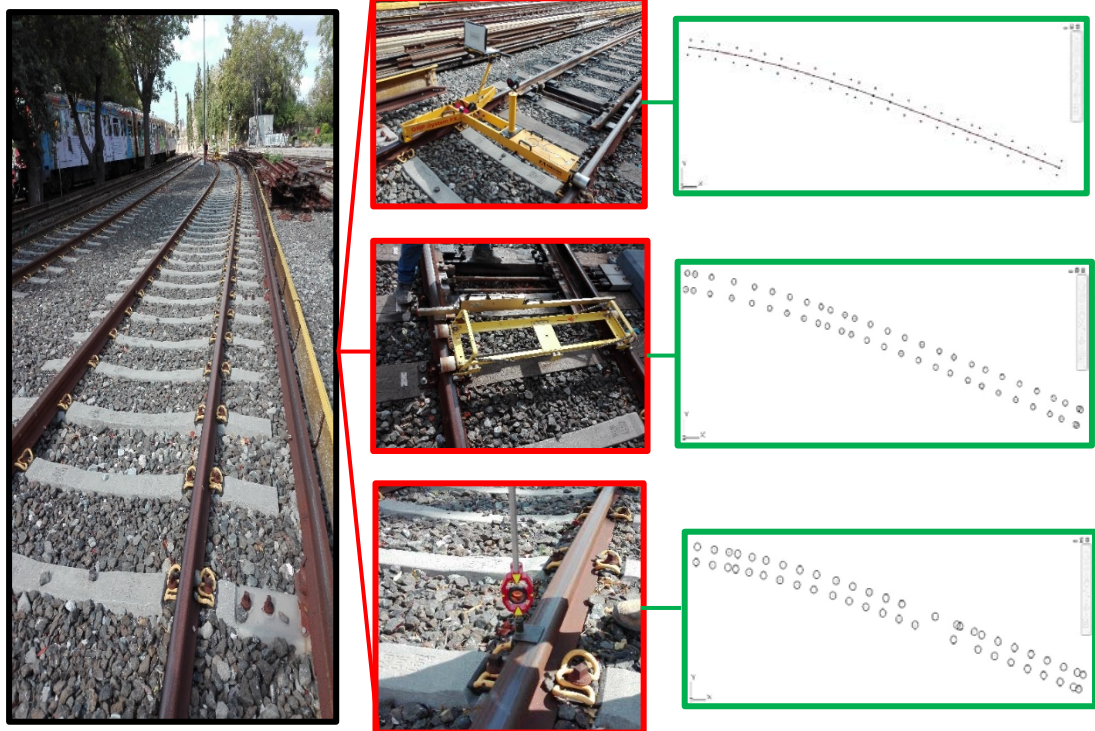




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΑΡΑΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ



Διπλωματική εργασία

Άγγελος Αϊβαλιώτης

Επιβλέπουσα: Ευαγγελία Λάμπρου
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα Ιούλιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΧΑΡΑΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ**

Διπλωματική εργασία

του

Άγγελου Αϊβαλιώτη

Επιβλέπουσα: Ευαγγελία Λάμπρου
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

(Υπογραφή)

.....
Ευαγγελία Λάμπρου
Αν. Καθηγήτρια
Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Γεώργιος Πανταζής
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Μαρία Τσακίρη
Καθηγήτρια
Ε.Μ.Π.

Αθήνα Ιούλιος 2018

(Υπογραφή)

.....

Αϊβαλιώτης Άγγελος

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Αϊβαλιώτης Άγγελος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή **κ. Γεώργιο Πανταζή** και την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια **κα. Ευαγγελία Λάμπρου** της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος, εφαρμοσμένου και πολύπλευρου θέματος, πάνω στο οποίο εξέφρασα εξ' αρχής την επιθυμία μου να μελετήσω.

Κυρίως θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για την προσπάθεια που έγινε στην εύρεση του θέματος, προσεγγίζοντας στο μέγιστο το αντικείμενο που με ενδιέφερε καθώς και για την ελευθερία λήψης αποφάσεων και πρωτοβουλιών. Οι κριτικές παρεμβάσεις τους και η καθοδήγησή τους σε συνδυασμό με τη συνέπεια και το παιδαγωγικό τους ήθος δημιούργησαν ένα περιβάλλον που ήταν ικανό να ξεπεράσει όποιες δυσκολίες παρουσιάστηκαν στα διάφορα στάδια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην εταιρεία **ΣΤΑΣΥ ΑΕ** για τη διάθεση του χώρου διεξαγωγής των μετρήσεων και την **ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ** για τη διάθεση και την παροχή του εξοπλισμού που απαιτήθηκε στις μετρήσεις.

Οφείλω και θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον **κ. Άγγελο Ζέρβα**, διπλωματούχο Αγρονόμο και τοπογράφο μηχανικό του ΕΜΠ και προϊστάμενο του τοπογραφικού τμήματος της ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ, για τη βοήθεια και την παροχή πληροφοριών και συμβουλών στα διάφορα στάδια της εργασίας όπως ακόμα και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε για να με καθοδηγήσει κατά τη διαδικασία των μετρήσεων.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ θέλω να το εκφράσω και να το αφιερώσω στην αδερφή μου **Παναγιώτα** και στους γονείς μου **Κωνσταντίνα** και **Χρήστο** που χωρίς τις θυσίες τους και την αμέριστη υποστήριξή τους δεν θα ήμουν σε θέση να ολοκληρώσω τις σπουδές μου σε αυτό το επίπεδο και να εκπληρώσω τους στόχους μου.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω το στενό μου φιλικό περιβάλλον για τη συμπαράσταση και την κατανόηση στα άγχη και τις αγωνίες μου.

