.2	Σίνδος 10.8	160	9.4	3.5
Σίνδος 10.8	7.4	160	3.4	1.3
7.4	3.1	100	4.3	2.6
3.1	0.8	80	2.3	1.7
0.8	ΤΧ1 0.0/5.6	50	0.8	0.9
ΤΧ1 5.6	ΤΧ5 Θεσ/νίκη	55	5.6	6.1

Σχήμα 5.2: Πίνακας Αποστάσεων και Χρόνων Διαδρομής Αθήνας - Θεσ/νίκης

Το κάθε τμήμα γραμμής, είτε αυτό πρόκειται για τμήμα ανοιχτής γραμμής ή τμήμα εντός σταθμού, αποτελείται από τα φωτισήματα του εκατέρωθεν, τα κυκλώματα γραμμής του και τους μετρητές αξόνων αν απαιτείται. Με τις κατάλληλες καλωδιώσεις όλα τα απαραίτητα σήματα αποστέλλονται στην κονσόλα ελέγχου του σταθμάρχη. Στην εικόνα που ακολουθεί (σχήμα 5.3) για τον σταθμό της Σίνδου, απεικονίζεται το πλήρες διάγραμμα σηματοδότησης του σταθμού. Για παράδειγμα, παρατηρούμε ότι το τμήμα γραμμής «03» αποτελείται από τα δυο φωτισήματα Ρ03Δ και Ρ03Α, δύο κυκλώματα γραμμής III1 και III2, ενώ δεν έχει μετρητές αξόνων.



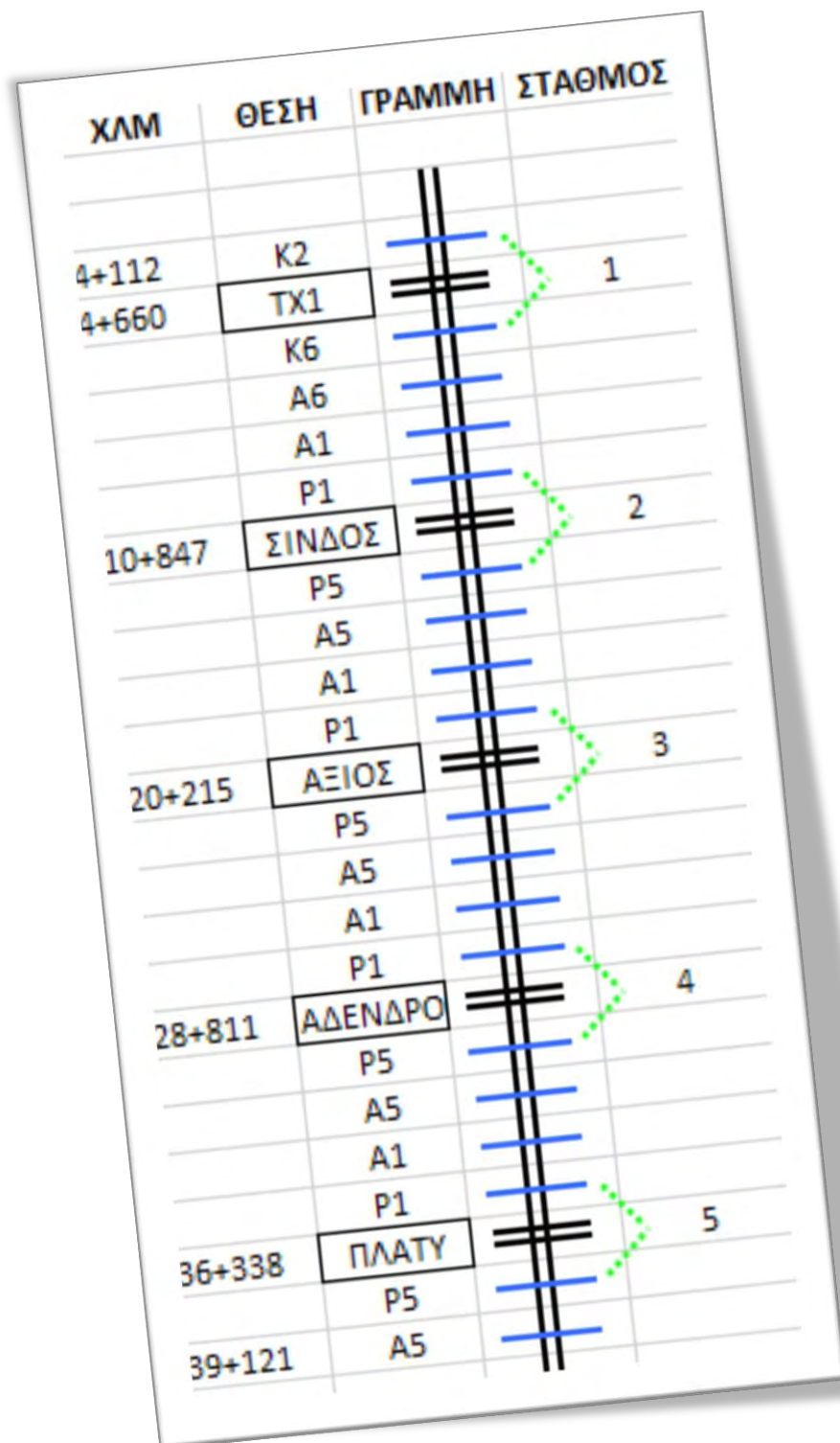
Σχήμα 5.3: Πλήρες διάγραμμα σηματοδότησης σταθμού Σίνδου

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής Θεσσαλονίκη – Πλατύ Ημαθίας. Η γραμμή σε αυτό το τμήμα είναι διπλή (άνοδος – κάθοδος), τύπου UIC 54 και UIC 60, με εγκατεστημένο σύστημα ηλεκτροκίνησης και σηματοδότησης. Η γραμμή είναι πλήρως ανακαινισμένη με σύγχρονα υλικά επιδομής και μπορούν να αναπτυχθούν ταχύτητες έως 160 χλμ/ώρα. Το μήκος της συνολικής απόστασης είναι σχεδόν 36 χιλιόμετρα. Από το εγχειρίδιο δρομολογίων του ΟΣΕ προέκυψε ότι στο συγκεκριμένο τμήμα κυκλοφορούν 29 τακτικές αμαξοστοιχίες ημερησίως, εκ των οποίων οι 26 είναι επιβατικές και οι 3 είναι εμπορικές.

Το τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα (σχήμα 5.4), αποτελείται από 5 σιδηροδρομικούς σταθμούς:

- Θεσσαλονίκη (ΤΧ1)
- Σίνδος
- Αξιός (δεν εξυπηρετεί επιβατικό κοινό)
- Άδενδρο
- Πλατύ

Κάθε σταθμός αποτελεί και ξεχωριστό τμήμα γραμμής (block) και οροθετείται μεταξύ των φωτοσημάτων εισόδου κάθε πλευράς (Θεσσαλονίκη - Πλατύ). Για παράδειγμα, στο σχήμα 5.4 που ακολουθεί, ο σταθμός της Σίνδου οροθετείται μεταξύ των φωτοσημάτων P1 και P5. Επίσης, η ανοιχτή γραμμή μεταξύ δυο σταθμών διαχωρίζεται σε επιμέρους τμήματα. Για παράδειγμα, η ανοιχτή γραμμή Σίνδος – Αξιός αποτελείται από 3 τμήματα (P5-A5, A5-A1, A1-P1). Στο σχήμα, κάθε τμήμα γραμμής (block) βρίσκεται μεταξύ δυο μπλε γραμμών. Επομένως, για το συνολικό τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ, παρατηρούμε ότι η σηματοδότηση προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής «χωρίζει» την γραμμή σε 18 τμήματα (fixed blocks). Δηλαδή, έχουμε 18 ανεξάρτητα τμήματα γραμμής, τα οποία μπορούν να καταληφθούν από μόνο μια αμαξοστοιχία ανά χρονική στιγμή.

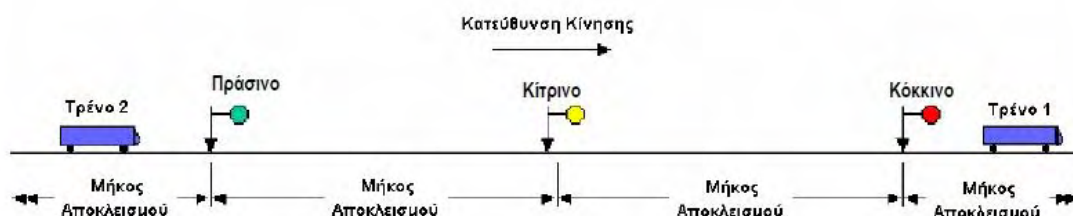


Σχήμα 5.4: Σιδηροδρομικό Τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ (18 τμήματα γραμμής)

Στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο, όπως αναφέραμε και παραπάνω, η σηματοδότηση προκαθορισμένου τμήματος (fixed block signaling) χρησιμοποιεί διάστημα ασφαλείας μεταξύ δύο συρμών, ίσο με δυο τμήματα γραμμής. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχική σύλληψη της προστασίας τμήματος που είναι κατειλημμένο με απαγορευτικό κόκκινο σήμα. Προστίθενται όμως και

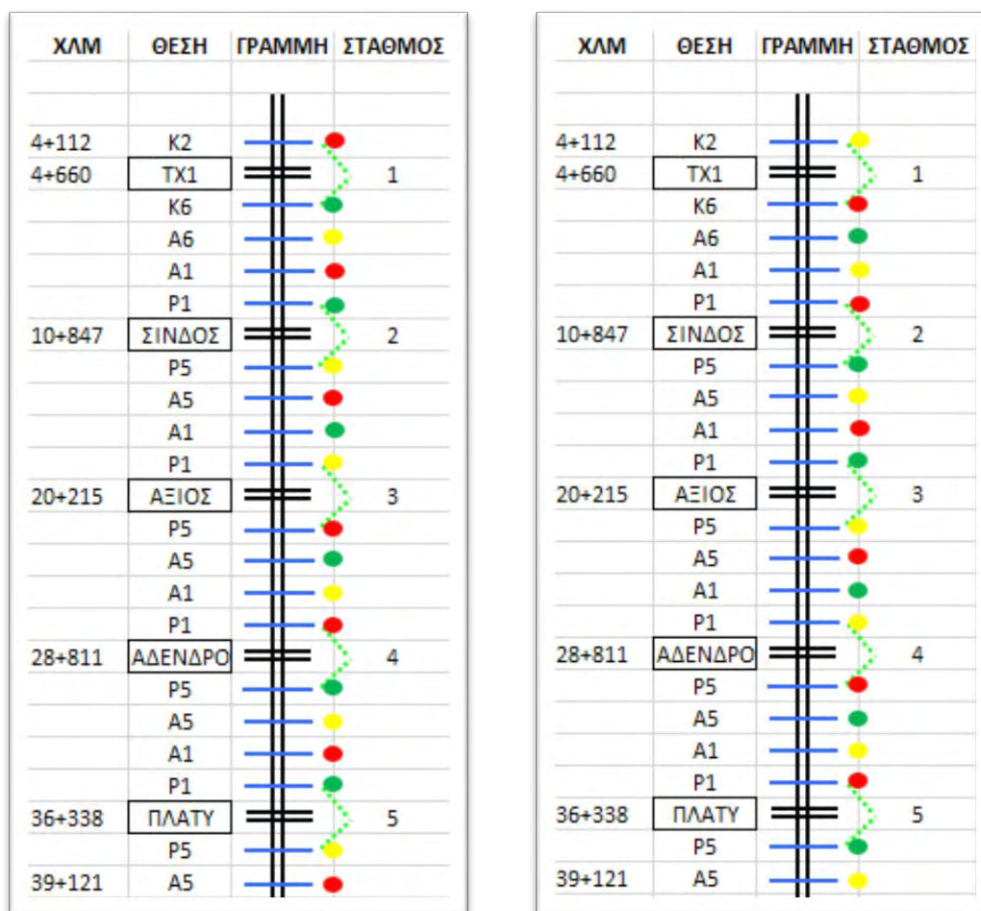
προειδοποιητικές ενδείξεις κίτρινου χρώματος στα προηγούμενα σήματα, παρέχοντας στα μεγαλύτερης ταχύτητας ή μεγαλύτερου βάρους τρένα το αναγκαίο μήκος για να σταματήσουν.

Εάν έχουμε δυο τρένα σε ακολουθία (σχήμα 5.5), το τμήμα γραμμής που είναι κατειλημμένο από το προπορευόμενο τρένο 1 προστατεύεται με την κόκκινη ένδειξη στο φωτόσημο που βρίσκεται στην είσοδο του τμήματος. Το προηγούμενο μήκος αποκλεισμού έχει την ένδειξη κίτρινο στο φωτόσημο του, που δηλώνει ότι το επόμενο φωτόσημο έχει την ένδειξη κόκκινο (υποχρεωτικό φρενάρισμα σε όποιο τρένο εισέλθει σε μπλοκ με ένδειξη κίτρινο). Το τμήμα γραμμής που επιτρέπεται να εισέλθει το τρένο 2 έχει την ένδειξη πράσινο και βρίσκεται δυο φωτοσήματα πίσω από το κατειλημμένο τμήμα γραμμής από το τρένο 1. Έτσι, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια ακολουθία κόκκινο – κίτρινο – πράσινο στα φωτοσήματα και δημιουργείται απόσταση ασφαλείας δυο μηκών αποκλεισμού.



Σχήμα 5.5: Ακολουθία Χρωμο-σημάτων σε διαδοχικά τμήματα σιδηροδρομικής γραμμής

Επομένως και στο τμήμα (Θεσσαλονίκη - Πλατύ) το οποίο μελετάμε στην παρούσα διπλωματική εργασία, εφαρμόζεται η απόσταση ασφαλείας μεταξύ δυο συρμών ίση με 2 τμήματα γραμμής. Με την βοήθεια των παρακάτω δυο σχημάτων (σχήμα 5.6) και με βάση την θεωρία διαδοχής των χρωμάτων στις ενδείξεις των φωτοσημάτων (κόκκινο – κίτρινο – πράσινο), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κάθε χρονική στιγμή μπορούμε να έχουμε έως και έξι τρένα στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ.



Σχήμα 5.6: Ενδείξεις Φωτοσημάτων στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ σε δυο διαδοχικές χρονικές στιγμές (ταυτόχρονη κυκλοφορία 6 συρμών)

Έστω ότι έχουμε αμαξοστοιχίες που κινούνται στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ, στην γραμμή ανόδου, δηλαδή με φορά κίνησης από Θεσσαλονίκη προς Πλατύ. Στην αριστερή εικόνα απεικονίζονται οι ενδείξεις των φωτοσημάτων την χρονική στιγμή «t» και στην δεξιά την επόμενη χρονική στιγμή «t+1». Αρχικά, στο αριστερό σχήμα παρατηρούμε ότι στον σταθμό Θεσσαλονίκης (TX1) βρίσκεται τρένο, οπότε το φωτόσημο που προστατεύει το τμήμα γραμμής είναι κόκκινο. Το επόμενο τμήμα γραμμής K6-A6 είναι ελεύθερο (πράσινη ένδειξη στο φωτόσημα), οπότε το τρένο μπορεί να εισέλθει σε αυτό το μπλοκ. Έτσι την επόμενη χρονική στιγμή, όπως φαίνεται στο σχήμα δεξιά, η ένδειξη του φωτοσήματος που προστατεύει το τμήμα γραμμής K6-A6 γίνεται κόκκινη. Η ένδειξη του προηγούμενου τμήματος γραμμής, δηλαδή του σταθμού TX1 γίνεται πορτοκαλί.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο δρομολογίων του ΟΣΕ και κατόπιν συζητήσεως με στελέχη και σταθμάρχες, για μεγαλύτερη ασφάλεια μεταξύ δυο διαδοχικών τρένων, στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ, είθισται να κυκλοφορούν έως πέντε τρένα. Αυτό συμβαίνει διότι ο χρόνος αναμονής μιας αμαξοστοιχίας σε ένα σταθμό μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον καθορισμένο. Έτσι, για να μην περιμένει ένα τρένο στο φωτόσημο ενός τμήματος στην ανοιχτή γραμμή, σε περίπτωση καθυστέρησης, δίνεται ο επιπλέον χρόνος, μειώνοντας τον αριθμό των τρένων κατά ένα. Η χωρητικότητα της γραμμής σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται χωρητικότητα ώρας

αιχμής. Σε μερικές περιπτώσεις, ένα τρένο φεύγει από ένα σταθμό, εάν το προπορευόμενο τρένο έχει φύγει από τον επόμενο σταθμό. Για παράδειγμα, με βάση τα παραπάνω σχήματα, ένα τρένο θα φύγει από το σταθμό της Σίνδου με κατεύθυνση προς Πλατύ, εάν και μόνο εάν το προπορευόμενο τρένο έχει φύγει από τον σταθμό του Αξιού.