Τέλος δε θα μπορούσα να παραλείψω εκείνους τους συμφοιτητές μου της ΣΑΤΜ με τους οποίους μοιράστηκα γνώσεις, ιδέες και φυσικά πολύ άγχος.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται τόσο από την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας όσο και από τις αυξημένες απαιτήσεις των ανθρώπων για άνετες και ταχείες μεταφορές. Στο πλαίσιο αυτό ο τομέας του σιδηροδρόμου καλείται να ελέγξει και να βελτιώσει τις υπάρχουσες υποδομές του και να επικεντρωθεί στην υλοποίηση καινοτόμων ιδεών και τεχνολογιών.

Στις προκλήσεις και τις ανάγκες που επιβάλλει η πραγματικότητα ο τοπογράφος μηχανικός κρίνεται ο πλέον κατάλληλος τόσο για την αποτύπωση της υπάρχουσας κατάστασης όσο και για τη δημιουργία νέων σιδηροδρομικών υποδομών.

Εξαιτίας της υψηλής ακρίβειας (~mm) που απαιτεί ο χώρος της σιδηροδρομικής ο τοπογράφος μηχανικός είναι ο μόνος που έχει το επιστημονικό υπόβαθρο να χαράξει, να αποτυπώσει και να μελετήσει την κινηματική συμπεριφορά και την παραμόρφωση σιδηροτροχιών με έναν αξιόπιστο τρόπο στο χώρο των τριών διαστάσεων.

Το ολοκληρωμένο σύστημα αποτύπωσης σιδηροτροχιών με πλήρως εξοπλισμένα αμαξίδια γραμμής είναι μία πρωτοποριακή λύση που έρχεται να προστεθεί στη "φαρέτρα" του τοπογράφου μηχανικού για τη συλλογή, επεξεργασία και εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατάσταση των υφιστάμενων σιδηροδρομικών γραμμών ή για την κατασκευή νέων.

Το σύστημα των αμαξιδίων γραμμής με την τεχνολογία <<all in one>> προσφέρει ταχύτητα, σταθερότητα, αξιοπιστία και οικονομία σε χρόνο και χρήμα ενώ δημιουργεί ένα εύληπτο και οπτικοποιημένο αποτέλεσμα εύκολα και απολύτως αξιοποιήσιμο.

Στο πλαίσιο του επιστημονικού ελέγχου ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιολόγηση των παλαιών και σύγχρονων τοπογραφικών μεθόδων για την χάραξη, την αποτύπωση και τον έλεγχο των σιδηροδρομικών γραμμών.

Η διερεύνηση της ακρίβειας, των δυνατοτήτων και των επιδόσεων των μεθόδων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση και η αξιολόγηση τριών διαφορετικών τοπογραφικών μεθόδων αποτύπωσης σιδηροτροχιών ως προς την ακρίβεια, το κόστος, τον χρόνο και το βαθμό δυσκολίας στην εφαρμογή τους.

Η διερεύνηση αυτή έγινε τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά εφαρμόζοντας την κάθε μία μέθοδο στο πεδίο.

Η εργασία αποσκοπεί στην παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τοπογραφικές εργασίες σιδηροδρόμων και στην καθοδήγηση της επιλογής μίας από αυτές αναλόγως του κόστους και του χρόνου που διατίθενται καθώς και τη απαιτούμενη ακρίβεια.

Η εργασία αποτελείται από τα έξι κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση της σιδηροδρομικής υποδομής, των μερών από τα οποία αποτελείται και μία εκτενέστερη αναφορά στην επιδομή με έρμα και τη σταθερή επιδομή. Παράλληλα διεξάγεται μια ανασκόπηση στην εξέλιξη των σιδηροδρόμων των τελευταίων δεκαετιών και μία αναφορά στις μελλοντικές βλέψεις του τομέα των σιδηροδρόμων, καθοδηγούμενων από την αλματώδη τεχνολογική ανάπτυξη και την αύξηση των ανθρώπινων απαιτήσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες που πραγματοποιούνται στο χώρο του σιδηροδρόμου και η συμβολή του τοπογράφου μηχανικού στον κλάδο της σιδηροδρομικής. Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στον τρόπο ίδρυσης, σήμανσης και μέτρησης των γεωδαιτικών δικτύων που περιβάλλουν κάθε τεχνικό έργο και είναι καθοριστικής σημασίας τόσο κατά το στάδιο της κατασκευής όσο και κατά το στάδιο του γεωμετρικού ελέγχου και αξιολόγησης της γραμμής.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρεις υπό μελέτη μέθοδοι χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών. Συγκεκριμένα αναλύονται οι μέθοδοι του GRP, του συμβατικού τρόλεϋ και των γωνιών και παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των τριών αυτών διαφορετικών μεθόδων χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία αποτύπωσης σιδηροτροχιών τμήματος της Γραμμής 1 της ΣΤΑ.ΣΥ, στο χώρο εναπόθεσης συρμών του Θησείου, με τις τρεις μεθόδους. Γίνεται αναφορά στο γεωδαιτικό εξοπλισμό που απαιτήθηκε σε κάθε μία περίπτωση και στη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την αποτύπωση της σιδηροδρομικής γραμμής καθώς και η μετέπειτα επεξεργασία των μετρήσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων με γραφικό και αναλυτικό τρόπο. Η σύγκριση αφορά τόσο τις ακρίβειες που επιτυγχάνει κάθε μέθοδος όσο και το κόστος και τον χρόνο που απαιτείται για κάθε μία από αυτές. Επίσης

αξιολογείται η γεωμετρία της υφιστάμενης κατάστασης της γραμμής που αποτυπώθηκε.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τις επιδόσεις κάθε μίας μεθόδου και διατυπώνονται προτάσεις βελτίωσής τους.

ABSTRACT

Evaluation of railways' stake out and survey methods

The subject of the following bachelor's thesis is the comparison and the evaluation of three different topographic surveying methods for railways as far as it concerns the accuracy, the cost, the time and the degree of difficulty in their application.