Από τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι η χωρητικότητα του δικτύου Θεσσαλονίκη – Πλατύ είναι ίση με 5 τρένα ανά χρονική στιγμή (6 στην καλύτερη περίπτωση), χρησιμοποιώντας την σηματοδότηση προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής (fixed blocks). Δεδομένου ότι η απόσταση είναι ίση με 35 χιλιόμετρα περίπου και τα τρένα κινούνται με την μέγιστη ταχύτητα σε κάθε τμήμα χωρίς καθυστερήσεις, ο χρόνος μετάβασης από Θεσσαλονίκη σε Πλατύ είναι ίσος με 28 λεπτά κατά μέσο όρο. Επομένως, ο μέσος χρόνος διαδοχής μεταξύ δυο διαδοχικών συρμών είναι ίσος με 6 λεπτά περίπου. Η ημερήσια χωρητικότητα του δικτύου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$C = \frac{T}{t_{\text{διαδοχής}} + t_{\text{διαστολής}} + t_{\pi}}$$

Όπου:

$t_{\text{διαδοχής}}$: ο μέσος χρόνος διαδοχής δυο συρμών

$t_{\text{διαστολής}}$: χρόνος για αποφυγή καθυστερήσεων μεταξύ δυο συρμών (60% του χρόνου διαδοχής)

t_{π} : πρόσθετος χρόνος ασφαλείας ίσος με 1 λεπτό

T: η χρονική περίοδος αναφοράς, ίση με 1 ημέρα στην περίπτωση μας (1440 λεπτά)

Κάνοντας τον υπολογισμό στην σχέση $C = \frac{1440}{6+0.6*6+1} = 135.85$, βρίσκουμε ότι η ημερήσια χωρητικότητα στο τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ είναι ίση με 136 συρμοί. Επαναλαμβάνουμε από προηγουμένως, ότι η στιγμιαία χωρητικότητα (χωρητικότητα ώρας αιχμής) είναι ίση με 5 συρμοί για το ίδιο τμήμα.

5.2.2 Μειονεκτήματα Ισχύουσας Κατάστασης

Η σηματοδότηση με τμήματα γραμμής προκαθορισμένου μήκους είναι μια μέθοδος που βασίζεται σε μια τεχνολογία η οποία εφευρέθηκε τη δεκαετία του 1860. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η εκμετάλλευση της σιδηροδρομικής γραμμής μπορεί να βελτιστοποιηθεί, καθώς οι ταχύτητες και τα μήκη των τρένων ποικίλλουν.

Παρακάτω παρατίθενται μερικά προβλήματα και κενά που συναντούμε στην υπάρχουσα μέθοδο:

- 1) Ένα τμήμα γραμμής μπορεί να έχει μήκος 300 μέτρα, αλλά ένα τρένο που βρίσκεται σε αυτό να έχει μήκος μόνο 100 μέτρα. Τότε παρατηρούμε ότι υπάρχει «σπατάλη χώρου» για 200 μέτρα.
- 2) Η σηματοδότηση με τμήματα γραμμής προκαθορισμένου μήκους λαμβάνει υπόψιν ότι το μήκος του τρένου είναι ίσο με το μήκος του τμήματος γραμμής που βρίσκεται. Αυτό συμβαίνει γιατί με την συγκεκριμένη μέθοδο δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή θέση του τρένου μέσα σε ένα τμήμα γραμμής, παρά μόνο ότι βρίσκεται μέσα σε αυτό. Οπότε, εάν ένα μπλοκ είναι μήκους 300 μέτρων, τότε και το τρένο θεωρείται ότι έχει το ίδιο μήκος.

- 3) Αν για τη δημιουργία ενός τμήματος γραμμής, έγινε ο υπολογισμός του μήκους πχ 300 μέτρα, με βάση την συνήθη ταχύτητα των τρένων σε αυτό το σημείο πχ 60 χλμ/ώρα, τότε ένα τρένο που κινείται με 40 χλμ/ώρα, αναγκαστικά θα διατηρεί μια απόσταση ασφαλείας 300 μέτρων, σπαταλώντας χώρο στην γραμμή (η απόσταση ασφαλείας σε αυτή την περίπτωση είναι μικρότερη).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι δημιουργούνται αδικαιολόγητα μεγάλες αποστάσεις διαχωρισμού μεταξύ δυο διαδοχικών συρμών, μειώνοντας έτσι την συνολική χωρητικότητα της γραμμής. Οπότε, ο ελεγκτής – κεντρικός σταθμάρχης του συστήματος περιορίζεται στον αριθμό των τρένων που μπορεί να διοχετεύσει στο δίκτυο λόγω των προκαθορισμένων – σταθερών μπλοκ γραμμής.

Σήμερα, με την δύναμη των υπολογιστικών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, είναι καιρός να στραφούμε σε νέες και πιο αποτελεσματικές μεθόδους ελέγχου των τρένων, οι οποίες θα βασίζονται σε δυναμικά μοντέλα, που θα προσαρμόζονται στις ανάγκες κάθε συρμού και στην συνολική ημερήσια κυκλοφορία στις σιδηροδρομικές γραμμές.

5.3 Νέα Μέθοδος – Σηματοδότηση Μεταβλητών Τμημάτων Γραμμής

5.3.1 Εισαγωγή

Η «παραδοσιακή» μέθοδος των προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής (fixed blocks), όπως είπαμε παραπάνω, βασίστηκε στην εφεύρεση του κυκλώματος γραμμής για την ασφαλή ανίχνευση της παρουσίας ενός συρμού σε ένα τμήμα γραμμής. Αυτή η μέθοδος έχει υπηρετήσει την κοινότητα της σηματοδότησης για τα τελευταία 150 χρόνια. Καθώς όμως ο πληθυσμός των μεγάλων αστικών κέντρων αυξάνεται, αλλά και οι απαιτήσεις για την εκμετάλλευση των σιδηροδρομικών γραμμών γίνονται όλο και μεγαλύτερες, πρέπει να αναζητηθεί νέος και βέλτιστος τρόπος σηματοδότησης των σιδηροδρομικών γραμμών.

Για να καλυφθούν οι νέες ανάγκες της σιδηροδρομικής χωρητικότητας της γραμμής, υπάρχουν δύο επιλογές. Η πρώτη είναι η δημιουργία νέων επιπλέον γραμμών παράλληλα στις υπάρχουσες. Το κόστος και ο χρόνος κατασκευής τους όμως είναι μεγάλα και απαγορευτικά, οπότε αυτή η ιδέα εγκαταλείπεται. Η δεύτερη επιλογή είναι η υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας, η οποία ονομάζεται μεταβλητά τμήματα γραμμής (moving blocks) και στηρίζεται στην τεχνολογία «έλεγχος τρένου βασιζόμενος στις επικοινωνίες» (communications based train control - CBTC).

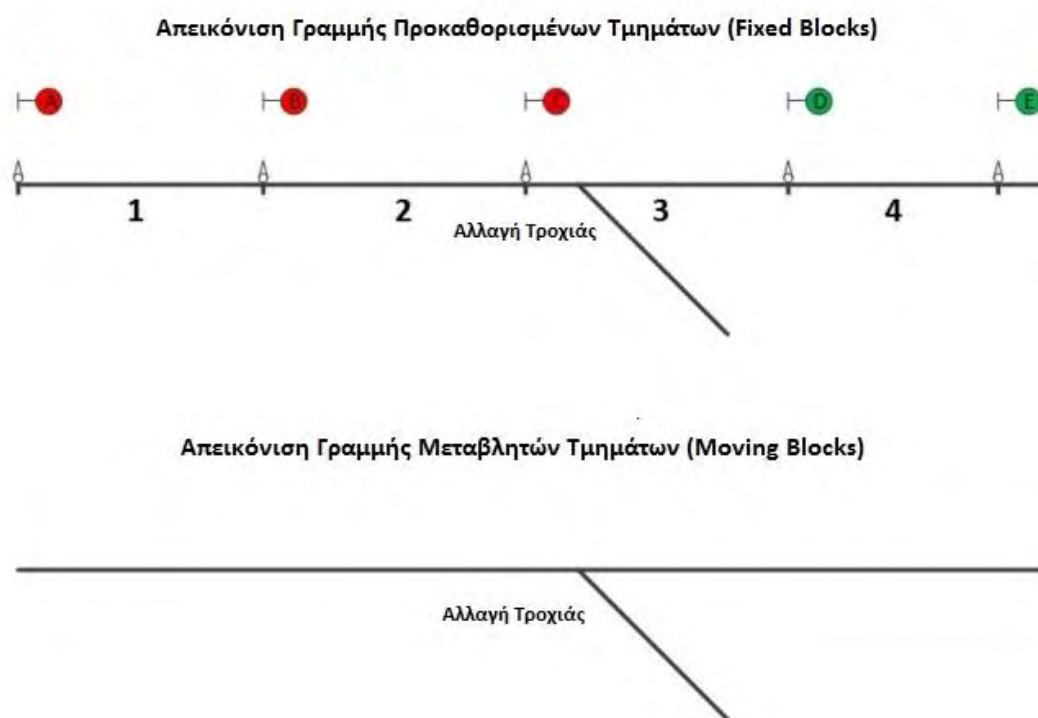
Το CBTC είναι ένα σύστημα σηματοδότησης σιδηροδρόμων που κάνει χρήση των τηλεπικοινωνιών μεταξύ της αμαξοστοιχίας και του εξοπλισμού της γραμμής, για την διαχείριση της κυκλοφορίας και τον έλεγχο των υποδομών. Με το σύστημα CBTC, η ακριβής θέση του συρμού είναι γνωστή με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι με τα παραδοσιακά συστήματα σηματοδότησης (με τα συστήματα fixed blocks γνωρίζουμε ότι ένα τρένο βρίσκεται μέσα σε ένα τμήμα γραμμής, αλλά όχι την ακριβή του θέση – πχ ένα τμήμα γραμμής μπορεί να έχει μήκος 1200μ). Αυτό οδηγεί σε ένα πιο

ασφαλή και αποτελεσματικό τρόπο για την αξιοποίηση και διαχείριση της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας. Έτσι μπορεί να μειωθεί ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών συρμών, διατηρώντας ή ακόμη και αυξάνοντας την ασφάλεια κίνησης των συρμών (αποφυγή σύγκρουσης).

5.3.2 Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας

Το σύστημα σηματοδότησης μεταβλητού τμήματος γραμμής (moving block) είναι ένα καινοτόμο concept, καθώς για πρώτη φορά δεν χρησιμοποιείται το κύκλωμα γραμμής σαν μηχανισμός ανίχνευσης της παρουσίας ενός συρμού. Δεδομένου ότι το κύκλωμα γραμμής ανάγκαζε τους σχεδιαστές των συστημάτων σε μια νοοτροπία προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής (fixed block), αφαιρώντας το κύκλωμα γραμμής, απελευθερώνονται σε ένα νέο και γενναίο κόσμο των κινούμενων τμημάτων γραμμής.

Επομένως, με την έλευση του CBTC, οι σχεδιαστές άρχισαν να βλέπουν την σιδηροδρομική γραμμή σαν ένα συνεχόμενο κομμάτι και όχι σαν μια αλυσίδα από μικρά κομμάτια. Στο σχήμα 5.7 απεικονίζονται τα παραπάνω.

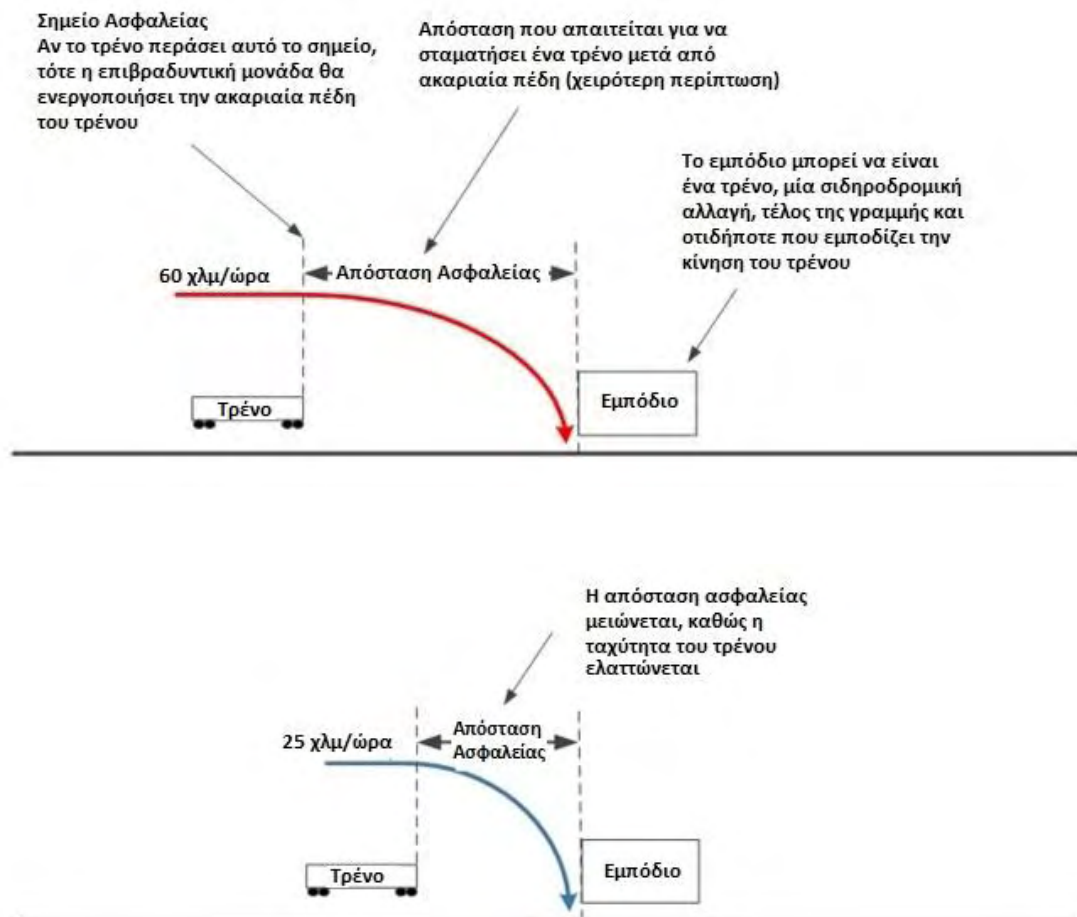


Σχήμα 5.7: Απεικόνιση Σιδηροδρομικής Γραμμής σε σηματοδότηση μεταβλητών και προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής

Αυτή ήταν μια ριζική αναχώρηση από την παραδοσιακή άποψη της σηματοδότησης, καθώς θα αφαιρεθούν αμέσως οι περιορισμοί και οι έννοιες της σηματοδότησης που είχαν αναπτυχθεί κατά τα τελευταία 150 χρόνια. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του νέου προτύπου είναι πως η απόσταση ασφαλείας μεταξύ δυο συρμών δεν είναι μια στατική οντότητα, που καθορίζεται από ένα σταθερό-προκαθορισμένο

τμήμα γραμμής. Σε αυτό το νέο πρότυπο, η απόσταση ασφαλείας είναι ρυθμιζόμενη και υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο σε συνάρτηση με την στιγμιαία ταχύτητα του συρμού. Εάν η αμαξοστοιχία κινείται με μεγάλη ταχύτητα, τότε η απόσταση ασφαλείας είναι μεγάλη και συρρικνώνεται όσο μικραίνει η ταχύτητα με την οποία κινείται το τρένο. Το άμεσο αποτέλεσμα αυτής της μεθόδου σηματοδότησης είναι πως ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών αμαξοστοιχιών μειώνεται στον ελάχιστο.

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, η νέα μέθοδος σηματοδότησης βασίζεται στην βελτιστοποίηση της απόστασης ασφαλείας μεταξύ δυο τρένων. Η απόσταση ασφαλείας μεταξύ δυο τρένων είναι ίση με το μεγαλύτερο μήκος πέδης για ακαριαία ακινητοποίηση του συρμού (χειρότερη περίπτωση). Ακολουθούν σχήματα όπου γίνεται αναλυτική περιγραφή της βάσης της νέας μεθόδου και παρουσιάζεται η σχέση (καμπύλη) μεταξύ της ταχύτητας και της απόστασης πέδης.





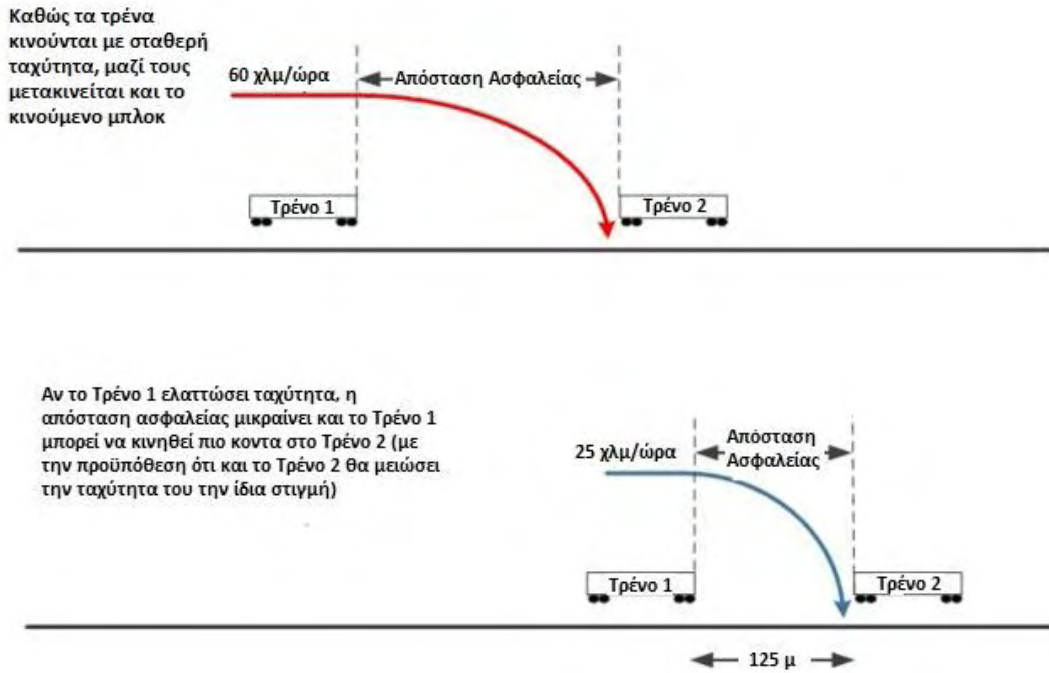
Σχήμα 5.8: Απεικόνιση της μεθόδου μεταβλητών τμημάτων γραμμής και παρουσίαση της σχέσης μεταξύ ταχύτητας και απόστασης ασφαλείας

Μια άλλη βασική πτυχή του κινούμενου μπλοκ είναι πως η απόσταση ασφαλείας μετακινείται καθώς το τρένο κινείται, δηλαδή κινούνται μαζί. Συνεπώς και το όνομα κινούμενο μπλοκ. Οπότε το τμήμα γραμμής δεν είναι μια στατική οντότητα που ορίζεται από τη θέση των φωτοσημάτων και των σταθμών.

Καθώς το προπορευόμενο τρένο κινείται προς μία κατεύθυνση, το επόμενο ακολουθεί, διατηρώντας παράλληλα μια ασφαλή απόσταση διαχωρισμού. Δεδομένου ότι η απόσταση που χωρίζει τα δυο τρένα είναι η ελάχιστη, δεν υπάρχει σπατάλη χώρου της γραμμής. Δηλαδή γίνεται η βέλτιστη αξιοποίηση της χωρητικότητας της γραμμής. Σε αυτή την περίπτωση, σε αντίθεση με την σηματοδότηση προκαθορισμένου τμήματος (fixed block), το τρένο δεν περιμένει να «ελευθερωθεί» ένα τμήμα γραμμής για να εισέλθει σε αυτό. Οπότε το κέρδος σε χρόνο και χώρο γραμμής είναι μεγάλο. Επίσης, ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών αμαξοστοιχιών μειώνεται στον ελάχιστο δυνατό.

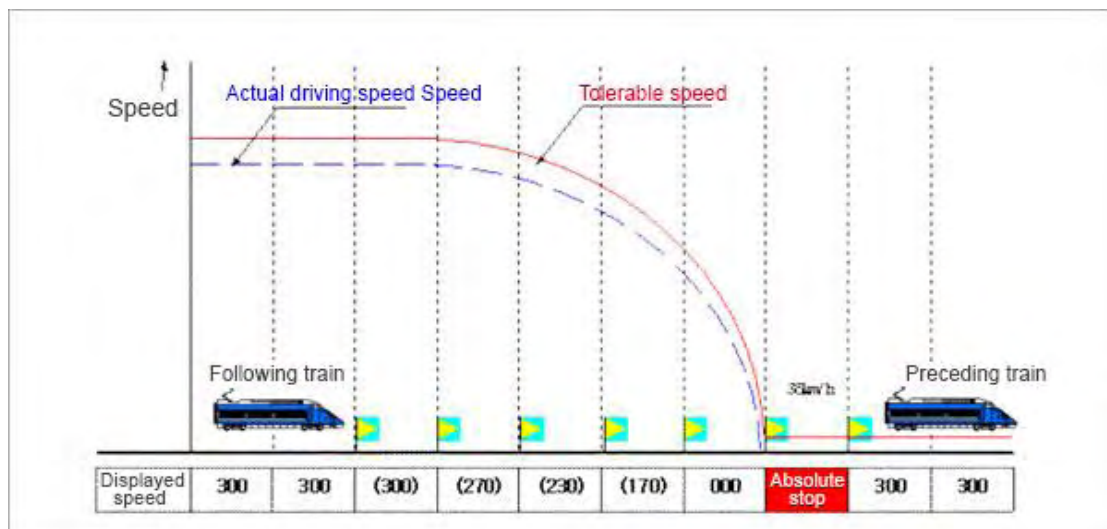
Επομένως η σηματοδότηση με μεταβλητό τμήμα γραμμής εκμεταλλεύεται την σιδηροδρομική γραμμή με τον βέλτιστο τρόπο, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την απαραίτητη ασφάλεια των συρμών. Με το παράδειγμα που ακολουθεί (σχήμα 5.9), γίνεται αντιληπτή η νέα αρχή και λειτουργία των κινούμενων μπλοκ.





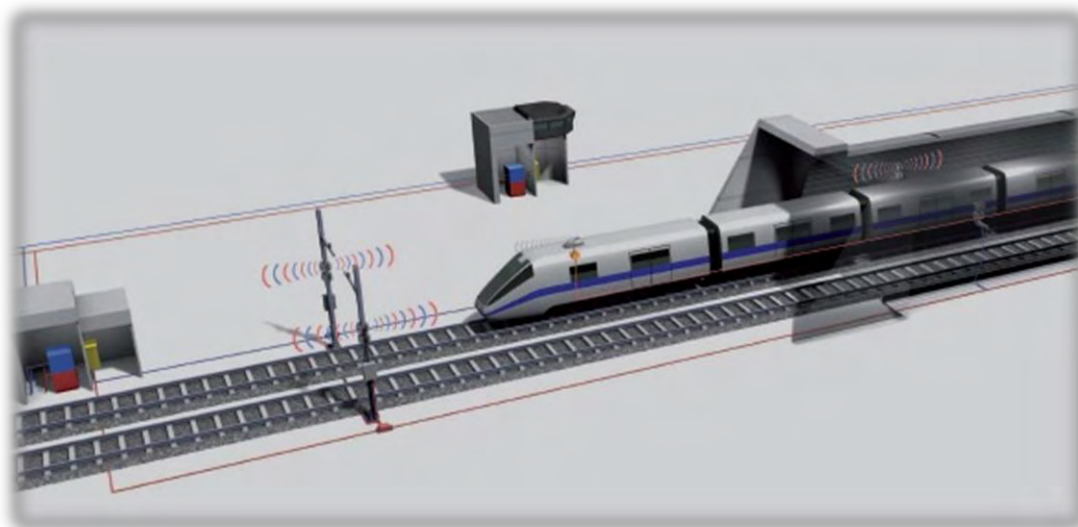
Σχήμα 5.9: Παράδειγμα λειτουργίας της σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων γραμμής

Στο παρακάτω σχήμα 5.10 παρουσιάζονται δυο τρένα σε διαδοχή και η ταχύτητα του δεύτερου τρένου, που ακολουθεί το προπορευόμενο. Παρατηρούμε πως όσο το δεύτερο τρένο πλησιάζει το προπορευόμενο, η ταχύτητα του πρέπει να ελαττωθεί ώστε να διατηρηθεί η απόσταση ασφαλείας (absolute stop). Η μπλε καμπύλη απεικονίζει την πραγματική ταχύτητα του τρένου, ενώ η κόκκινη την μέγιστη ανεκτή τιμή που μπορεί να πάρει. Για να αποφευχθεί η σύγκρουση, η μπλε καμπύλη πρέπει να βρίσκεται μόνιμα «κάτω» από την κόκκινη. Εάν την ξεπεράσει, τότε ενεργοποιείται η ακαριαία πέδη του δεύτερου τρένου.



Σχήμα 5.10: Ταχύτητα δύο τρένων σε διαδοχή με εφαρμογή της σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων γραμμής

5.3.3 Αρχές του Συστήματος



Το σύστημα σηματοδότησης με μεταβλητά τμήματα γραμμής αποτελείται από 3 (τρία) πρωτογενή επίπεδα ελέγχου (κύρια μέρη). Τα δυο από αυτά είναι ζωτικής σημασίας για την λειτουργία των συρμών, ενώ το τρίτο παρέχει την διεπαφή του ανθρώπου με το σύστημα, έτσι ώστε να προγραμματίζεται και να ρυθμίζεται η κυκλοφορία στις γραμμές. Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την λειτουργία του συστήματος βρίσκεται επί των συρμών και σε ένα κεντρικό διαχειριστή, που ονομάζεται Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας (ΚΕΚ).

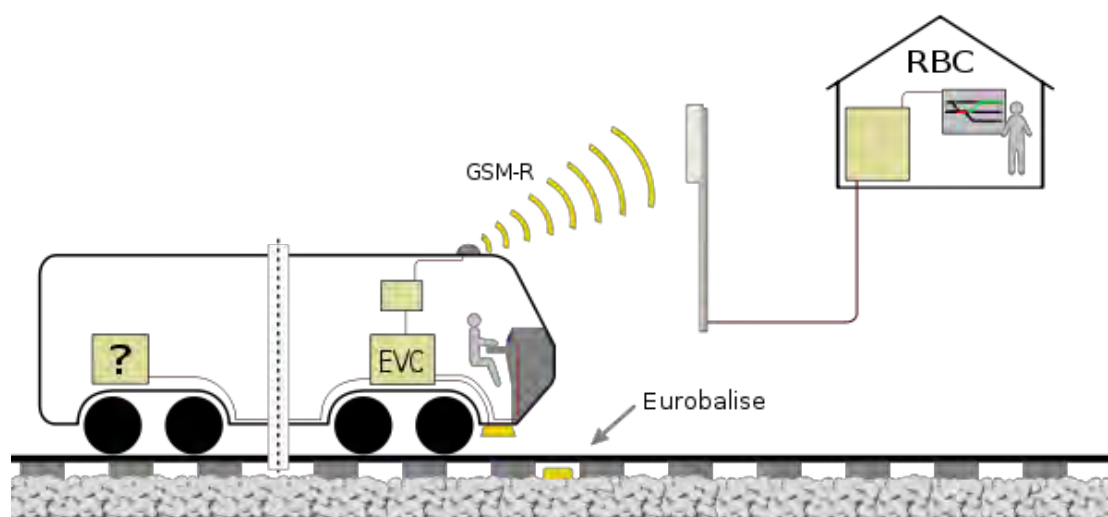
Ο εξοπλισμός επί των συρμών αποτελείται από δυο συστήματα: α) σύστημα υπολογισμού και διαβίβασης τρέχουσας θέσης και ταχύτητας, και β) σύστημα ελέγχου πέδησης και ταχύτητας. Στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας βρίσκεται ένα σύνολο υπολογιστικών μονάδων, το οποίο ελέγχει τις κινήσεις όλων των συρμών του δικτύου, λαμβάνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες από τους συρμούς και κινεί τα τρένα με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη απόσταση ασφαλείας.

Τα περισσότερα συστήματα σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων γραμμής (ή αλλιώς κινητού αποκλεισμού) περιλαμβάνουν στο θάλαμο του μηχανοδηγού τα χαρακτηριστικά πέδης του τρένου. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται από τον μηχανοδηγό αν το τρένο παραμένει εντός των περιοριστικών ορίων ταχύτητας, καθώς πλησιάζει κατειλημμένο τμήμα γραμμής από άλλο τρένο. Στο τρένο όπως αναφέραμε, βρίσκεται υπολογιστής που λαμβάνει ενδείξεις σχετικά με α) την τρέχουσα ταχύτητα του τρένου, β) την απόσταση από το προπορευόμενο τρένο και γ) την ταχύτητα του προπορευόμενου τρένου. Έτσι, εξασφαλίζεται συνεχώς ότι η τρέχουσα ταχύτητα βρίσκεται σε αποδεκτά επίπεδα, όπως περιγράψαμε παραπάνω. Ο υπολογισμός της χαρακτηριστικής καμπύλης πέδης βασίζεται στη γνώση των δυνατοτήτων πέδης του τρένου.

Στα συστήματα σηματοδότησης κινητού αποκλεισμού υπάρχουν δυο τρόποι να φτάνουν στο τρένο οι απαραίτητες πληροφορίες. Ο πρώτος τρόπος είναι η συνεχής μετάδοση μέσω της σιδηροδρομικής γραμμής. Ο άλλος τρόπος είναι η χρήση

προσαρμοσμένων στην γραμμή ραδιοφάρων (balises ή beacons) σε συνεργασία με ασύρματα συστήματα επικοινωνίας (GSMR). Κυρίως χρησιμοποιείται ο δεύτερος τρόπος διότι είναι μικρότερη η δαπάνη εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος και αποτελεί ανεξάρτητο σύστημα από την γραμμή.

Το σύστημα όπως αναφέραμε, χρησιμοποιεί ραδιοφάρους (eurobalises), προσαρμοσμένους μεταξύ των σιδηροτροχιών (βλέπε σχήμα 5.11). Στο κάτω μέρος του τρένου βρίσκεται μια κεραία που εκπέμπει συνεχή δέσμη σήματος, η οποία ενεργοποιεί αυτομάτως τον ραδιοφάρο καθώς περνά από πάνω του. Έτσι οι πληροφορίες μεταβιβάζονται στο τρένο. Οι ραδιοφάροι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της ακριβής θέσης του τρένου. Στη συνέχεια, οι πληροφορίες σχετικά με την θέση του τρένου και την ταχύτητα του αποστέλλονται μέσω του δικτύου επικοινωνίας (GSMR) στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας (ΚΕΚ).



Σχήμα 5.11: Ραδιοφάροι σε συνεργασία με το GSMR αποστέλλουν τα απαραίτητα σήματα για την σηματοδότηση μεταβλητών τμημάτων γραμμής

Με αυτό τον τρόπο σηματοδότησης, για πρώτη φορά, παρέχονται στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας ακριβή και συνεχή δεδομένα της θέσης και της ταχύτητας άμεσα από το ίδιο το τρένο, μέσω του συστήματος επικοινωνίας GSMR (Ασύρματο Δίκτυο) και όχι μέσω εξοπλισμού τοποθετημένου στις ράγες (κυκλώματα γραμμής και μετρητές αξόνων). Καθώς το τρένο κινείται στο δίκτυο παρακολουθεί, καταγράφει και αποστέλλει συνεχώς την θέση και την ταχύτητα του. Για πρώτη φορά, με αυτό το είδος σηματοδότησης μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή θέση ενός συρμού στη γραμμή και όχι απλά ότι βρίσκεται σε κάποιο τμήμα της (όπως γίνεται με τα προηγούμενα είδη σηματοδότησης).

Το ασύρματο δίκτυο GSMR (Global System for Mobile Communications in Railway), που αναφέραμε παραπάνω, αποτελείται από κεραίες τοποθετημένες στους συρμούς και από επίγειες κεραίες πλησίον της γραμμής. Σε κάθε συρμό τοποθετούνται δυο κεραίες, μία στην αρχή και μία στο τέλος, λόγω αμφίδρομης κυκλοφορίας, αλλά και για λόγους ασφαλείας (βλέπε σχήμα 5.12). Οι επίγειες κεραίες τοποθετούνται

πλησίον της γραμμής ανά οκτώ (8) χιλιόμετρα περίπου (βλέπε σχήμα 5.13). Τα σήματα στέλνονται ασύρματα μέσω των κεραιών των τρένων στις επίγειες κεραιές GSMR. Από εκεί μέσω οπτικών ινών οδηγούνται στις υπολογιστικές μονάδες που βρίσκονται στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας.



Σχήμα 5.12: Κεραιές GSMR τοποθετημένες στην αρχή και στο τέλος ενός συρμού



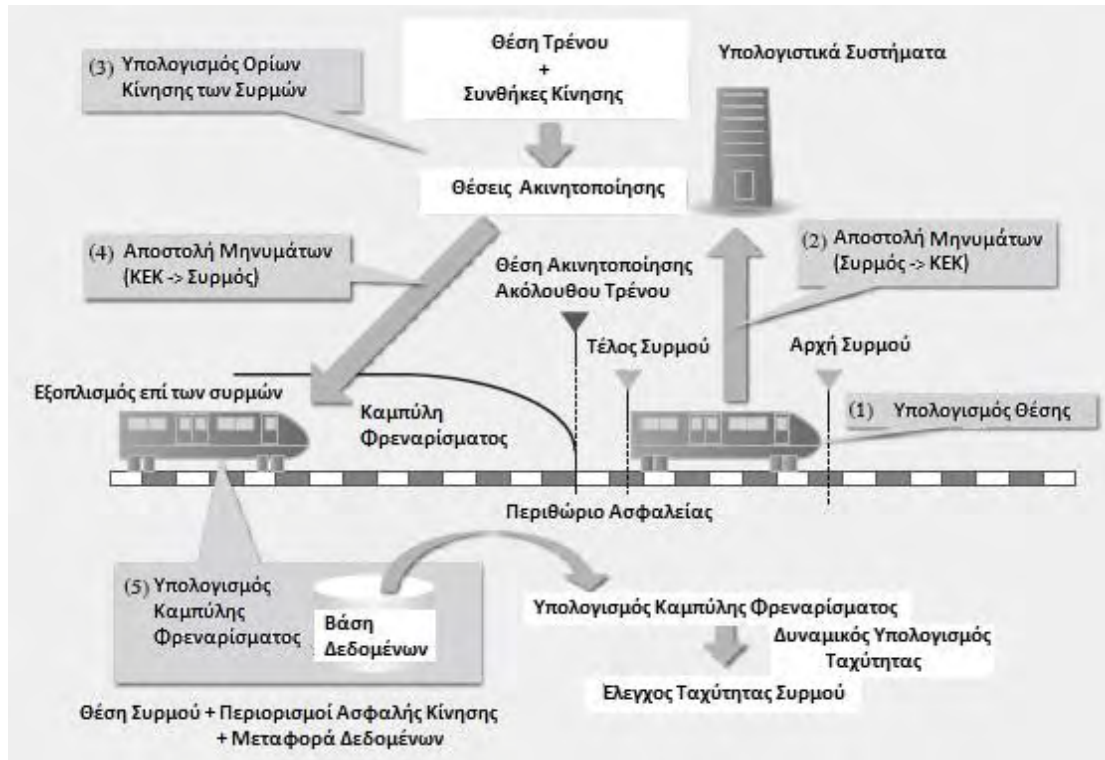
Σχήμα 5.13: Επίγεια κεραιά GSMR τοποθετημένη ανά 8 χιλιόμετρα σιδηροδρομικής γραμμής

Στο Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας, οι υπολογιστικές του μονάδες συγκεντρώνουν τις πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα, την φορά κίνησης και την θέση των συρμών. Έτσι, ο διαχειριστής του συστήματος έχει γενική εικόνα των χαρακτηριστικών μεγεθών όλων των συρμών που κινούνται στο δίκτυο. Με την βοήθεια βάσεων δεδομένων που περιέχουν χαρακτηριστικά των τρένων (όπως ικανότητα πέδης, βάρος κλπ) αλλά και μέσω του γεωγραφικού χάρτη του σιδηροδρομικού δικτύου, που περιλαμβάνει τους σταθμούς, την κλίση της γραμμής, την μέγιστη ταχύτητα ανά σημεία γραμμής και περιοχές με αυξημένες απαιτήσεις πέδης, υπολογίζονται η

ταχύτητα και τα όρια κίνησης των συρμών. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι ο διαχειριστής μπορεί να αλλάξει ένα δρομολόγιο, να προσθέσει επιπλέον δρομολόγια από τα προγραμματισμένα καθώς και να δώσει προτεραιότητα κίνησης σε κάποιο συρμό, ακινητοποιώντας άλλους.