This investigation happened both theoretically and practically by applying each method in the field.

The aim of this project is to present the methods which are used for the railway topographical works and the guidance of the choice of one of them, proportionately to the cost and the time that are available and the required precision.

The thesis is composed of the six chapters:

In the first chapter, the railway infrastructure and the parts of which it is composed are analyzed and a more thorough reference to the ballast benefit and the fixed ballast are made. At the same time, a review is being carried out on the evolution of the railways throughout the last decades and a reference to the future aspirations of the rail sector, guided by the rapid technological development and the increase in human requirements.

In the second chapter, all the work done in the railway sector and the contribution of a topographer in the railway sector are presented analytically. Moreover, an extensive reference is made to the way in which the geodetic networks surrounding each technical project are established, marked and measured, and is of crucial importance both during the construction phase and during the course of the geometric control and evaluation of the line.

In the third chapter, the three under study methods of engraving and tracking of iron tracks are described. Specifically, the method of GRP, of the conventional trolley and the angles are analyzed and the characteristics of these three different engraving and tracing methods are presented analytically.

In the fourth chapter the process of engraving the rails, of a part of Line 1 of STASY, at the Thissio Trains depositing area, with the three methods is described. There is also reference to the geodetic equipment required in each case and to the procedure which is followed for the tracking of the track and the subsequent processing of the measurements.

In the fifth chapter evaluation and comparison of the results of the three methods are carried out in a graphic and analytical way. The comparison concerns both to the accuracy which is achieved by each

method and the cost and time which are required for each one of them. Moreover, the geometry of the current state of the line being imprinted is evaluated.

Finally, in the sixth chapter, conclusions about the performance of each method are drawn and proposals for their improvements are formulated.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	V
ABSTRACT	VII
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IX
ΠΙΝΑΚΕΣ	XI
ΕΙΚΟΝΕΣ	XI
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	XIII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΠΕΡΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	5
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	5
1.2 Περιγραφή σιδηροδρομικής Γραμμής.....	11
1.2.1 Υποδομή Σιδηροδρομικής Γραμμής.....	16
1.2.2 Επιδομή Σιδηροδρομικής Γραμμής.....	17
1.2.2.1 Σταθερή επιδομή	18
1.4 Αστοχίες σιδηροδρομικών	22
1.5 Το μέλλον των σιδηροδρόμων	24
1.6 Αντικείμενο της εργασίας.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ	27
2.1 Η κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών	27
2.2 Η εξέλιξη των γεωδαιτικών μεθόδων στη σιδηροδρομική.....	28
2.3 Απαιτήσεις σιδηροτροχιών σταθερής επιδομής	34
2.4 Χάραξη και Αποτύπωση επιδομής	36
2.5 Μεθοδολογία χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών	39
2.5.1 Χάραξη σιδηροτροχιών	40
2.5.2 Αποτύπωση σιδηροτροχιών.....	45
2.6 Τα γεωδαιτικά δίκτυα των σιδηροδρομικών έργων	47
2.7 Προδιαγραφές RAIL.ONE (RHEDA 2000 system).....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ	53
3.1 Γενικά.....	53
3.2 Μέθοδος τρόλεϋ GRP	53

3.3 Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ	62
3.4 Συμβατική τοπογραφική μέθοδος με γωνιές	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	69
4.1 Εκτέλεση μετρήσεων.....	69
4.2 Προετοιμασία	73
4.3 Μέθοδος GRP.....	78
4.4 Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ	80
4.5 Μέθοδος γωνιάς.....	82
4.6 Επεξεργασία μετρήσεων.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΑΡΑΞΗΣ –	
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ...	91
5.1 Σύγκριση μεθόδων με γραφικό τρόπο	91
5.2. Σύγκριση μεθόδων με αναλυτικό τρόπο.....	99
5.2.4 Σύγκριση μεθόδων ως προς το εύρος και την υπερύψωση	110
5.2.4.1 Εύρος γραμμής	111
5.2.4.2 Υπερύψωση γραμμής	114
5.3 Σφάλματα γραμμής.....	118
5.4 Αξιολόγηση γεωμετρίας γραμμής	120
5.5 Χρόνος.....	124
5.6 Κόστος.....	125
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	127
6.1 Συμπεράσματα.....	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131
ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	133

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1	Ανοχές εύρους γραμμής.....	13
Πίνακας 1.2:	Σύγκριση σταθερής επιδομής με σκυρογραμμή.....	21
Πίνακας 3.1:	Σύγκριση παλαιάς (optical) με σύγχρονες μεθόδους ελέγχου γεωμετρίας γραμμής	59
Πίνακας 4.1:	Συντεταγμένες ελεύθερης στάσης.....	77
Πίνακας 4.2:	Ακρίβειες μεθόδων στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων λεπτομερειών οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.....	89
Πίνακας 5.1:	Σύγκριση των τριών μεθόδων οριζοντιογραφικά με γραφικό τρόπο.....	93
Πίνακας 5.2:	Σύγκριση των τριών μεθόδων υψομετρικά με γραφικό τρόπο	95
Πίνακας 5.3:	Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς αναφοράς	105
Πίνακας 5.4:	Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς μη αναφοράς	105
Πίνακας 5.5:	Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου με τη χρήση ομόλογων σημείων σιδηροτροχιάς αναφοράς.....	108
Πίνακας 5.6:	Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου με τη χρήση ομόλογων σημείων σιδηροτροχιάς μη αναφοράς.....	108
Πίνακας 5.7:	Έλεγχος συντελεστών ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς αναφοράς	109
Πίνακας 5.8:	Έλεγχος συντελεστών ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς μη αναφοράς	110
Πίνακας 5.9:	Μετρήσεις εύρους με το GRP, το YELLOW TROLEY και τις ΓΩΝΙΕΣ.....	112
Πίνακας 5.10:	Στατιστικός έλεγχος συμφωνίας μεθόδων ως προς το εύρος	113
Πίνακας 5.11:	Μετρήσεις υπερύψωσης με το GRP, το YELLOW TROLEY και τις ΓΩΝΙΕΣ	116
Πίνακας 5.12:	Στατιστικός έλεγχος συμφωνίας μεθόδων ως προς την υπερύψωση... ..	117
Πίνακας 5.13:	Επιτρεπόμενες γεωμετρικές αποκλίσεις σιδηροτροχιών στην περίπτωση σκυρογραμμής και σταθερής επιδομής	123
Πίνακας 5.14:	Απαιτούμενος χρόνος αποτύπωσης με τις 3 μεθόδους	124
Πίνακας 5.15:	Κόστος εξοπλισμού των 3 μεθόδων.....	125
Πίνακας 6.1:	Ταξινόμηση των μεθόδων αποτύπωσης - χάραξης ως προς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά για την επιλογή τους	127