Το Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας ελέγχει επίσης την καλή λειτουργία του εξοπλισμού επί των συρμών, παρακολουθώντας τις μεταδόσεις των τρένων για προβλήματα που αναφέρθηκαν. Επιπλέον, είναι υπεύθυνο για την συνεχή επικοινωνία των συρμών και φροντίζει για την καλή λειτουργία της. Σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας με ένα συρμό, το ΚΕΚ χάνει την πληροφορία σχετικά με την τρέχουσα θέση του και δεν μπορεί πλέον να ελέγξει το τρένο. Το σύστημα ελέγχου του τρένου ανιχνεύει αυτή την κατάσταση και ενεργοποιεί το σύστημα πέδησης. Αυτό λύνει το πρόβλημα κίνησης αμαξοστοιχίας χωρίς επιτήρηση από το ΚΕΚ, αλλά δημιουργεί πρόβλημα στη συνολική κίνηση στις γραμμές καθώς θα πρέπει να ακινητοποιηθούν όλοι οι συρμοί για να μην συγκρουστούν με τον προβληματικό. Έτσι, για να αποφεύγονται αυτές οι δυσάρεστες καταστάσεις, τοποθετούνται συστήματα μετρητών αξόνων για εφεδρεία. Επομένως, όταν ένα τρένο χάνει την επικοινωνία με το ΚΕΚ και κινείται «χειροκίνητα» από τον μηχανοδηγό, τότε μέσω του συστήματος μετρητών αξόνων το ΚΕΚ θα γνωρίζει το τμήμα γραμμής που βρίσκεται και θα μπορεί να προγραμματίζει τις ταχύτητες των υπόλοιπων συρμών. Το προβληματικό τρένο επιτηρείται από το ΚΕΚ μέχρι να ολοκληρώσει το δρομολόγιο του μέσω των μετρητών αξόνων.

Στη συνέχεια, οι πληροφορίες σχετικά με τον έλεγχο κίνησης των συρμών διαβιβάζονται μέσω του ασύρματου δικτύου GSMR σε κάθε συρμό. Η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με τον ίδιο τρόπο αλλά με αντίθετη φορά με αυτόν από τα τρένα προς το ΚΕΚ. Στο συρμό μέσω του μικροϋπολογιστή που διαθέτει, υπολογίζεται η καμπύλη φρεναρίσματος για την τρέχουσα στιγμή (θέση). Στη συνέχεια, το σύστημα ελέγχου ταχύτητας αναπροσαρμόζει την ταχύτητα του συρμού, ώστε να διατηρηθεί η ασφαλής απόσταση από το προπορευόμενο τρένο. Στο σχήμα 5.14 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 5.14: Γραφική Απεικόνιση λειτουργίας συστήματος σηματοδότησης με μεταβλητά τμήματα γραμμής

5.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Moving Blocks

5.3.4.1 Πλεονεκτήματα

Α) Κέρδη Σιδηροδρομικών Επιχειρήσεων

Για τις σιδηροδρομικές επιχειρήσεις το νέο σύστημα σηματοδότησης (moving blocks) είναι ελκυστικό καθώς δεν απαιτεί συστήματα ανίχνευσης συρμών εγκατεστημένα στην γραμμή. Έτσι, μειώνεται το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του εξοπλισμού. Μελέτες έδειξαν ότι σε σύγκριση με ένα απλό σύστημα σηματοδότησης, η εξοικονόμηση χρημάτων είναι της τάξεως 20%. Σε πολυπλοκότερα συστήματα με μεγαλύτερες απαιτήσεις εξοπλισμού, η εξοικονόμηση μπορεί να φτάσει και 50%. Επίσης με τα κινούμενα μπλοκ, μειώνεται η εργασία και η έκθεση του προσωπικού που εργάζεται πλησίον της γραμμής, με αποτέλεσμα να μειώνονται τα ατυχήματα κατά την εργασία.

Β) Θέματα Ασφαλείας

Τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί τα κρούσματα κλοπής καλωδίων και βρόγχων κυκλωμάτων γραμμής. Αυτό συμβαίνει γιατί η τιμή του χαλκού και του αλουμινίου είναι στα ύψη, με αποτέλεσμα τα συστήματα των σιδηροδρόμων να αποτελούν κίνητρο για τους κλέφτες (οικονομικό). Επομένως, λόγω συχνών φαινομένων κλοπής, μέρος των συστημάτων σηματοδότησης τίθενται εκτός λειτουργίας, μέχρι να

αποκατασταθεί το πρόβλημα. Με την σηματοδότηση με μεταβλητά τμήματα γραμμής, καθώς ο εξοπλισμός γραμμής μειώνεται (ύπαρξη μόνο ραδιοφάρων), μειώνονται και τα κρούσματα κλοπής. Άρα, η αστοχία του συστήματος ελαττώνεται.

Γ) Χωρητικότητα

Οι ηγετικοί παράγοντες του συστήματος σηματοδότησης με μεταβλητά τμήματα γραμμής υποστηρίζουν ότι η χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να αυξηθεί από 15% - 40% χρησιμοποιώντας το νέο σύστημα. Ωστόσο, αυτό το ποσοστό μπορεί να μειωθεί, καθώς οι θεωρητικοί υπολογισμοί της διαδοχής των τρένων συνήθως γίνονται μεμονωμένα. Στην πραγματικότητα όμως η χωρητικότητα του δικτύου επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η γραμμολογία των σταθμών, τα προγραμματισμένα δρομολόγια κλπ. Παρόλα αυτά η αύξηση της χωρητικότητας της γραμμής είναι δεδομένη.

Δ) Ευελιξία Κατασκευής

Κατά την μελέτη και την κατασκευή του συστήματος σηματοδότησης με κινούμενα μπλοκ δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν θέματα σχετικά με την τοποθέτηση των φωτοσημάτων, το μήκος των τμημάτων γραμμής, το μήκος των συρμών κλπ. σε αντίθεση με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Έτσι η κατασκευή του συστήματος είναι πιο ευέλικτη και αποτελεσματική σε όλους τους τύπους συρμών (το μήκος των συρμών και η ικανότητα πέδης δεν καθορίζουν την δημιουργία σταθερών τμημάτων γραμμής) και σε τυχόν αλλαγές δρομολογίων.

Ε) Ελαστικότητα του Συστήματος

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των “moving blocks” είναι η αύξηση της ελαστικότητας και η γρηγορότερη επαναφορά του συστήματος μετά από μια διαταραχή. Η κίνηση των τρένων το ένα κοντά στο άλλο, το λεγόμενο «εφέ φυσαρμόνικας» από τη μια μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο σε περίπτωση βλάβης, αλλά από την άλλη ωφελεί την ταχύτητα επαναφοράς του συστήματος στην κανονική λειτουργία. Για παράδειγμα, σε συστήματα με καθορισμένα τμήματα γραμμής σε περίπτωση μιας βλάβης ενός κυκλώματος γραμμής ή ακύρωσης δρομολογίου, απαιτούσαν ακύρωση όλων των δρομολογίων και νέα χάραξη τους, κάτι το οποίο είναι χρονοβόρο. Με το σύστημα των moving blocks όταν ένα δρομολόγιο ακυρώνεται, τότε δεν απαιτείται κάποιος χειρισμός από τον διαχειριστή για χάραξη του επόμενου δρομολογίου. Σε περίπτωση αστοχίας εξοπλισμού ενός τρένου, αυτό ακινητοποιείται είτε κινείται με εφεδρικά συστήματα, ενώ τα υπόλοιπα τρένα συνεχίζουν κανονικά.

5.3.4.2 Μειονεκτήματα

Α) Απόδειξη ακεραιότητας τρένου

Το θέμα απόδειξης της ακεραιότητας των τρένων δεν μπορεί να επιλυθεί με την σηματοδότηση κινούμενων τμημάτων αποκλεισμού. Δηλαδή δεν μπορεί να αποδειχθεί ότι ανά πάσα όλα τα βαγόνια είναι στην θέση τους και κάποιο δεν αποκολλήθηκε από τον συρμό. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί σε συνδυασμό με ένα πρόσθετο σύστημα ανίχνευσης του τελευταίου βαγονιού ενός συρμού (end of train device) ή με ένα σύστημα μετρητών αξόνων. Οι μετρητές αξόνων τοποθετημένοι

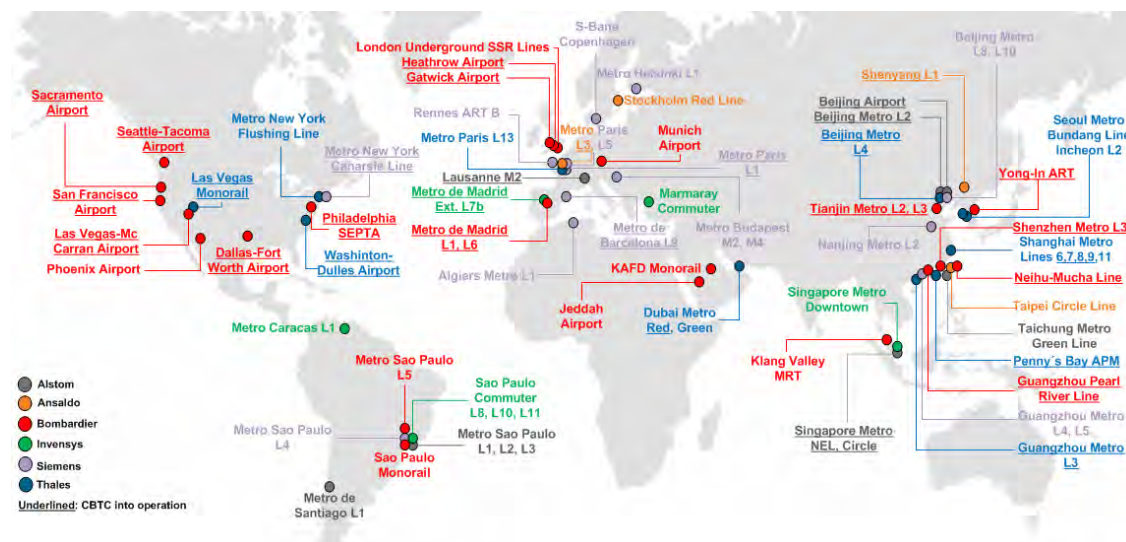
σε κατάλληλες αποστάσεις θα ελέγχουν αν όλα τα βαγόνια πέρασαν από ένα σημείο αναφοράς και θα δίνουν εντολή για να διέλθει το επόμενο τρένο.

Β) Προβλήματα με Σύστημα επικοινωνίας

Το ερώτημα που δημιουργείται είναι εάν το ασύρματο σύστημα επικοινωνίας GSMR μπορεί να καλύψει τον όγκο δεδομένων που πρέπει να ανταλλάσσονται μεταξύ συρμών και Κέντρου Ελέγχου. Σε περίπτωση αδυναμίας ή αστοχίας των επικοινωνιών πρέπει να υπάρξει και ένα εφεδρικό σύστημα επικοινωνιών. Επίσης, το ασύρματο δίκτυο πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένο ενάντια σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο (cyber attack) – στα υπόλοιπα συστήματα σηματοδότησης δεν υπήρχε αυτός ο κίνδυνος.

5.3.5 Συστήματα-Χώρες που χρησιμοποιούν σηματοδότηση με μεταβλητά τμήματα γραμμής

Στην παρακάτω εικόνα (σχήμα 5.15) παρουσιάζονται μερικά συστήματα σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο που χρησιμοποιούν σηματοδότηση με μεταβλητά τμήματα γραμμής. Με διαφορετικό χρώμα απεικονίζεται η κάθε εταιρεία που κατασκεύασε το σύστημα.



Σχήμα 5.15: Συστήματα σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων σε διάφορες χώρες

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτέλεσμα της σηματοδότησης με κινούμενα τμήματα γραμμής είναι η αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου ή με άλλα λόγια η μείωση του χρόνου διαδοχής δυο συρμών. Συγκεκριμένα, στο μετρό της Σιγκαπούρης, με την χρήση αυτής της νέας τεχνολογίας, αυξήθηκε η συνολική χωρητικότητα του δικτύου κατά 30 τρένα. Ο χρόνος διαδοχής δυο συρμών μειώθηκε στα 100 δευτερόλεπτα. Στην Νέα Υόρκη και στην γραμμή Canarsie Line με μήκος 17 χιλιόμετρα, η χωρητικότητα αυξήθηκε κατά 27%. Στο Σάο Πάολο, ο χρόνος διαδοχής μεταξύ δυο συρμών μειώθηκε στα 75 δευτερόλεπτα, με αποτέλεσμα να προστεθούν 34 νέα τρένα στο δίκτυο. Στο μετρό της Μαδρίτης, στην γραμμή 1, είχαμε αύξηση της

χωρητικότητα από 47 τρένα σε 60, δηλαδή αύξηση κατά 28%. Στην γραμμή 6, η αύξηση της χωρητικότητας ήταν μεγαλύτερη (από 21 τρένα σε 29, δηλαδή 38% αύξηση). Στο μετρό του Λονδίνου, ενός από τα παλαιότερα και με μεγαλύτερη κίνηση επιβατών σύστημα, η χωρητικότητα αυξήθηκε κατά 1/3 περίπου σε όλες τις γραμμές που χρησιμοποιούν το νέο σύστημα σηματοδότησης. Στον προαστιακό σιδηρόδρομο της Κοπεγχάγης, που μεταφέρει 350.000 επιβάτες σε καθημερινή βάση, ο χρόνος διαδοχής μεταξύ δύο συρμών μειώθηκε κατά 25% (από 120 δευτερόλεπτα σε 90 δευτερόλεπτα). Τέλος, στο Πεκίνο και ειδικότερα στις γραμμές 8 και 10 του υπόγειου σιδηρόδρομου, μπορούμε να έχουμε τρένο ανά 2 λεπτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

6.1 Εισαγωγή – Μοντέλα Βελτιστοποίησης

Η επίλυση του προβλήματος της παρούσας διπλωματικής θα βασιστεί στα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού (μοντέλα αριστοποίησης), καθώς στοχεύουμε στην βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του σιδηροδρομικού δικτύου. Τα μοντέλα αριστοποίησης χρησιμοποιούνται κυρίως για τον εντοπισμό του άριστου τρόπου, με τον οποίο κατανέμονται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι διαθέσιμοι πόροι, ώστε να ικανοποιούνται οι προκαθορισμένοι στόχοι και περιορισμοί. Πρόκειται για το γνωστό πρόβλημα κατανομή της «πίτας».

Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, η κατανομή του εργατικού δυναμικού, του τεχνολογικού εξοπλισμού και των πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες. Επίσης, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή της καλλιεργήσιμης γης σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες, κλπ. Επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων μπορεί να αφορά την μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κλπ.

Ένα μοντέλο αριστοποίησης (βελτιστοποίησης) αποτελείται από μία αντικειμενική συνάρτηση και από ένα σύνολο περιορισμών. Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει το στόχο που επιχειρείται να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί και είναι μια σχέση μεταξύ μιας ή περισσοτέρων μεταβλητών που ονομάζονται μεταβλητές απόφασης. Οι περιορισμοί (δυναμικότητας και διαθεσιμότητας των πόρων) εκφράζουν τα όρια του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται η δραστηριότητα. Κάθε συνδυασμός τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές απόφασης ονομάζεται λύση του προβλήματος. Όταν οι τιμές αυτές ικανοποιούν τους περιορισμούς του προβλήματος, η λύση είναι εφικτή. Παραδοσιακά τα προβλήματα βελτιστοποίησης παρουσιάζονται με την μορφή αλγεβρικών μοντέλων, όπου η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί διατυπώνονται ως αλγεβρικές εξισώσεις και ανισώσεις μεταξύ των μεταβλητών απόφασης.

6.2 Περιγραφή των δεδομένων του προβλήματος μας

Στην περίπτωση μας, η αντικειμενική συνάρτηση είναι η μεγιστοποίηση του αριθμού των τρένων, που μπορούν να βρεθούν σε ένα τμήμα του σιδηροδρομικού δικτύου. Οι μεταβλητές απόφασης είναι ο αριθμός των τρένων ανά κατηγορία, δηλαδή ο αριθμός των εμπορικών, των γρήγορων επιβατικών, των αργών επιβατικών κλπ. Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός τρένων ανά

κατηγορία, το μήκος φρεναρίσματος (απόσταση πέδης) και το μήκος των συρμών ανά κατηγορία.