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1	Ατμομηχανή "Rocket", 1829.....	5
Εικόνα 1.2:	Πλάτος σιδηροτροχιών σε διάφορες χώρες.....	6
Εικόνα 1.3:	"Shinkansen", Ιαπωνία 1964 (Γέννηση ΤΥΤ).....	7
Εικόνα 1.4:	Τρένο υψηλών ταχυτήτων Eurostar class 374 (2015)	9
Εικόνα 1.5:	Χρονολογική εξέλιξη σιδηροδρόμων	11
Εικόνα 1.6:	Ετήσιος φόρτος επιβατών σε ΤΥΤ και αερομεταφορές.....	11
Εικόνα 1.7:	Αρχή λειτουργίας σιδηροδρόμου	12
Εικόνα 1.8:	Ορισμός εύρους γραμμής ΗΣΑΠ.....	12
Εικόνα 1.9:	Σημεία μέτρησης υψομέτρου και οριζοντιογραφικής θέσης πάνω στη σιδηροτροχιά	12
Εικόνα 1.10:	Υπερύψωση h	13
Εικόνα 1.11:	Διατομή σκυρογραμμής	16
Εικόνα 1.12:	Μεταβίβαση φορτίων από τη σιδηροτροχιά στο έδαφος	18
Εικόνα 1.13:	Διατομή σταθερής επιδομής.....	19

Εικόνα 1.14: Σκυρογραμμή (αριστερά), Σταθερή επιδομή (δεξιά)	19
Εικόνα 1.15: Συνήθεις μορφές φθοράς σε τροχιές και σιδηροτροχιές.....	23
Εικόνα 2.1: Μετρητής εύρους γραμμής (gauge bar) και μετρητής υπερύψωσης γραμμής (το όργανο που βρίσκεται πάνω από τον μετρητή εύρους) της εταιρίας Robel.....	31
Εικόνα 2.2: Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο των γωνιών.....	32
Εικόνα 2.3: Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο του τρόλεϋ GRP της εταιρίας Amberg Rail Technologies	32
Εικόνα 2.4: Τοπογραφικές εργασίες στο χώρο του σιδηροδρόμου	37
Εικόνα 2.5: Ανύψωση και τοποθέτηση στρωτήρων και σιδηροτροχιών	41
Εικόνα 2.6: Εργασίες προσαρμογής της γραμμής μέσω κοχλίων και με τη χρήση του συστήματος GRP	42
Εικόνα 2.7: Εργασίες χάραξης και προσαρμογής σιδηροτροχιών με τη βοήθεια του αντίστοιχου λογισμικού	42
Εικόνα 2.8: Κοχλίας μικροπροσαρμογής σιδηροτροχιών κατά τις εργασίες της χάραξης	43
Εικόνα 2.9: Στιγμιότυπο λογισμικού χάραξης γραμμής της εταιρίας Amberg Technologies	45
Εικόνα 2.10: Αμαξίδιο χάραξης-αποτύπωσης σιδηροτροχιών της εταιρίας Amberg Technologies	46
Εικόνα 3.1: Αποθήκευση του GRP χάρη στον αρθρωτό σχεδιασμό του.....	54
Εικόνα 3.2: Το σύστημα GRP 1000 έτοιμο για αποτύπωση γραμμής.....	54
Εικόνα 3.3: Πλατφόρμα GRP System FX.....	56
Εικόνα 3.4: Πλατφόρμα GRP με πιθανούς συνδυασμούς οργάνων (GRP 1000, GRP 3000, GRP 5000)	57
Εικόνα 3.5: Διαδικασία κατασκευής σταθερής επιδομής με το σύστημα GRP 1000	60
Εικόνα 3.6: Διαδικασία ελέγχου σκυρογραμμής με το σύστημα GRP 1000.....	61
Εικόνα 3.7: Διαδικασία αποτύπωσης γραμμής με το σύστημα GRP 1000	61
Εικόνα 3.8: Διαδικασία αξιολόγησης γεωμετρίας γραμμής με το σύστημα GRP 1000..	62
Εικόνα 3.9: Συμβατικό αμαξίδιο γραμμής και όργανα μέτρησης υπερύψωσης και εύρους γραμμής.....	63
Εικόνα 3.10: Συμβατικό τρόλεϋ (αμαξίδιο) σε εργασίες αποτύπωσης σκυρογραμμής .	63
Εικόνα 3.11: Μέτρηση εύρους γραμμής	64
Εικόνα 3.12: Σύνολο οργάνων για την αποτύπωση γραμμής με τη μέθοδο του συμβατικού αμαξιδίου	64
Εικόνα 3.13: Κατάφωτο σκόπευσης πακτωμένο σε σταθερή θέση πάνω στο αμαξίδιο	65
Εικόνα 3.14: Σύστημα αμαξιδίου GRP και συμβατικού αμαξιδίου σε εργασίες αποτύπωσης σκυρογραμμής	66
Εικόνα 3.15: Πάκτωση γωνιάς πάνω στη σιδηροτροχιά	67
Εικόνα 3.16: Κατάφωτο προσαρμοσμένο στη γωνιά για την αποτύπωση γραμμής με τη μέθοδο των γωνιών.....	67
Εικόνα 3.17: Πάκτωση γωνιάς στην κατάλληλη θέση για λήψη μέτρησης	68
Εικόνα 4.1: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων.....	69
Εικόνα 4.2: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων (Χώρος εναπόθεσης σταθμού Θησειό).....	70
Εικόνα 4.3: Πιστοποίηση εισόδου και εργασίας επί ή πλησίον της τροχιάς εντός των αμαξοστασίων της Γραμμής 1.....	71
Εικόνα 4.4: Αίτηση-Άδεια εισόδου σε ελεγχόμενους χώρους της Γραμμής 1 επί και πλησίον της γραμμής	72
Εικόνα 4.5: Τοποθετημένος βραχυκυκλωτήρας κατά τη διάρκεια εργασιών στο χώρο της γραμμής.....	72
Εικόνα 4.6: Εγκεκριμένες διαβάσεις	73