Το τμήμα της σιδηροδρομικής γραμμής που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία είναι από το Πλατύ μέχρι την Θεσσαλονίκη με συνολικό μήκος 36,4 χιλιόμετρα. Το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο (ανοχή της γραμμής) είναι ίσο με 1500 τόνοι ανά συρμό. Δηλαδή, αν το ανάγουμε σε αριθμό αξόνων αμαξοστοιχίας είναι ίσο με 120 άξονες. Επειδή σε κάθε βαγόνι αντιστοιχούν 4 άξονες συνήθως, ο μέγιστος αριθμός βαγονιών ανά συρμό είναι ίσος με $120/4 = 30$ βαγόνια. Το μήκος των περισσοτέρων βαγονιών (σχήμα 6.1) είναι περίπου ίσο με 20 μέτρα. Έτσι, το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος των συρμών είναι ίσο με $30 \cdot 20 = 600$ μέτρα, μήκος που αποτελεί δεσμευτικό όρο για την λειτουργία των τμημάτων σηματοδότησης (blocks).



Σχήμα 6.1: Σιδηροδρομικό βαγόνι μεταφοράς εμπορευμάτων με μήκος 20 μέτρα

Οι τύποι των τρένων που δρομολογούνται σε αυτό το τμήμα της γραμμής είναι οι εξής:

- Γρήγορη επιβατική αμαξοστοιχία (πεντάδιμος) για την εκτέλεση προαστιακών δρομολογίων, με μέγιστη ταχύτητα κίνησης 160 χιλιόμετρα/ώρα και απόσταση πέδης, σύμφωνα με τον πίνακα που παρουσιάστηκε παραπάνω, ίση με 1200 μέτρα



Σχήμα 6.2: Πεντάδιμος προαστιακός

- Γρήγορη επιβατική αμαξοστοιχία (Inter City) για την εκτέλεση του δρομολογίου Αθήνα-Θεσσαλονίκη με τις ελάχιστες απαιτούμενες στάσεις, με μέγιστη ταχύτητα κίνησης 160 χιλιόμετρα/ώρα και απόσταση πέδης ίση με 1200 μέτρα



Σχήμα 6.3: Inter City Αμαξοστοιχία

- Αργή επιβατική αμαξοστοιχία για την εκτέλεση τοπικών και υπεραστικών δρομολογίων, με μέγιστη ταχύτητα κίνησης 120 χιλιόμετρα/ώρα και απόσταση πέδης ίση με 700 μέτρα



Σχήμα 6.4: Αργή επιβατική Αμαξοστοιχία

- Εμπορική αμαξοστοιχία για την μεταφορά εμπορευμάτων και αγαθών, με μέγιστη ταχύτητα κίνησης 100 χιλιόμετρα/ώρα και απόσταση πέδης ίση με 550 μέτρα.



Σχήμα 6.5: Εμπορική Αμαξοστοιχία

Ο πεντάδιμος συρμός – ονομάζεται έτσι επειδή αποτελείται από 5 βαγόνια (3 επιβατικά βαγόνια και 2 μηχανές εκατέρωθεν) – έχει μήκος ίσο με $5 \cdot 20 = 100$ μέτρα, καθώς κάθε βαγόνι έχει μήκος ίσο με 20 μέτρα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το Inter City αποτελείται συνήθως από 7 βαγόνια (2 μηχανές σε σειρά και 5 επιβατικά βαγόνια). Οπότε το μήκος του είναι ίσο με $7 \cdot 20 = 140$ μέτρα. Η αργή επιβατική αμαξοστοιχία έχει μήκος ίσο με το Inter City, άρα 140 μέτρα. Τέλος, η εμπορική αμαξοστοιχία αποτελείται από τον μέγιστο επιτρεπτό αριθμό βαγονιών, που είναι ίσος με 30 βαγόνια (2 μηχανές σε σειρά και 28 βαγόνια εμπορευμάτων). Οπότε, το μήκος της είναι ίσο με 600 μέτρα.

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Σιδηροδρόμων Ελλάδος (ΟΣΕ) καθημερινά στο τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη κινούνται από 2 έως 4 εμπορικά τρένα. Από τον πίνακα δρομολογίων παρατηρούμε ότι σε καθημερινή βάση εκτελούνται κατά ελάχιστο 6 δρομολόγια Inter City, 9 δρομολόγια με Πεντάδιμο προαστιακό και 6 δρομολόγια με αργά επιβατικά. Επίσης, για να είναι «κερδοφόρο» το δίκτυο ισχύει η παραδοχή ότι ο αριθμός των Inter City τρένων είναι 1,5 φορά ο αριθμός των αργών επιβατικών, και ο αριθμός των πεντάδιμων είναι 2 φορές ο αριθμός των αργών επιβατικών. Ακόμη, τα εμπορικά τρένα και τα Inter City στο τμήμα γραμμής που εξετάζουμε, χρησιμοποιούν τον ίδιο τύπο ελκτικής μηχανής (ηλεκτροκινούμενη Siemens). Ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων ηλεκτροκινούμενων μηχανών είναι ίσος με 13. Τα παραπάνω στοιχεία θα αποτελέσουν περιορισμούς του προβλήματος μας.

6.3 Επίλυση με την χρήση του Solver

6.3.1 Γενικά

Ανάλογα με την μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών, ο μαθηματικός προγραμματισμός διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- 1) Γραμμικός προγραμματισμός, όπου τόσο η αντικειμενική συνάρτηση όσο και οι περιορισμοί είναι γραμμικές σχέσεις (ευθείες γραμμές σε γραφική απεικόνιση)
- 2) Ακέραιος προγραμματισμός, όπου οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές ή αναπαριστούν αποφάσεις λογικής και όχι φυσικά μεγέθη
- 3) Μη Γραμμικός προγραμματισμός, όπου κάποιες από τις συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική ή περιορισμοί) είναι μη-γραμμικές (πχ δευτέρου βαθμού)

Στην περίπτωση μας, το πρόβλημα βελτιστοποίησης της σιδηροδρομικής χωρητικότητας είναι ένα πρόβλημα γραμμικού ακέραιου προγραμματισμού, καθώς οι μεταβλητές απόφασης αναφέρονται σε αριθμό τρένων και μπορούν να πάρουν μόνο διακριτές (ακέραιες) τιμές. Επίσης, τόσο η αντικειμενική συνάρτηση όσο και οι περιορισμοί αποτελούνται από γραμμικές σχέσεις.

Η πλέον γνωστή μέθοδος και περισσότερο χρησιμοποιημένη για την επίλυση ενός γενικού προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού, είναι η μέθοδος Simplex. Αναπτύχθηκε από τον George Dantzig και αποτελεί μια αλγεβρική επαναληπτική διαδικασία, η οποία επιλύει ακριβώς, κάθε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, σε ένα πεπερασμένο πλήθος βημάτων. Για την επίλυση του προβλήματος μας θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα excel της Microsoft. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ένας λίγο διαφορετικός τρόπος διατύπωσης του προβλήματος, διότι το excel στηρίζεται αποκλειστικά στην χρήση των κελιών ενός υπολογιστικού φύλλου και κατάλληλων τύπων που εισάγονται σε αυτά. Για την επίλυση του μοντέλου και την ανεύρεση της βέλτιστης λύσης, το excel διαθέτει ένα ισχυρό εργαλείο, το Solver.

6.3.2 Αλγεβρική διατύπωση του προβλήματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το πρόβλημα διατυπώνεται στην παρακάτω αλγεβρική μορφή. Αν με x_1 , x_2 , x_3 και x_4 συμβολιστεί ο αριθμός των γρήγορων Intercity τρένων, των πεντάδιμων επιβατικών, των αργών επιβατικών και των εμπορικών τρένων αντίστοιχα, το πρόβλημα διατυπώνεται ως ακολούθως:

Άρα θέλω να μεγιστοποιήσω την συνάρτηση:

$$\max x_1+x_2+x_3+x_4 \quad (\text{σχέση 1})$$

Υπό τους παρακάτω περιορισμούς:

A) Περιορισμός απόστασης φρεναρίσματος και μήκος τρένου:

$$(1200+140)x_1+(1200+100)x_2+(700+140)x_3+(550+600)x_4 \leq 36400 \quad \leftrightarrow$$

$$1340x_1+1300x_2+840x_3+1150x_4 \leq 36400 \quad (\text{σχέση 2})$$

B) Διαθεσιμότητα ηλεκτροκινούμενων μηχανών:

$$x_1+x_4 \leq 13 \quad (\text{σχέση 3})$$

Γ) Συσχετισμός Intercity με αργό επιβατικό τρένο:

$$x_1 \geq 1.5x_3 \leftrightarrow x_1 - 1.5x_3 \geq 0 \quad (\text{σχέση 4})$$

Δ) Συσχετισμός πεντάδιμου προαστιακού με αργό επιβατικό τρένο:

$$x_2 \geq 2x_3 \leftrightarrow x_2 - 2x_3 \geq 0 \quad (\text{σχέση 5})$$

Ε) Περιορισμοί ελάχιστων και μέγιστων επιτρεπτών δρομολογίων:

$$x_1 \geq 6 \quad (\text{σχέση 6})$$

$$x_2 \geq 9 \quad (\text{σχέση 7})$$

$$x_3 \geq 6 \quad (\text{σχέση 8})$$

$$x_4 \geq 2 \quad (\text{σχέση 9})$$

$$x_4 \leq 4 \quad (\text{σχέση 10})$$

Η σχέση 1 αντιπροσωπεύει τον συνολικό αριθμό τρένων που μπορούν να βρεθούν στο τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη και είναι η αντικειμενική συνάρτηση. Οι μεταβλητές x_1 , x_2 , x_3 και x_4 αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης. Οι υπόλοιπες σχέσεις αναφέρονται στους περιορισμούς του προβλήματος.

6.3.3 Κατάστρωση του μοντέλου μέσω Excel

Η παραπάνω αλγεβρική μορφή του προβλήματος πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα και τα στοιχεία της να διευθετηθούν με τρόπο συμβατό με το Excel. Στο παρακάτω σχήμα 6.6 απεικονίζεται το μοντέλο του προβλήματος μεγιστοποίησης της χωρητικότητας ενός σιδηροδρομικού τμήματος.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1340	1300	840	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			6	9	6	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	7	10	8	2		
15			<=	<=	<=	<=		
16			10000	10000	10000	4		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση		Διαθέσιμοι			
20		Απόσταση Ασφαλείας	31400	<=	36400			
21		IC - Αργό	-5	>=	0			
22		Πεντάδιμος - Αργό	-6	>=	0			
23		Μηχανές	9	<=	13			
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	7	10	8	2	27	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	7	10	8	2	27	
29								

Σχήμα 6.6: Απεικόνιση του προβλήματος μέσω excel

Αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Δεδομένα Εισόδου:** Στην περιοχή C4:F8 εισάγονται τα δεδομένα εισόδου, οι απαιτήσεις κάθε τύπου τρένου και το κέρδος ανά κατηγορία. Στο παρών πρόβλημα, το κέρδος είναι το ίδιο για κάθε τύπου τρένου, οπότε ισούται με την μονάδα.
- **Αριθμός Τρένων:** Στην περιοχή C12:F12 εισάγονται τα κάτω όρια ανά τύπο τρένων. Δηλαδή, ο ελάχιστος αριθμός τρένων ανά κατηγορία. Αντίστοιχα στα κελιά C16:F16 εισάγονται τα άνω όρια (μέγιστος αριθμός) ανά τύπο τρένων. Εάν δεν υπάρχει περιορισμός για τον μέγιστο αριθμό τρένων σε κάποια κατηγορία, τότε τοποθετείται ένας μεγάλος αριθμός, που δηλώνει το άπειρο. Στην περίπτωση μας, βάζουμε τον αριθμό 10000.
- **Διαθέσιμοι Πόροι:** Στην περιοχή E20:E23 εισάγονται οι διαθέσιμες ποσότητες για κάθε πόρο.
- **Επίπεδα Δρομολογίων:** Στα κελιά C14:F14 εισάγονται τυχαίες τιμές (7, 10, 8, 2) για τις μεταβλητές απόφασης (αριθμός τρένων ανά κατηγορία). Μπορούν να επιλεγούν οποιεσδήποτε τιμές, ακόμη και αν δεν ικανοποιούνται οι περιορισμοί του προβλήματος. Από το παραπάνω παράδειγμα, για τις τιμές που επιλέξαμε, φαίνεται πως δεν πληρούνται όλοι οι περιορισμοί. Στη συνέχεια ο Solver θα υπολογίσει τις βέλτιστες τιμές.
- **Χρήση Πόρων:** Στο κελί C20 εισάγεται ο ακόλουθος τύπος:

=SUMPRODUCT(C4:F4,C14:F14)

και αντιγράφεται προς τα κάτω μέχρι το κελί C23. Ο παραπάνω τύπος υπολογίζει την συνολική απόσταση που καταλαμβάνουν όλοι οι συρμοί και των τεσσάρων τύπων για το τρέχων επίπεδο δρομολογίων. Ουσιαστικά, πολλαπλασιάζει τα δεδομένα εισόδου του πρώτου περιορισμού (κελιά C4:F4) με τις μεταβλητές απόφασης (κελιά C14:F14). Αντίστοιχα οι τύποι στα κελιά C21, C22 και C23 υπολογίζουν τον συνολικό αριθμό των εξισώσεων που περιγράφουν.

- **Κέρδη:** Στο κελί C27 εισάγεται ο τύπος:

=C8*C14

και αντιγράφεται δεξιά μέχρι το κελί F27. Αυτοί οι τύποι υπολογίζουν τα κέρδη για κάθε τύπο τρένου. Επειδή στην περίπτωση μας το κέρδος είναι ίσο με την μονάδα για όλους τους τύπους των τρένων, στα παραπάνω κελιά αναγράφεται ο αριθμός των τρένων για κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Επιπλέον, στο κελί G27, υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός όλων των τρένων, που μπορούν να «τρέξουν» στο δίκτυο, εισάγοντας τον τύπο:

=SUM(C27:F27)

Η τιμή που προκύπτει στο συγκεκριμένο κελί, αντιπροσωπεύει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για το τρέχον επίπεδο δρομολόγησης συρμών. Επειδή ο αριθμός των τρένων είναι ακέραιος αριθμός και όχι δεκαδικός εισάγεται στο κελί C28 ο παρακάτω τύπος:

=ROUND(C27,0)

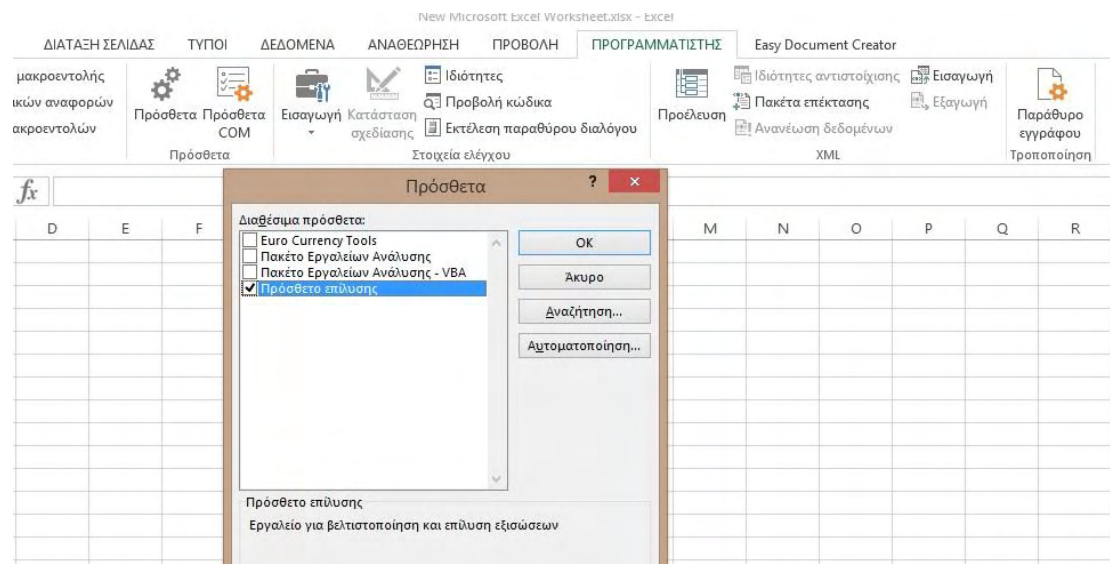
και αντιγράφεται μέχρι και το κελί G28. Το όρισμα της συνάρτησης είναι το κελί που θέλουμε να είναι ακέραιος αριθμός (στην περίπτωση μας είναι το

C27) και ο αριθμός που ακολουθεί, δηλώνει τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων που θέλουμε να εμφανίζονται (στην περίπτωση μας μηδέν).

Μετά την κατάστροψη του μοντέλου είναι δυνατή η μεταβολή των τιμών των μεταβλητών απόφασης και εξετάζονται οι μεταβολές που επιφέρουν στο σύστημα. Έτσι γίνεται κατανοητή η συμπεριφορά του μοντέλου και ελέγχεται η ορθότητα του. Επίσης, μπορεί να γίνει προσπάθεια για εύρεση της βέλτιστης λύσης με δοκιμή και σφάλμα, αλλάζοντας τις τιμές των μεταβλητών απόφασης. Έχει παρατηρηθεί όμως, πως όσες προσπάθειες και να γίνουν, η λύση που προκύπτει με δοκιμή και σφάλμα, δύσκολα είναι η βέλτιστη. Επομένως, ο μόνος σίγουρος και λιγότερα χρονοβόρος τρόπος ανεύρεσης της βέλτιστης λύσης είναι με την χρήση του Solver.

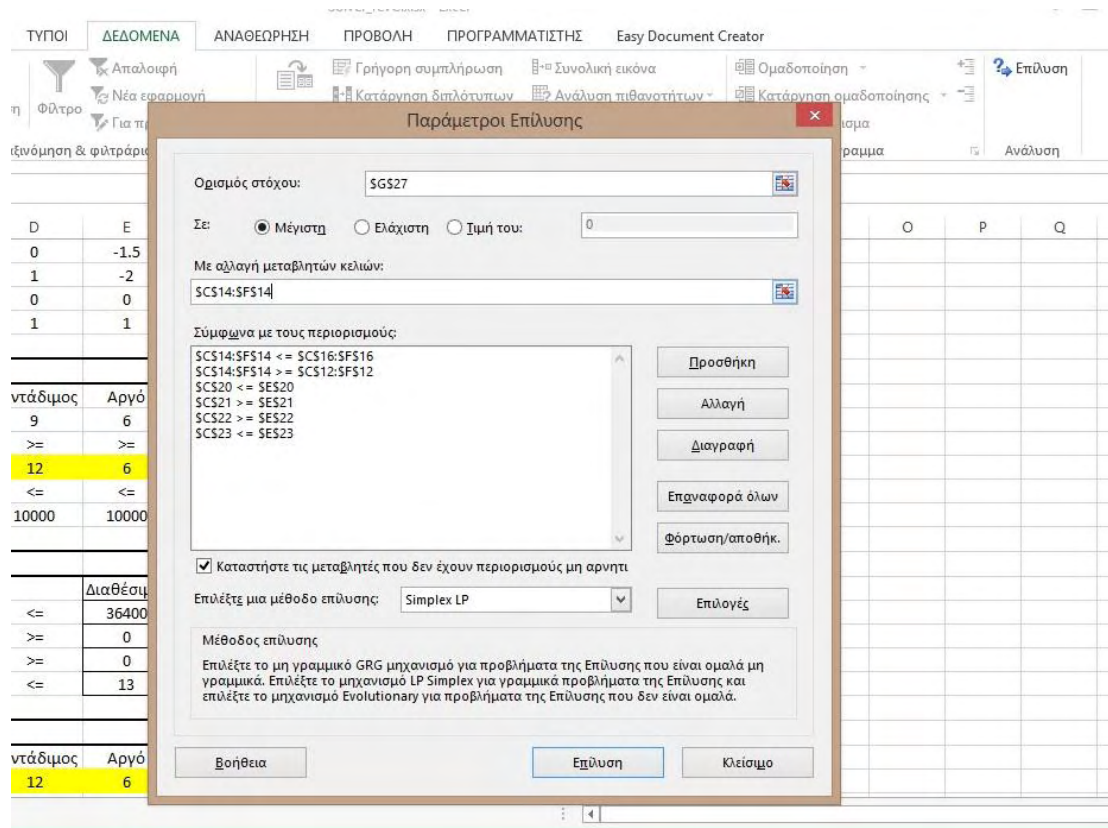
6.3.4 Χρήση του Solver - Επίλυση

Ο Solver (προγραμματιστής επίλυσης) ενεργοποιείται από το μενού «Προγραμματιστής» και την επιλογή «Πρόσθετα». Στην συνέχεια επιλέγουμε «Πρόσθετο επίλυσης» και πατάμε «OK» όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.7.



Σχήμα 6.7: Ενεργοποίηση του Solver σε ένα υπολογιστικό φύλλο

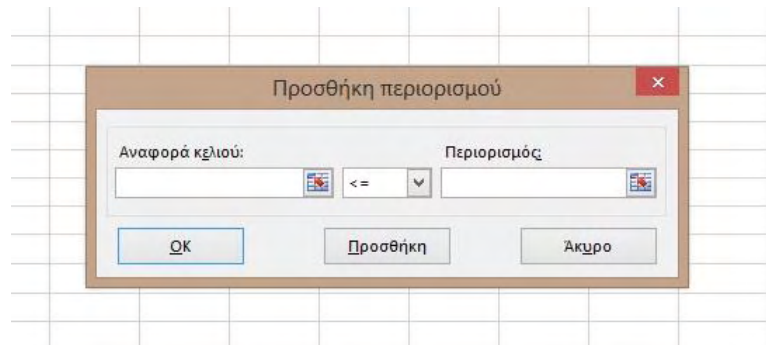
Στη συνέχεια, από το μενού «Δεδομένα» κλικάρουμε την επιλογή «Επίλυση» και εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (σχήμα 6.8):



Σχήμα 6.8: Menu Επίλυσης

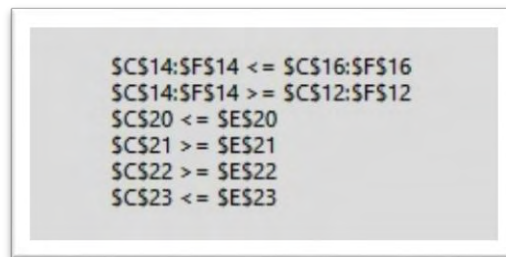
Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα μας εισάγονται οι ακόλουθες πληροφορίες:

- **Ορισμός Στόχου:** Εισάγεται το κελί που αντιστοιχεί στην αντικειμενική συνάρτηση, η τιμή του οποίου πρόκειται να αριστοποιηθεί. Στην περίπτωση μας εισάγεται το κελί G27
- **Σε:** Επιλέγεται το είδος της βελτιστοποίησης. Μπορεί να είναι μεγιστοποίηση, ελαχιστοποίηση ή ίση με μία προκαθορισμένη τιμή. Στο πρόβλημα μας, επιθυμούμε τον μέγιστο αριθμό συρμών σε ένα τμήμα σιδηροδρομικής γραμμής, οπότε επιλέγουμε «Μέγιστη»
- **Με αλλαγή μεταβλητών κελιών:** Επιλέγονται τα κελιά C14:F14, τα οποία αποτελούν τις μεταβλητές απόφασης του προβλήματος
- **Σύμφωνα με τους περιορισμούς:** Σε αυτό το σημείο εισάγονται οι περιορισμοί του προβλήματος. Για την εισαγωγή ενός περιορισμού πατάμε την επιλογή «Προσθήκη» και εμφανίζεται το παρακάτω μενού (σχήμα 6.9):



Σχήμα 6.9: Προσθήκη Περιορισμών

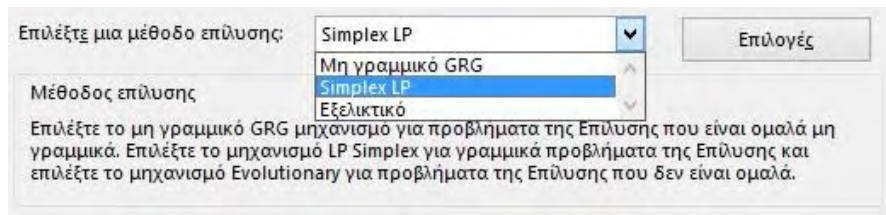
Ανάλογα με τον περιορισμό κάθε φορά επιλέγουμε τα κελιά που συγκρίνουμε και τον τύπο σύγκρισης (μεγαλύτερο, μικρότερο ή ίσο). Με την βοήθεια του συγκεκριμένου μενού καταστρώνονται οι κάτωθι περιορισμοί του προβλήματος:



Σχήμα 6.10: Περιορισμοί του προβλήματος

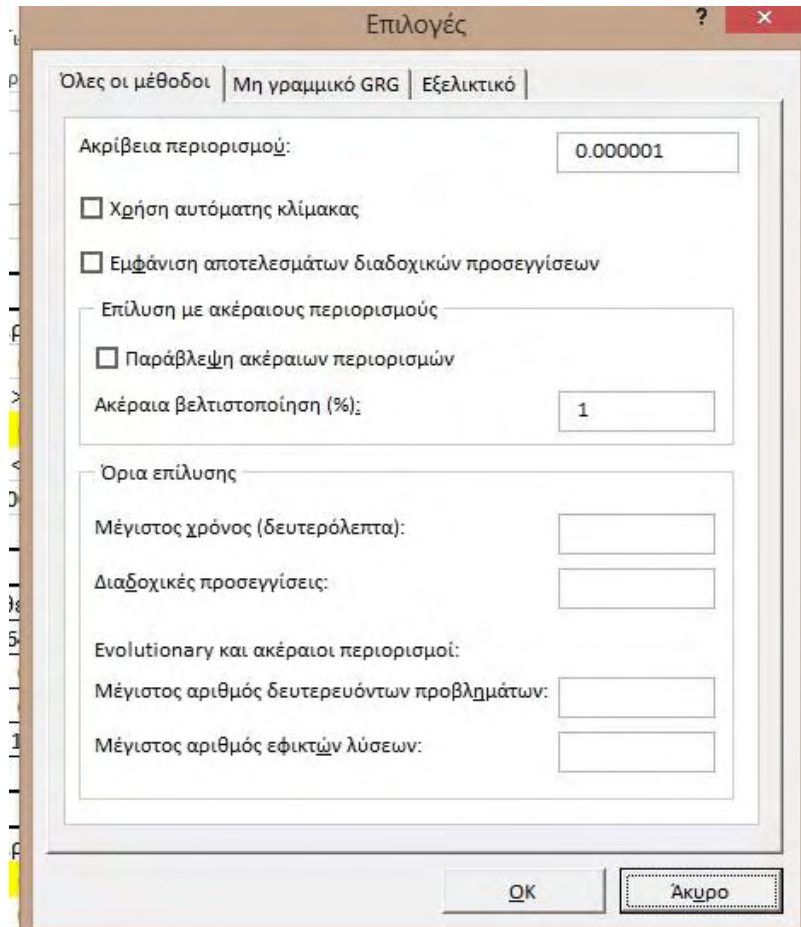
Οι δυο πρώτοι περιορισμοί αντιστοιχούν στα άνω και κάτω όρια κάθε τύπου αμαξοστοιχίας. Δηλαδή, αντιστοιχούν στους περιορισμούς των σχέσεων 6 έως και 10. Ο τρίτος περιορισμός αντιστοιχεί στην ασφαλή απόσταση φρεναρίσματος και μήκος τρένου, δηλαδή αναφέρεται στην σχέση 2. Οι άλλοι τρεις περιορισμοί προσδιορίζουν τις σχέσεις 3, 4 και 5 αντίστοιχα.

- **Καταστήστε τις μεταβλητές που δεν έχουν περιορισμούς μη αρνητικές:** Με αυτή την επιλογή εξασφαλίζεται ότι οι μεταβλητές απόφασης δεν θα πάρουν αρνητικές τιμές
- **Επιλέξτε μια μέθοδο επίλυσης:** Από το συγκεκριμένο μενού έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε τον τύπο του μαθηματικού προγραμματισμού για κάθε πρόβλημα. Στην περίπτωση μας, όπως είπαμε και παραπάνω, έχουμε γραμμικό πρόβλημα, οπότε επιλέγουμε την μέθοδο Simplex



Σχήμα 6.11: Επιλογή Μεθόδου Επίλυσης

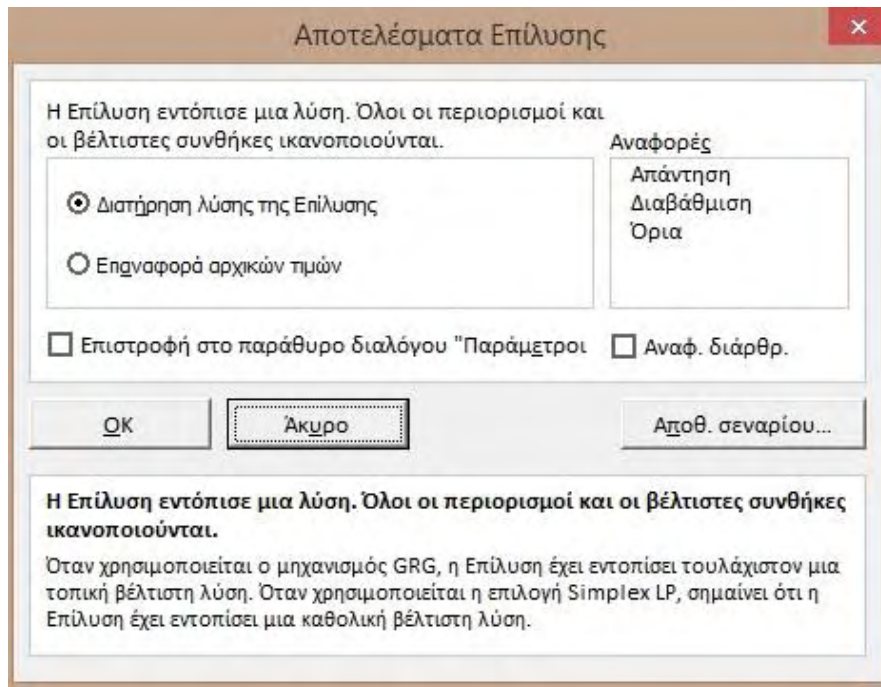
- **Επιλογές:** Από το μενού αυτό ανοίγει το παρακάτω παράθυρο διαλόγου:



Σχήμα 6.12: Επιλογές της μεθόδου επίλυσης

Από την καρτέλα «Όλες οι μέθοδοι» ορίζεται η ακρίβεια του κάθε περιορισμού. Συγκεκριμένα στην περίπτωση μας, επιλέγεται ένας πολύ μικρός αριθμός.

Μετά την εισαγωγή όλων των παραπάνω απαραίτητων πληροφοριών και πατώντας το κουμπί «Επίλυση», ο Solver επιλύει το πρόβλημα εφαρμόζοντας μια επαναληπτική μαθηματική διαδικασία και εμφανίζει το ακόλουθο μήνυμα:



Σχήμα 6.13: Παράθυρο Αποτελεσμάτων Επίλυσης

Επιλέγοντας «Διατήρηση λύσης της επίλυσης», τα κελιά του excel που αντιστοιχούν στις μεταβλητές απόφασης παίρνουν την βέλτιστη τιμή και η αντικειμενική συνάρτηση την μέγιστη τιμή της. Στο σχήμα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές των κελιών μετά την επίλυση του προβλήματος.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1340	1300	840	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			6	9	6	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	9	12	6	3.2173913		
15			<=	<=	<=	<=		
16			10000	10000	10000	4		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση		Διαθέσιμοι			
20		Απόσταση Ασφαλείας	36400	<=	36400			
21		IC - Αργό	1.776E-15	>=	0			
22		Πεντάδιμος - Αργό	0	>=	0			
23		Μηχανές	12.217391	<=	13			
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	9	12	6	3.2173913	30.2174	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	9	12	6	3	30	

Σχήμα 6.14: Τιμές των μεταβλητών απόφασης μετά την επίλυση

Η βέλτιστη λύση των δρομολογίων για το τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη αντιστοιχεί σε 9 τρένα τύπου Intercity, 12 τρένα προαστιακού πεντάδιμου, 6 αργά επιβατικά τρένα και 3 εμπορικές αμαξοστοιχίες. Ο δε μέγιστος αριθμός αμαξοστοιχιών είναι ίσος με 30. Επίσης, παρατηρούμαι ότι όλοι οι περιορισμοί είναι αυστηροί, εκτός από τον τέταρτο περιορισμό που αναφέρεται στον αριθμό των μηχανών (IC και εμπορικών) που είναι χαλαρός ($12,2 < 13$).

6.3.5 Επίλυση του προβλήματος μόνο για Εμπορικές Αμαξοστοιχίες – Cargo

Στις ημέρες μας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, παρατηρείται έντονη δραστηριότητα στην μετακίνηση εμπορευμάτων μέσω του σιδηροδρομικού δικτύου. Έτσι, στην παρούσα διπλωματική θα αναφερθούμε και στον μέγιστο θεωρητικό αριθμό των εμπορικών αμαξοστοιχιών που μπορούν να κυκλοφορούν ταυτόχρονα στο τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη.

Εάν στις εξισώσεις του προβλήματος μας θεωρήσουμε ότι $x_1=x_2=x_3=0$, δηλαδή ότι δεν έχουμε άλλο τύπο αμαξοστοιχιών εκτός από εμπορικές, τότε οι εξισώσεις μας παίρνουν την εξής μορφή:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\max x_4$$

Υπό τους παρακάτω περιορισμούς:

$$1150x_4 \leq 36400$$

$$x_4 \leq 10000$$

$$x_4 \geq 2$$

Θεωρούμε ότι δεν έχουμε περιορισμό στον μέγιστο αριθμό των εμπορικών αμαξοστοιχιών, καθώς έχουμε τον απαραίτητο αριθμό μηχανών και προσωπικού για να υπερκαλύψουμε τις ανάγκες του δικτύου. Έτσι, η δεξαμενή των διαθέσιμων εμπορικών αμαξοστοιχιών είναι ίση με άπειρο (ένας μεγάλος αριθμός στην περίπτωση μας - 10000). Κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο excel και επιλύοντας με τον Solver, βρίσκουμε τα παρακάτω:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1340	1300	840	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			0	0	0	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	0	0	0	31.652174		
15			<=	<=	<=	<=		
16			0	0	0	10000		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση			Διαθέσιμοι		
20		Απόσταση Ασφαλείας	36400	<=		36400		
21		IC - Αργό	0	>=		0		
22		Πεντάδιμος - Αργό	0	>=		0		
23		Μηχανές	31.652174	<=		10000		
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	0	0	0	31.652174	31.652174	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	0	0	0	31	31	

Σχήμα 6.15: Τιμές των μεταβλητών απόφασης μετά την επίλυση μόνο για cargo

Επομένως, αν στο δίκτυο μας κυκλοφορούσαν μόνο εμπορικές αμαξοστοιχίες, τότε ο βέλτιστος αριθμός τους είναι ίσος με 31 αμαξοστοιχίες.