Εικόνα 4.7: Τμήμα γραμμής που αποτυπώθηκε	74
Εικόνα 4.8: Διάταξη γνωστών σημείων για τον προσδιορισμό της ελεύθερης στάσης οργάνου	76
Εικόνα 4.9: Στόχοι για την πύκνωση του δικτύου με τη μέθοδο της ελεύθερης στάσης	76
Εικόνα 4.10: Βασικές αρχές πλατφόρμας GRP	79
Εικόνα 4.11: Τελευταία (οριακή) θέση μέτρησης με το GRP για αποφυγή σφαλμάτων λόγω μεγάλων κατακόρυφων γωνιών.....	79
Εικόνα 4.12: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο GRP	80
Εικόνα 4.13: Συμβατικό τρόλεϋ και όργανα μέτρησης εύρους και υπερύψωσης γραμμής	81
Εικόνα 4.15: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ	81
Εικόνα 4.15: Μέτρηση με τη μέθοδο της γωνιάς.....	82
Εικόνα 4.16: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο της γωνιάς	83
Εικόνα 4.17: Υπολογισμός αβεβαιότητας GRP.....	84
Εικόνα 4.18:Υπολογισμός αβεβαιότητας συμβατικού τρόλεϋ	86
Εικόνα 4.19: Υπολογισμός αβεβαιότητας μεθόδου γωνιάς.....	88
Εικόνα 5.1: Επιλογή θέσης τομών για τη γραφική σύγκριση των μεθόδων αποτύπωσης.....	91
Εικόνα 5.2: Συγκριτική παρουσίαση τομών με τις 3 μεθόδους	92
Εικόνα 5.3: Οριζοντιογραφικές διαφορές Δd μεταξύ των διαφόρων μεθόδων στην ίδια τομή	92
Εικόνα 5.7:Τμήμα σιδηροτροχιάς που μελετήθηκε	99
Εικόνα 5.4: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο του GRP.....	101
Εικόνα 5.5: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ.....	101
Εικόνα 5.6: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο της γωνιάς.....	102
Εικόνα 5.8: Προσαρμογή στατιστικής αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο του GRP	103
Εικόνα 5.9: Προσαρμογή στατιστικής αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο του YELLOW TROLEY	103
Εικόνα 5.10: Προσαρμογή στατιστικής αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο της ΓΩΝΙΑΣ.....	103
Εικόνα 5.11: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο του GRP	107
Εικόνα 5.12: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο του YELLOW TROLEY	107
Εικόνα 5.13: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο της ΓΩΝΙΑΣ	107
Εικόνα 5.14: Ζώνη συγκόλλησης και άκρα σιδηροτροχιάς.....	120
Εικόνα 5.15: Θλάση γραμμής από την τοποθέτηση αμφιδέτη	121

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα οριζοντιογραφικών διαφορών των τριών μεθόδων.....	96
Διάγραμμα 5.2: Διάγραμμα υψομετρικών διαφορών των τριών μεθόδων	97
Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα συμφωνίας μεθόδων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. 98	
Διάγραμμα 5.4: Διάγραμμα εύρους γραμμής με τις τρεις μεθόδους και σύγκριση με το θεωρητικό εύρος	111
Διάγραμμα 5.5: Διάγραμμα υπερύψωσης γραμμής με τις τρεις μεθόδους και σύγκριση με τη θεωρητική υπερύψωση	115

Διάγραμμα 6.1: Πολυκριτηριακή σύγκριση των τριών μεθόδων 128

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύνορα ανοίγουν, τα κέντρα οικονομικής δραστηριότητας εξαπλώνονται, οι άνθρωποι και τα αγαθά χρήζουν συχνότερων και ταχύτερων μεταφορών. Ο σιδηρόδρομος γίνεται ξανά το επίκεντρο της προσοχής ως ένα ιδανικό μέσο μαζικής μεταφοράς, αναντικατάστατο για μεταφορές επιβατών και προϊόντων.