6.3.6 Επίλυση του προβλήματος για μια Inter City αμαξοστοιχία και εμπορικές αμαξοστοιχίες – Cargo κατά την διάρκεια νυχτερινών δρομολογίων

Ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος (ΟΣΕ) εκμεταλλεύεται την χαμηλή ζήτηση για νυχτερινά επιβατικά δρομολόγια και δρομολογεί εμπορικές αμαξοστοιχίες αυτές τις ώρες. Συγκεκριμένα κατά τις νυχτερινές ώρες κινείται μόνο μία Inter City αμαξοστοιχία που εκτελεί το δρομολόγιο Αθήνα – Θεσσαλονίκη και τις υπόλοιπες ώρες το δίκτυο είναι ελεύθερο προς χρήση.

Οπότε οι εξισώσεις του προβλήματος μας μετασχηματίζονται, καθώς θεωρούμε ότι $x_2=x_3=0$ και $x_1=1$, δηλαδή ότι δεν έχουμε άλλο τύπο αμαξοστοιχιών εκτός από εμπορικές και μια Inter City. Επομένως, παίρνουν την εξής μορφή:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\max x_4$$

Υπό τους παρακάτω περιορισμούς:

$$1340+1150x_4 \leq 36400 \Leftrightarrow x_4 \leq 30.48$$

$$x_4 \leq 10000 \text{ και } x_4 \geq 2$$

$$x_1=1$$

Θεωρούμε όπως και προηγουμένως ότι δεν έχουμε περιορισμό στον μέγιστο αριθμό των εμπορικών αμαξοστοιχιών, οπότε η δεξαμενή των διαθέσιμων εμπορικών αμαξοστοιχιών είναι ίση 10000. Κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο excel και επιλύοντας με τον Solver, βρίσκουμε τα παρακάτω:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1340	1300	840	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			1	0	0	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	1	0	0	30.486957		
15			<=	<=	<=	<=		
16			1	0	0	10000		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση			Διαθέσιμοι		
20		Απόσταση Ασφαλείας	36400	<=		36400		
21		IC - Αργό	1	>=		0		
22		Πεντάδιμος - Αργό	0	>=		0		
23		Μηχανές	31.486957	<=		10000		
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	1	0	0	30.486957	31.487	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	1	0	0	30	31	
29								

Σχήμα 6.16: Τιμές των μεταβλητών απόφασης μετά την επίλυση μόνο για 1 InterCity αμαξοστοιχία και cargo κατά τις νυχτερινές ώρες

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες, όπου κινείται μία μόνο επιβατική αμαξοστοιχία, στο τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη, μπορούν να δρομολογηθούν μέχρι και 30 εμπορικές αμαξοστοιχίες.

6.3.7 Επίλυση του προβλήματος με μείωση της ταχύτητας των επιβατικών αμαξοστοιχιών κατά 20 χλμ/ώρα, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό τους

Διατηρώντας την αρχική λύση του προβλήματος για τις επιβατικές αμαξοστοιχίες, δηλαδή θεωρούμε ότι οι Inter City αμαξοστοιχίες είναι ίσες με 9, οι πεντάδιμοι προαστιακοί ίσοι με 12 και τα αργά επιβατικά ίσα με 6, θέλουμε να εξετάσουμε την μεταβολή της χωρητικότητας του δικτύου μειώνοντας την ταχύτητα όλων των επιβατικών αμαξοστοιχιών κατά 20 χλμ/ώρα. Μειώνοντας την ταχύτητα των συρμών, μειώνεται και η απόσταση πέδης αυτών, οπότε ο περιορισμός που αναφέρεται στην απόσταση φρεναρίσματος των τρένων πρέπει να μετασχηματιστεί κατάλληλα. Με άλλα λόγια θέλουμε να δούμε πώς μεταβάλλεται ο αριθμός των εμπορικών αμαξοστοιχιών σε αυτή την περίπτωση. Οι εξισώσεις παίρνουν την ακόλουθη μορφή:

Αντικειμενική συνάρτηση:

$$\max x_1+x_2+x_3+x_4$$

Υπό τους παρακάτω περιορισμούς:

A) Περιορισμός απόστασης φρεναρίσματος και μήκος τρένου:

$$(1000+140)x_1+(1000+100)x_2+(550+140)x_3+(550+600)x_4 \leq 36400 \quad \Leftrightarrow \\ 1140x_1+1100x_2+690x_3+1150x_4 \leq 36400$$

B) Διαθεσιμότητα ηλεκτροκινούμενων μηχανών:

$$x_1+x_4 \leq 13$$

Γ) Συσχετισμός Intercity με αργό επιβατικό τρένο:

$$x_1 \geq 1.5x_3 \quad \Leftrightarrow \quad x_1 - 1.5x_3 \geq 0$$

Δ) Συσχετισμός πεντάδιμου προαστιακού με αργό επιβατικό τρένο:

$$x_2 \geq 2x_3 \quad \Leftrightarrow \quad x_2 - 2x_3 \geq 0$$

Ε) Περιορισμοί ελάχιστων και μέγιστων επιτρεπτών δρομολογίων:

$$x_1 = 9$$

$$x_2 = 12$$

$$x_3 = 6$$

$$x_4 \geq 2$$

$$x_4 \leq 10000$$

Θεωρούμε ξανά ότι δεν έχουμε περιορισμό στον μέγιστο αριθμό των εμπορικών αμαξοστοιχιών, οπότε η δεξαμενή των διαθέσιμων εμπορικών αμαξοστοιχιών είναι ίση 10000. Κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις στο excel και επιλύοντας με τον Solver, βρίσκουμε τα παρακάτω:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1140	1100	690	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			9	12	6	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	9	12	6	4		
15			<=	<=	<=	<=		
16			9	12	6	10000		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση		Διαθέσιμοι			
20		Απόσταση Ασφαλείας	32200	<=	36400			
21		IC - Αργό	0	>=	0			
22		Πεντάδιμος - Αργό	0	>=	0			
23		Μηχανές	13	<=	13			
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	9	12	6	4	31	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	9	12	6	4	31	
29								

Σχήμα 6.17: Τιμές των μεταβλητών απόφασης μετά την επίλυση με μείωση της ταχύτητας των επιβατικών αμαξοστοιχιών κατά 20 χλμ/ώρα, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό τους

Από την λύση του προβλήματος, παρατηρούμε ότι σε σχέση με την αρχική λύση, ο αριθμός των εμπορικών τρένων έχει αυξηθεί από τρία σε τέσσερα, δηλαδή κατά ένα τρένο. Επίσης παρατηρούμε ότι ο περιορισμός που αναφέρεται στην απόσταση ασφαλείας είναι χαλαρός ($32200 \leq 36400$) και μπορεί να βελτιώσει την λύση. Ο περιορισμός που μας δεσμεύει στην λύση, είναι ο αριθμός των μηχανών καθώς είναι αυστηρός ($13 = 13$). Επομένως αν θεωρήσουμε ότι δεν έχουμε περιορισμό στον αριθμό των μηχανών $x_1 + x_4$ (το άνω όριο και εδώ θα θεωρηθεί 10000), επιλύουμε ξανά με τον Solver και βρίσκουμε τα παρακάτω:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Δεδομένα Εισόδου						
3		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
4		Απόσταση Ασφαλείας	1140	1100	690	1150		
5		IC - Αργό	1	0	-1.5	0		
6		Πεντάδιμος - Αργό	0	1	-2	0		
7		Μηχανές	1	0	0	1		
8		Κέρδος	1	1	1	1		
9								
10		Σχεδιασμός Δρομολογίων						
11		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό		
12			9	12	6	2		
13			>=	>=	>=	>=		
14		Αριθμός Τρένων	9	12	6	7.6521739		
15			<=	<=	<=	<=		
16			9	12	6	10000		
17								
18		Περιορισμοί Πόρων						
19			Χρήση		Διαθέσιμοι			
20		Απόσταση Ασφαλείας	36400	<=	36400			
21		IC - Αργό	0	>=	0			
22		Πεντάδιμος - Αργό	0	>=	0			
23		Μηχανές	16.652174	<=	10000			
24								
25		Κέρδη						
26		Είδος Τρένου	IC	Πεντάδιμος	Αργό	Εμπορικό	Σύνολο	
27		Αριθμός Τρένων	9	12	6	7.6521739	34.6922	
28		Ακριβής Αριθμός Τρένων	9	12	6	8	35	
29								

Σχήμα 6.18: Τιμές των μεταβλητών απόφασης μετά την επίλυση με μείωση της ταχύτητας των επιβατικών αμαξοστοιχιών κατά 20 χλμ/ώρα, διατηρώντας σταθερό τον αριθμό τους και χωρίς περιορισμό στον αριθμό των μηχανών έλξης

Σε αυτή την περίπτωση, παρατηρούμε ότι ο αριθμός των εμπορικών τρένων είναι ίσος με οκτώ, δηλαδή έχει αυξηθεί κατά τέσσερα τρένα σε σχέση με προηγουμένως. Άρα, ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος (ΟΣΕ) μπορεί να αυξήσει την εκμετάλλευση του τμήματος Πλατύ – Θεσσαλονίκη, αν δρομολογήσει σε αυτό άλλες τέσσερις μηχανές έλξης. Η συνολική χωρητικότητα του σιδηροδρομικού δικτύου σε αυτή την περίπτωση έχει αυξηθεί σε 35 συρμούς.

6.3.8 Επίλυση του προβλήματος με διάφορα σενάρια ταχύτητας συρμών και απόσταση πέδης

Σε αυτή την παράγραφο της εργασίας θα επιλυθεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης της χωρητικότητας του δικτύου για διάφορες ταχύτητες των συρμών και αποστάσεων πέδης. Θα εξεταστεί η συμπεριφορά του δικτύου για αυξομειώσεις των ταχυτήτων και για διάφορα μήκη συρμών.

Στην αρχική λύση του προβλήματος βρήκαμε ότι ο συνολικός αριθμός των τρένων που μπορούν να παρευρεθούν ταυτόχρονα στο τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη είναι ίσος με 30 και αποτελείται από 9 Inter City, 12 πεντάδιμους προαστιακούς, 6 αργά επιβατικά και 3 εμπορικά τρένα. Μέσω του Solver, επιλύουμε το πρόβλημα για διάφορα σενάρια, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (σχήμα 6.19):

A/A	Δοκιμές - Παρατηρήσεις	Αποτελέσματα - Αριθμός Τρένων				
		IC	Πεντάδιμος	Αργό Επιβατικό	Εμπορικό	Συνολικά Τρένα
1	Αρχική Λύση	9	12	6	3	30
2	Μείωση ταχύτητας IC και Πεντάδιμων κατά 20 χλμ/ώρα	11	14	7	2	34
3	Αύξηση ταχύτητας IC και Πεντάδιμων κατά 20 χλμ/ώρα	6	12	6	2	26
4	Μείωση ταχύτητας αργού επιβατικού κατά 40 χλμ/ώρα και εμπορικού κατά 20 χλμ/ώρα	10	13	6	3	32
5	Αύξηση ταχύτητας IC κατά 10 χλμ/ώρα και μείωση ταχύτητας Πεντάδιμων κατά 10 χλμ/ώρα	9	12	6	3	30
6	Αύξηση ταχύτητας IC κατά 20 χλμ/ώρα και μείωση ταχύτητας Πεντάδιμων κατά 20 χλμ/ώρα	9	13	6	2	30
7	Μείωση ταχύτητας εμπορικού κατά 20 χλμ/ώρα	9	12	6	4	31
8	Μείωση μήκους εμπορικού στο μισό του	9	12	6	4	31
9	Αύξηση ταχύτητας όλων των τρένων κατά 10 χλμ/ώρα	9	10	6	2	27
10	Αύξηση ταχύτητας όλων των τρένων κατά 20 χλμ/ώρα	6	11	6	2	25
11	Μείωση ταχύτητας όλων των τρένων κατά 10 χλμ/ώρα	10	13	7	3	33
12	Μείωση ταχύτητας όλων των τρένων κατά 20 χλμ/ώρα	11	15	7	2	35
13	Μείωση ταχύτητας όλων των τρένων κατά 30 χλμ/ώρα	11	20	7	2	40

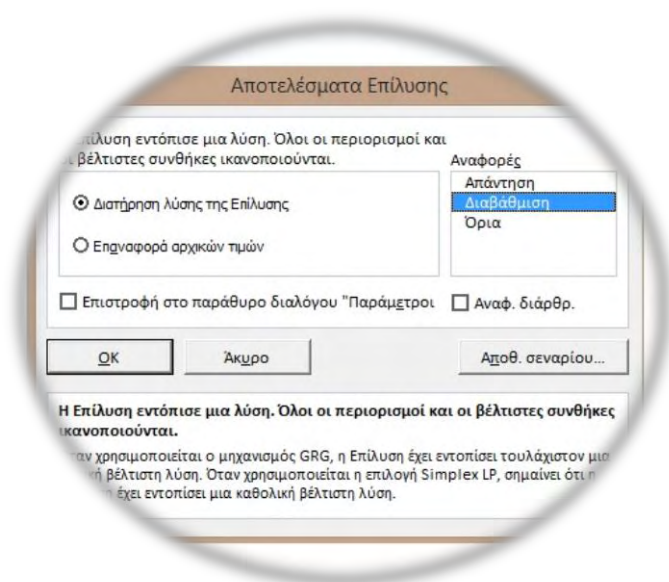
Σχήμα 6.19: Πίνακας αποτελεσμάτων της χωρητικότητας της γραμμής για διάφορα σενάρια ταχυτήτων και μηκών πέδης

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα των συρμών, τόσο μειώνεται ο αριθμός τους συνολικά και ανά τύπο τρένου. Χαρακτηριστικά κάθε αύξηση της ταχύτητας όλων των συρμών κατά 10 χλμ/ώρα, επιφέρει μείωση της χωρητικότητας του δικτύου κατά τρία τρένα. Αντίθετα, όσο μειώνεται η ταχύτητα των συρμών, τόσο αυξάνεται ο αριθμός τους συνολικά και ανά τύπο τρένου. Επίσης, παρατηρούμε ότι η αύξηση της ταχύτητας επιδρά αρνητικότερα στην μείωση του αριθμού των Inter City τρένων, ενώ η μείωση της ταχύτητας «ευνοεί» περισσότερο την αύξηση των πεντάδιμων προαστιακών. Μικρές αλλαγές μόνο στην ταχύτητα των Inter City και πεντάδιμων προαστιακών, δεν επιφέρουν καμιά αλλαγή στην χωρητικότητα του δικτύου. Τέλος, παρατηρούμε ότι η μείωση της ταχύτητας των εμπορικών κατά 20 χλμ/ώρα επιφέρει αύξηση ενός εμπορικού τρένου. Το ίδιο συμβαίνει και αν μειώσουμε το μήκος όλων των εμπορικών τρένων στο μισό τους, δηλαδή από 30 σε 15 βαγόνια (από 600 σε 300 μέτρα αντίστοιχα).

6.3.9 Ανάλυση Ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι μία μέθοδος η οποία εφαρμόζεται για να προσδιορίσει την ευαισθησία της λύσης ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού στις μεταβολές των παραμέτρων του (μεταβλητές απόφασης, κέρδη, περιορισμοί).

Και σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε τον Solver του Excel, όπως και προηγουμένως για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης. Από τα αποτελέσματα επίλυσης στο menu «Αναφορές» επιλέγουμε την Διαβάθμιση και πατάμε «OK» (σχήμα 6.20). Στη συνέχεια στο υπολογιστικό φύλλο του excel δημιουργείται μια νέα καρτέλα με το όνομα «Αναφορά διαβάθμισης». Σε αυτή την καρτέλα βρίσκονται οι πληροφορίες που αφορούν την ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος (σχήμα 6.21).



Σχήμα 6.20: Επιλογή «Διαβάθμιση» από το menu Αναφορές, για την ανάλυση ευαισθησίας του προβλήματος

Μεταβλητά κελιά						
Κελί	Όνομα	Τελικό Τιμή	Μειωμένο Κόστος	Στόχος Συντελεστής	Επιτρεπτό Αύξηση	Επιτρεπτό Μείωση
\$C\$14	Αριθμός Τρένων >=	9	0	1	0.15942029	1E+30
\$D\$14	Αριθμός Τρένων >=	12	0	1	0.119565217	1E+30
\$E\$14	Αριθμός Τρένων >=	6	-0.239130435	1	0.239130435	1E+30
\$F\$14	Αριθμός Τρένων >=	3.217391304	0	1	1E+30	0.050458716

Περιορισμοί						
Κελί	Όνομα	Τελικό Τιμή	Σκιά Τιμή	Περιορισμός Δεξιά πλευρά	Επιτρεπτό Αύξηση	Επιτρεπτό Μείωση
\$C\$20	Απόσταση Ασφαλείας Χρήση	36400	0.000869565	36400	900	1400
\$C\$21	IC - Αργό Χρήση	1.77636E-15	-0.165217391	0	1.044776119	0.671641791
\$C\$22	Πεντάδιμος - Αργό Χρήση	0	-0.130434783	0	1.076923077	0.692307692
\$C\$23	Μηχανές Χρήση	12.2173913	0	13	1E+30	0.782608696

Σχήμα 6.21: Καρτέλα Ανάλυσης Ευαισθησίας του προβλήματος

Τα μεταβλητά κελιά αναφέρονται στις μεταβλητές απόφασης του προβλήματος και δίνουν πληροφορίες και για την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος. Περιλαμβάνουν τα κελιά, τα ονόματα των μεταβλητών, την τελική βέλτιστη τιμή τους, το μειωμένο κόστος, τους συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης και την επιτρεπόμενη αύξηση και μείωση των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης.

Το μειωμένο κόστος εκφράζει το πόσο αλλάζει η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αν αλλάξει ένας περιορισμός της μορφής $X_i \geq A$ κατά μία μονάδα. Στην περίπτωση μας έχουμε μη μηδενική τιμή μόνο για τον περιορισμό που αφορά την μεταβλητή x_3 , καθώς η λύση του είναι ίση με το κάτω όριο του περιορισμού.

Η επιτρεπόμενη αύξηση και μείωση των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης δείχνει το πόσο μπορούν να μεταβληθούν οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης, χωρίς να αλλάξουν οι τιμές των μεταβλητών απόφασης (x_1 , x_2 , x_3 και x_4). Στην περίπτωση μας, όλοι οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίσοι με την μονάδα. Η νέα τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίση με την αλγεβρική πράξη των «νέων» συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης με τις μεταβλητές απόφασης που παραμένουν σταθερές.

Στο δεύτερο μέρος της καρτέλας ανάλυσης ευαισθησίας του excel βρίσκονται οι περιορισμοί. Περιλαμβάνουν τα κελιά, το όνομα και την τελική τιμή του αριστερού μέλους κάθε περιορισμού για την άριστη λύση. Η Σκιά τιμή εκφράζει την μεταβολή της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε μεταβολή ενός περιορισμού κατά μια μονάδα στην δεξιά πλευρά του. Δηλαδή αναφέρεται στην αύξηση ή μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης όταν ο περιορισμός αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα κατά μία μονάδα.

Ο περιορισμός δεξιάς πλευράς είναι η τιμή του δεξιού μέλους κάθε περιορισμού. Η επιτρεπτή αύξηση και μείωση εκφράζει το πόσο μπορεί να μεταβληθεί η δεξιά πλευρά ενός περιορισμού, έτσι ώστε να ισχύει η Σκιά τιμή. Για την καλύτερη κατανόηση της ανάλυσης ευαισθησίας ακολουθούν δύο παραδείγματα.

Α) Έστω ότι θέλω να αυξήσω κατά μία μονάδα το δεξιό μέλος του περιορισμού που αναφέρεται στην σχέση μεταξύ των πεντάδιμων προαστιακών και αργών επιβατικών ($x_2 - 2x_3 \geq 0$). Δηλαδή, ο αριθμός των πεντάδιμων προαστιακών να είναι δύο φορές ο αριθμός των αργών επιβατικών, αυξημένος κατά ένα τρένο ($x_2 - 2x_3 \geq 1$). Η αντικειμενική συνάρτηση θα αλλάξει κατά το ποσό που αναφέρεται στην Σκιά τιμή. Στην περίπτωση μας θα μειωθεί κατά -0.1304 . Επομένως, η νέα τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης θα είναι ίση με $\max x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 30 - 0.1304 = 29.869$ τρένα.

Β) Έστω ότι θέλω να μειώσω την συνολική απόσταση του δικτύου κατά 1200 μέτρα. Δηλαδή, το δεξιό μέλος του περιορισμού απόστασης φρεναρίσματος και μήκους τρένου ($1340x_1 + 1300x_2 + 840x_3 + 1150x_4 \leq 36400$) να μειωθεί κατά 1200 ($1340x_1 + 1300x_2 + 840x_3 + 1150x_4 \leq 35200$). Από την ανάλυση ευαισθησίας παρατηρούμε ότι για τον συγκεκριμένο περιορισμό, η επιτρεπτή μείωση είναι ίση με 1400 μέτρα, για να παραμείνει σταθερή η Σκιά τιμή, που στην περίπτωσή μας είναι ίση με $0,000869$. Έτσι, επειδή $1200 < 1400$, έχω μεταβολή στην αντικειμενική συνάρτηση ίση με: $1200 \times 0,000869 = 1,0428$. Και επειδή αναφέρεται σε μείωση έχει αρνητική τιμή ($-1,0428$). Άρα, η νέα τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίση με: $\max x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 30 - 1,0428 = 28,9572$. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι όταν μειώνεται η απόσταση του δικτύου κατά 1200 μέτρα, η χωρητικότητα του μειώνεται κατά ένα συρμό (από 30 συρμούς σε 29).

6.4 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στο σιδηροδρομικό τμήμα Θεσσαλονίκη – Πλατύ, με βάση τα σημερινά δεδομένα, όπως υπολογίστηκε και παραπάνω η χωρητικότητα ώρας (αιχμής) είναι ίση με 5 αμαξοστοιχίες. Η δε ημερήσια χωρητικότητα είναι ίση με 136 αμαξοστοιχίες. Οι προγραμματισμένοι - τακτικοί ημερήσιοι συρμοί προς δρομολόγηση είναι 24 (21 επιβατικές αμαξοστοιχίες και 3 εμπορικές). Έτσι, παρατηρούμε ότι το ποσοστό κορεσμού της γραμμής είναι ίσο με $17,6\%$ ($24/136$ συρμοί) και είναι πολύ χαμηλό. Τέλος, οι αμαξοστοιχίες που μπορούν να δρομολογηθούν ημερήσια επιπλέον των υπάρχουσών είναι ίσες με 112 (136 μείον 24) και αν θέλουμε να εκμεταλλευτούμε πλήρως το διαθέσιμο δίκτυο για εμπορικές αμαξοστοιχίες, τότε μπορούμε να δρομολογούμε ημερήσια 115 (136 μείον 21) εμπορικά τρένα.

Με την νέα μέθοδο σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων γραμμής, υπολογίστηκε με την βοήθεια του Solver, πως η χωρητικότητα ώρας (αιχμής) του συγκεκριμένου τμήματος της σιδηροδρομικής γραμμής είναι ίσο με 30 αμαξοστοιχίες. Οι προγραμματισμένοι ημερήσιοι συρμοί προς δρομολόγηση παραμένουν οι ίδιοι. Η χωρητικότητα ημέρας (19ώρο), όπως αναφέραμε στο 5^ο κεφάλαιο, δίνεται από τον τύπο:

$$C = \frac{T}{t_{\text{διαδοχής}} + t_{\text{διαστολής}} + t_{\pi}}$$

Ο μέσος χρόνος διαδοχής δύο συρμών με σηματοδότηση μεταβλητών τμημάτων γραμμής είναι ίσος με $0,8$ λεπτά (μέση ταχύτητα συρμών 140 χλμ/ώρα και μέση απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών συρμών 1300 μέτρα). Έτσι, η χωρητικότητα ημέρας

υπολογίζεται ότι είναι περίπου ίση με 500 συρμοί. Επομένως, το ποσοστό κορεσμού της γραμμής είναι ίσο με 4,8% (24/500). Τέλος, οι αμαξοστοιχίες που μπορούν να δρομολογηθούν ημερήσια επιπλέον των υπαρχουσών είναι ίσες με 476 (500 μείον 24) και αν θέλουμε να εκμεταλλευτούμε πλήρως το διαθέσιμο δίκτυο για εμπορικές αμαξοστοιχίες, τότε μπορούμε να δρομολογούμε ημερήσια 479 (500 μείον 21) εμπορικά τρένα.

Στον πίνακα που ακολουθεί (σχήμα 6.22) δίδεται και για τους δύο τύπους σηματοδότησης, η χωρητικότητα της γραμμής (ημερήσια και ωριαία), το ποσοστό κορεσμού και τα επιπλέον τρένα που μπορούν να δρομολογηθούν κατά την διάρκεια μίας ημέρας.

Σιδηροδρομική Γραμμή Θεσσαλονίκη - Πλατύ		
Χαρακτηριστικά	Τύπος Σηματοδότησης	
	Προκαθορισμένων Τμημάτων Γραμμής	Μεταβλητών Τμημάτων Γραμμής
Χωρητικότητα Ώρας - Αιχμής (συρμοί)	5	30
Χωρητικότητα Ημέρας (συρμοί)	136	500
Ημερήσιοι Προγραμματισμένοι Συρμοί	24	24
Ποσοστό Κορεσμού Γραμμής (%)	17.6	4.8
Διαθέσιμοι συρμοί προς δρομολόγηση	112	476
Συνολικά εμπορικά για πλήρη εκμετάλλευση των διαθέσιμων συρμών, διατηρώντας τα ημερήσια προγραμματισμένα δρομολόγια	115	479

Σχήμα 6.22: Πίνακας με τα χαρακτηριστικά της σιδηροδρομικής γραμμής Πλατύ – Θεσσαλονίκη με προκαθορισμένα και μεταβλητά τμήματα γραμμής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Συμπεράσματα

Με βάση τα δεδομένα της ισχύουσας κατάστασης στο σιδηροδρομικό τμήμα Πλατύ – Θεσσαλονίκη και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- 1) Ο μέγιστος στιγμιαίος αριθμός των αμαξοστοιχιών που μπορούν να κινούνται στο τμήμα που μελετάμε, με την ισχύουσα κατάσταση (σηματοδότηση προκαθορισμένων τμημάτων γραμμής) είναι ίσος με 5 αμαξοστοιχίες, ανεξαρτήτως τύπου (εμπορική ή επιβατική).
- 2) Ο αριθμός αυτός με τον νέο τύπο σηματοδότησης (μεταβλητών τμημάτων γραμμής) μεταβάλλεται σε 30 αμαξοστοιχίες. Δηλαδή, έχουμε μία αύξηση της χωρητικότητας της γραμμής κατά 500%. Η αύξηση αυτή στην πραγματικότητα είναι λίγο μικρότερη, καθώς μπορούν να προστεθούν δικλίδες ασφαλείας για το χρόνο παραμονής ενός συρμού σε ένα σταθμό. Παρόλα αυτά, αποδεικνύεται ότι το νέο σύστημα σηματοδότησης βελτιώνει σε τεράστιο βαθμό την χωρητικότητα της σιδηροδρομικής γραμμής.
- 3) Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι για πρώτη φορά με το νέο σύστημα σηματοδότησης, ο κάθε τύπος αμαξοστοιχίας αντιμετωπίζεται ξεχωριστά και με βάση τα χαρακτηριστικά του (πχ απόσταση πέδης). Δηλαδή, ο τύπος των συρμών που κινούνται στην γραμμή είναι αυτός που καθορίζει και την συνολική χωρητικότητα. Αντίθετα, με την σηματοδότηση προκαθορισμένων τμημάτων, η χωρητικότητα του δικτύου είναι η ίδια ανεξαρτήτως των τύπων των συρμών που κινούνται σε αυτό.
- 4) Ο βέλτιστος αριθμός για κίνηση μόνο εμπορικών αμαξοστοιχιών με το νέο σύστημα σηματοδότησης είναι ίσος με 31 αμαξοστοιχίες. Με το υπάρχον σύστημα ο αριθμός αυτός είναι ίσος με 5. Επομένως, παρατηρούμε ότι μπορούμε μέχρι και να εξαπλασιάσουμε τον αριθμό των εμπορικών αμαξοστοιχιών. Αυτό θα σήμαινε επανάσταση στον χώρο των εμπορικών μεταφορών μέσω του σιδηρόδρομου.
- 5) Ανάλογα με την ζήτηση και τις καταστάσεις που επικρατούν στο σιδηροδρομικό δίκτυο, μπορούμε να αυξομειώσουμε την ταχύτητα και το μήκος των συρμών. Έτσι, μεταβάλλεται ο αριθμός των τρένων ανά τύπο και η χωρητικότητα της γραμμής. Αν μειώσουμε πολύ την ταχύτητα των συρμών κερδίζουμε σε χωρητικότητα, αλλά χάνουμε στην εξυπηρέτηση του κοινού (service). Αν αυξήσουμε πολύ την ταχύτητα των συρμών κερδίζουμε στην εξυπηρέτηση, αλλά χάνουμε στην χωρητικότητα του δικτύου (αντιστρόφως ανάλογα ποσά).

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μέσα από την μελέτη στην παρούσα διπλωματική, για βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του σιδηροδρομικού δικτύου, ανέκυψαν πολλά θέματα που αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω. Μια πρόταση για μελλοντική έρευνα αφορά την αναλυτική καταγραφή της ισχύουσας κατάστασης σε κάθε τμήμα του Ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου. Υπολογισμός της σημερινής του χωρητικότητας και βελτιστοποίηση με χρήση της σηματοδότησης μεταβλητών τμημάτων γραμμής. Παράλληλα, θα ήταν επιθυμητή η έρευνα για εντοπισμό συρμών με μικρότερο απαιτούμενο μήκος πέδης σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιούνται σήμερα από τον ΟΣΕ. Έτσι, για τους διάφορους τύπους αμαξοστοιχιών θα επανα-υπολογιστεί η χωρητικότητα του δικτύου και αναμένεται να είναι μεγαλύτερη. Ακόμη ένα θέμα για περαιτέρω ανάλυση αποτελεί η μελέτη και εξέταση αν η προτεινόμενη μέθοδος σηματοδότησης μπορεί να εφαρμοστεί και πρακτικά στο Ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Επίσης, θα πρέπει να αναζητηθούν τα πιθανά προβλήματα και το χρηματοοικονομικό κόστος εφαρμογής της. Όπως έχει ήδη σχολιαστεί και σε προηγούμενη ενότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η βέλτιστη χωρητικότητα του σιδηροδρομικού δικτύου υπολογίστηκε με την παραδοχή ότι η ταχύτητα των συρμών είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του δρομολογίου Πλατύ – Θεσσαλονίκη και δεν μεταβάλλεται. Συνεπώς, επόμενη μελέτη θα μπορούσε να εστιάσει στον υπολογισμό της βέλτιστης χωρητικότητας με μεταβαλλόμενη ταχύτητα των συρμών (on time schedule). Τέλος, προτείνεται η πραγματοποίηση μελέτης σχετική με την δημιουργία σιδηροδρομικών γραμμών υπέρβασης σε επιλεγμένα τμήματα του δικτύου του ΟΣΕ και έρευνα στην επίδραση τους στην συνολική χωρητικότητα του δικτύου και στην χρονο-δρομολόγηση των συρμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Χρίστος Πυργίδης, «Συστήματα Σιδηροδρομικών Μεταφορών – Υποδομή – Τροχαίο Υλικό - Εκμετάλλευση», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2009
2. Γεώργιος Τσώχος, «Μαθήματα Σιδηροδρομικής», ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 1987
3. Γεώργιος Νίνος, «Η Πέδη», Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδος, Θέρμη 2005
4. Gregor Theeg – Sergej Vlasenko, «Railway Signalling & Interlocking», Eurail Press, Germany 2009
5. Δημήτριος Τσανακτσίδης, Γεώργιος Χαραλάμπους, «Υπολογισμός Χωρητικότητας Σιδηροδρομικής Γραμμής», ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2004
6. Χρίστος Πυργίδης, Μαρίνα Πετρίδου, «Εκτίμηση Κυκλοφοριακής Ικανότητας Τμημάτων του Σιδηροδρομικού Δικτύου της Βορείας Ελλάδας», ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2006
7. Melody Khadem Sameni, «Railway Track Capacity: Measuring and Managing», University of Southampton, United Kingdom 2012
8. Planning AE, «Κανονισμός λειτουργίας σιδηροδρομικού σταθμού φόρτωσης – εκφόρτωσης εμπορευμάτων & container», Βιομηχανικό Πάρκο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2008
9. Jikang Xu, Lijun Chen, Weimin Gao, Minjie Zhao, «CBTC Simulation Platform Design and Study», Scientific Research Publishing, Shanghai 2015
10. Jikang Xu, Qin Luo, «Algorithm Design and Simulation of the Urban Rail Turn-Back Capacity Based on CBTC», Scientific Research Publishing, Shenzhen 2015
11. Thales, «SelTrac CBTC For Urban Rail», Rail Signaling Solutions, Toronto 2015
12. Huber + Suhner, «CBTC Connectivity Solutions», White paper, Switzerland 2011
13. Tomoaki Tazaki, Zhengyu Li, Kazuhiro Sanjo, Kenichi Sakai, Ikuo Shimada, Hiroshi Taoka, «Development of CBTC for Global Markets», Hitachi, China 2011
14. Νικολέτα Τσουγένη, Χρίστος Πυργίδης, «Σιδηροδρομική Περιφερειακή Σύνδεση Θεσσαλονίκης – Λάρισας, Αξιολόγηση της Υφιστάμενης Κατάστασης και Προτάσεις Βελτίωσης του Επιπέδου Εξυπηρέτησης», 7^ο Συνέδριο για την έρευνα των μεταφορών, Αθήνα 2015
15. ΟΣΕ, «Εγχειρίδιο Δρομολογίων Κανονικής Γραμμής», Διεύθυνση Κυκλοφορίας Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος, Αθήνα 2011
16. Adelino Jeronimo, «Solving the Capacity Challenge – CBTC for the Metro de Madrid», Bombardier, Copenhagen 2010
17. Bombardier, «Optimizing the Flow of Trains», Rail Control Solutions, Sweden 2015
18. Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, «Γραμμικός Προγραμματισμός», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2006
19. ΟΣΕ, «Γενικός Κανονισμός Κινήσεως – Κανονισμός Σημάτων», Διεύθυνση Τεχνικής Εκμεταλλεύσεως, Αθήνα 2009
20. T. J. Ludikar, «Urban Rail Signaling for the future, now», The IET, Toronto 2010
21. Andrew Ryan, «Formal Specification of Moving Block Railway Interlocking using CASL», Swansea University, Wales 2010
22. Χριστόδουλος Κωστάκης, «Εφαρμογή των υψηλών τάσεων στην ηλεκτροκίνηση σιδηροδρομικών γραμμών ΟΣΕ», ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2009

23. ΟΣΕ, «Αναμόρφωση μελέτης συμπλέγματος συγκροτημάτων Θριασίου Πεδίου», ΟΣΕ/ΔΕΝ, Αθήνα 1995
24. Alstom Transport, «The latest revolution in very high speed trains», France 2008