Οι σιδηροδρομικοί οργανισμοί, οι χειριστές, οι εταιρίες κατασκευής και σχεδιασμού σιδηροτροχιών και ειδικά τα συνεργεία μηχανικών είναι οι βασικές και αναγκαίες προϋποθέσεις για την κατασκευή και τη συντήρηση των σιδηροδρομικών δικτύων. *[Amberg technologies AG, 2007]*

Ο σιδηρόδρομος παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα σε σχέση με άλλα μέσα μεταφοράς επιβατών και φορτίων. *[Λυμπερης Κ., 2011]*

Τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι:

- Κατανάλωση λιγότερης ενέργειας για την παραγωγή του ίδιου μεταφορικού έργου (εξαιτίας της μικρής πρόσφυσης τροχού-σιδηροτροχιάς)
- Δυνατότητα όλο και μικρότερου χρόνου μεταφοράς (τα σύγχρονα τρένα υψηλών ταχυτήτων ανταγωνίζονται τις αερομεταφορές μέχρι αποστάσεις 600km)
- Μικρότερο εύρος κατάληψης χώρου σε σχέση με έναν αυτοκινητόδρομο
- Δυνατότητα αυτοματισμών
- Φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς
- Ασφαλής κυκλοφορία σχεδόν με όλες τις καιρικές συνθήκες (εκτός ισχυρών χιονοπτώσεων)
- Ασφαλής και άνετη μετακίνηση επιβατών
- Δυνατότητα ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων
- Δυνατότητα αξιοποίησης χρόνου μεταφοράς από τους επιβάτες
- Χαμηλό ποσοστό ατυχημάτων
- Μειωμένες εκπομπές ρύπων

Ωστόσο υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως:

- Αυξημένο κόστος αγοράς ή κατασκευής
- Μεγάλο μήκος πέδησης σε περίπτωση έκτακτης επιβράδυνσης
- Μεγάλη επιφάνεια σταθμών
- Δυσκολία υπέρβασης και διασταύρωσης συρμών

- Πολυδάπανες εγκαταστάσεις παροχής ενέργειας και τεχνικά έργα (σήραγγες, γέφυρες κλπ.)

Επειδή τα πλεονεκτήματα του σιδηροδρόμου υπερτερούν έναντι των μειονεκτημάτων του, ενθαρρύνεται συνεχώς η ανάπτυξη του, δίνοντας έμφαση τα τελευταία χρόνια στις μεταφορές υψηλών ταχυτήτων.

Ο σιδηρόδρομος, ανταγωνίζεται συχνά τις οδικές και εναέριες μεταφορές. Στην περίπτωση των εναέριων είναι προφανές ότι προσφέρουν ευκολία καθώς δεν απαιτείται η κατασκευή δικτύου μεταφορών.

Ωστόσο, στην περίπτωση των οδικών μεταφορών δε φαίνεται να ισχύει το ίδιο. Σε μία σύγκριση του κόστους σιδηροδρομικών και οδικών μεταφορών παρατηρείται ότι συνήθως το μέσο κόστος κατασκευής μιας σιδηροδρομικής γραμμής ανά γραμμή και χιλιόμετρα είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός αυτοκινητοδρόμου ανά λωρίδα και χιλιόμετρα. Η διαφορά αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι μία σιδηροδρομική γραμμή απαιτεί περισσότερα τεχνικά έργα (π.χ. σήραγγες, γέφυρες) από ότι ένας αυτοκινητόδρομος εξαιτίας των πολύ μικρών κατά μήκος κλίσεων και καμπυλοτήτων που εφαρμόζονται.

Ωστόσο όταν ο βαθμός πολυπλοκότητας της χάραξης είναι ίδιος στα δύο αυτά έργα, δηλαδή απαιτείται το ίδιο πλήθος μεγάλων τεχνικών έργων, το κόστος κατασκευής μιας σιδηροδρομικής γραμμής και ενός αυτοκινητοδρόμου πλησιάζουν σημαντικά. Συνεπώς όταν η τοπογραφία της χάραξης είναι ομαλή και δεν έχει μεγάλες υψομετρικές διαφορές, που να δικαιολογούν έργα όπως σήραγγες και γέφυρες, το κόστος κατασκευής μιας σιδηροδρομικής γραμμής και κυρίως τα κόστη χωματισμών και υποδομής είναι ίδια με τα αντίστοιχα ενός αυτοκινητοδρόμου ισάριθμων λωρίδων όσες και οι σιδηροδρομικές γραμμές. Επίσης στη διαμόρφωση του κόστους των δύο αυτών έργων παίζουν σημαντικό ρόλο οι κανονισμοί που εφαρμόζονται από το κάθε κράτος και η εκάστοτε κρατική πολιτική σε σχέση με τις υποδομές. *[Αλαμάνος Γ., 2017]*

Σε ότι αφορά στη λειτουργία ενός σιδηροδρόμου και το κατά πόσο αυτή είναι επιτυχημένη ή όχι, εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη αξιόπιστων δεδομένων. Οι διάφορες υποδομές του σιδηροδρόμου απαιτούν διαχείριση, τακτικούς ελέγχους ποιότητας κατά την κατασκευή και συντήρηση καθώς και συνεχή πληροφόρηση σχετικά με την κατάσταση και τις απαιτήσεις του δικτύου. Αυτά είναι σημαντικά στοιχεία για μια ασφαλή, λειτουργική και αποτελεσματική υποδομή μεταφορών.

Ένα βέλτιστο σιδηροδρομικό σύστημα σημαίνει:

- Μεγάλη ασφάλεια
- Ελάχιστη συντήρηση
- Υψηλές ταχύτητες

- Μεγάλη συχνότητα δρομολογίων
- Ελάχιστες καθυστερήσεις
- Μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα
- Υψηλό κέρδος

Ωστόσο, δεν είναι μόνο οι απαιτήσεις που αφορούν στις υποδομές, αλλά και αυτές που αφορούν στις τοπογραφικές μελέτες. Καινοτόμες τοπογραφικές εταιρείες ανταποκρίνονται σε αυτές τις απαιτήσεις κάνοντας χρήση τοπογραφικού εξοπλισμού τελευταίας τεχνολογίας, προσαρμοσμένο στις ανάγκες του σιδηροδρόμου.

Ο αποτελεσματικός και ευέλικτος τοπογραφικός εξοπλισμός εξασφαλίζει τη μέγιστη ανταγωνιστικότητα στον κλάδο.

Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα ενός τοπογραφικού εξοπλισμού προκύπτουν από:

- Την τεχνολογία «All in one», η οποία συνδυάζει ευρύ φάσμα λειτουργιών για μέγιστη αποτελεσματικότητα και ελαχιστοποίηση του κόστους
- Αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο «Real time»
- Ευελιξία στην εφαρμογή και τη χρήση
- Εύληπτη απεικόνιση αποτελεσμάτων

Οι σύγχρονες τοπογραφικές λύσεις μπορούν να οδηγήσουν ένα έργο σε οικονομική επιτυχία μέσω:

- Της υψηλής ακρίβειας της γεωμετρίας της γραμμής
- Της μέγιστης αποτελεσματικότητας, ποιότητας και αξιοπιστίας
- Της ευελιξίας του συστήματος
- Της συλλογής ολοκληρωμένων χωρικών δεδομένων της υφιστάμενης κατάστασης της γραμμής

Οι σιδηροδρομικές εταιρείες για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία των δικτύων τους απαιτούν την ύπαρξη σωστής γεωμετρίας και τη γνώση της θέσης των αντικειμένων του περιβάλλοντος χώρου της τροχιάς. Η κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών, η συντήρηση και ο έλεγχος του περιτυπώματος (ελεύθερος εμποδίων χώρος διέλευσης συρμών) αποτελούν από τα σημαντικότερα και δαπανηρά αντικείμενα του τομέα διαχείρισης υποδομών.

Έτσι λοιπόν, τεχνικές οι οποίες επιτυγχάνουν υψηλές ακρίβειες, είναι ευέλικτες στην εφαρμογή τους και γενικά επιταχύνουν τη διαδικασία κατασκευής, συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση του κόστους και επομένως προτιμώνται έναντι άλλων παλαιότερων διαδικασιών. **[Amberg technologies AG, 2007]**

Από την άλλη, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για μετρήσεις υψηλής ακριβείας σε σύντομο χρονικό διάστημα έχουν προκαλέσει τον αποκλεισμό πολλών γεωδαιτικών οργάνων από το χώρο του σιδηροδρόμου.

Συνοψίζοντας, στα έργα του σιδηροδρομικού δικτύου εισάγονται όλο και περισσότεροι αυτοματισμοί, οι οποίοι μπορεί να βρίσκουν εφαρμογή από τις τοπογραφικές εργασίες χάραξης και αποτύπωσης της γραμμής έως τη σηματοδότηση του δικτύου.

Τα παράγωγα των τοπογραφικών μεθόδων είναι μείζονος σημασίας για το χώρο του σιδηροδρόμου καθώς εξασφαλίζουν ασφάλεια και άνεση στις μετακινήσεις των επιβατών.

Ο γεωμετρικός έλεγχος των γραμμών πρέπει να γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με μεθόδους που εξασφαλίζουν ακρίβεια πολλές φορές καλύτερη και από 1 mm.

Η τοπογραφική διαδικασία που μέχρι πρότινος εφαρμοζόταν για την αποτύπωση και χάραξη των τροχιών στηριζόταν στον οριζοντιογραφικό και υψομετρικό προσδιορισμό ενός σημείου, ως δύο ξεχωριστές διαδικασίες.

Ο προσδιορισμός της θέσης οριζοντιογραφικά γινόταν με τη βοήθεια ενός θεοδόλιχου και ενός πρίσματος ενώ υψομετρικά με τη χρήση ενός χωροβάτη και σταδίων.

Τα τελευταία χρόνια αυτή η μέθοδος έχει αντικατασταθεί από τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου με πολικές συντεταγμένες σε τρεις διαστάσεις με τη χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών υψηλής ακριβείας.

Η ευκολία που προσφέρουν τα σύγχρονα τοπογραφικά συστήματα στις εργασίες χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών στάθηκε η αφορμή για τη διατύπωση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η αξιολόγηση των συστημάτων αυτών καθώς και η σύγκριση τους με παλαιότερες μεθόδους γίνεται τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο με τη διεξαγωγή μετρήσεων πεδίου σε πραγματικές συνθήκες. Τα συμπεράσματα που εξάγονται αφορούν στη σύγκριση της ακριβείας, του κόστους και του χρόνου που απαιτείται με τις διάφορες μεθόδους και όργανα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τοπογραφικές εργασίες στο χώρο του σιδηροδρόμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

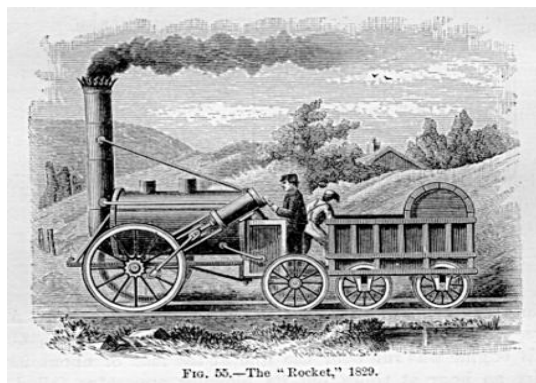
ΠΕΡΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Μια πρόιμη μορφή των σημερινών σιδηροδρόμων φαίνεται να πρωτοεμφανίστηκε περί τον 16ο αιώνα στην Ευρωπαϊκή ήπειρο για τις ανάγκες των ορυχείων (πχ. Leberthal Αλσατίας (1550)). Ωστόσο, σε αυτό το πρώτο στάδιο η “κινητήρια” δύναμη προερχόταν είτε από ανθρώπους είτε από άλογα και όχι από μηχανοκίνητη μονάδα, κάτι που έγινε μετά το 1804 οπότε και εμφανίστηκε η ατμοκίνητη κινητήρια μονάδα για πρώτη φορά στην Ουαλία.

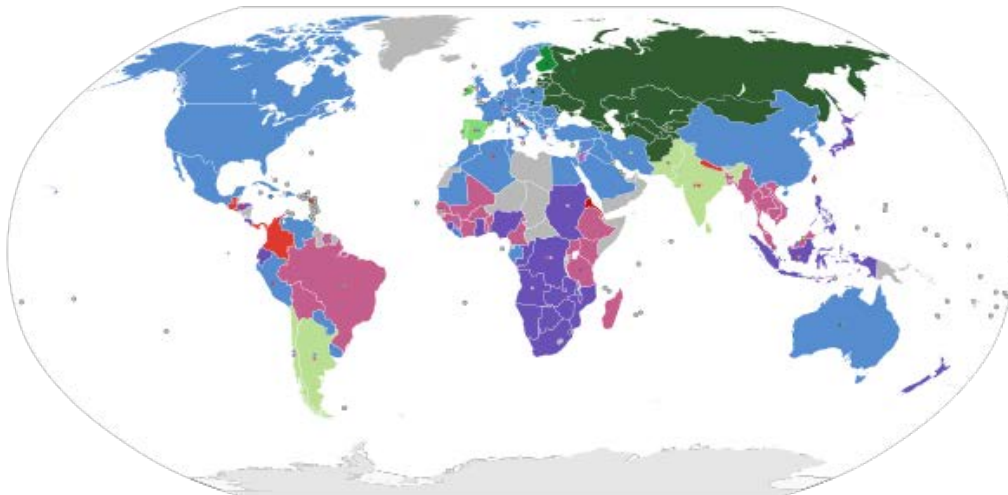
Έτσι ο σιδηρόδρομος μετά από πλήθος διορθώσεων και βελτιώσεων του αρχικού σχεδιασμού της ατμομηχανής άρχισε να κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος ως μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων, αρχικά, και επιβατών, στη συνέχεια.

Το 1829 κατασκευάστηκε η ατμομηχανή “Rocket” (εικόνα 1.1), η οποία εισήχθη στο σιδηρόδρομο Λίβερπουλ – Μάντσεστερ και θεωρείται η αφετηρία της εποχής των σιδηροδρόμων.



Εικόνα 1.1 Ατμομηχανή "Rocket", 1829 [<https://gr.pinterest.com>]

Αξίζει να αναφερθεί ότι στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες και σε μεγάλο μέρος της Αμερικής το πλάτος μεταξύ των σιδηροτροχιών υιοθετήθηκε να είναι 1.435 m, κάτι που ωστόσο δεν εφαρμόστηκε σε χώρες όπως η Ρωσία, η Φιλανδία και η Ισπανία για διάφορους λόγους (εικόνα 1.2).



Minimum			
	Fifteen inch	381 mm (15 in)	
Narrow			
	597 mm (1 ft 11½ in)		
600 mm,	600 mm (1 ft 11⅝ in)		
Two foot	603 mm (1 ft 11¾ in)		
	610 mm (2 ft)		
750 mm,	750 mm (2 ft 5½ in)		
Bosnian,	760 mm (2 ft 5⅝ in)		
Two foot six inch,	762 mm (2 ft 6 in)		
800 mm	800 mm (2 ft 7½ in)		
Swedish three foot,	891 mm (2 ft 11⅜ in)		
900 mm,	900 mm (2 ft 11⅞ in)		
Three foot	914 mm (3 ft)		
Metre	1,000 mm (3 ft 3⅞ in)		
Three foot six inch,	1,067 mm (3 ft 6 in)		
Cape, CAP, Kyōki			
Four foot six inch	1,372 mm (4 ft 6 in)		
	Standard	1,435 mm (4 ft 8½ in)	
	Broad		
	Russian,	1,520 mm (4 ft 11 ²⁷ / ₃₂ in)	
	Five foot	1,524 mm (5 ft)	
	Irish	1,600 mm (5 ft 3 in)	
	Iberian	1,668 mm (5 ft 5 ²¹ / ₃₂ in)	
	Indian	1,676 mm (5 ft 6 in)	
	Six foot	1,829 mm (6 ft)	
	Brunel	2,140 mm (7 ft ¼ in)	

Εικόνα 1.2: Πλάτος σιδηροτροχιών σε διάφορες χώρες [<https://en.wikipedia.org>]

Μέχρι το 1900 οι κινητήριες μονάδες χρησιμοποιούσαν τη δύναμη του ατμού (από καύση κάρβουνου και την ατμοποίηση υγρού στοιχείου (νερό)). Στις αρχές του 20ου αιώνα εμφανίστηκαν οι πρώτες ηλεκτροκίνητες μονάδες, ενώ από τα μέσα του 20ου αιώνα οι νηξελο-ηλεκτρικές κινητήριες μονάδες είχαν αντικαταστήσει μεγάλο μέρος των ατμοκίνητων σε πολλά σιδηροδρομικά δίκτυα. [Καλτσούνης Α., Βυθούλας Π., 2009]

Παρόλη την εξέλιξη του σιδηροδρόμου από τον 19^ο έως τον 20^ο αιώνα, η εξάπλωση του ιδιωτικού αυτοκινήτου και της αεροπλοΐας στα μέσα του

20^ο αιώνα επέφερε καίριο πλήγμα στον τομέα του τρένου με αποτέλεσμα τον περιορισμό των σιδηροδρόμων κυρίως στη μεταφορά μη συσκευασμένων φορτίων. Εκείνη την εποχή, έγινε μεγάλη προσπάθεια στο χώρο του σιδηροδρόμου προκειμένου να επανέλθει η δημοτικότητα του, κυρίως με βελτιώσεις και εισαγωγή καινοτόμων ιδεών. Μία τέτοια ιδέα ήταν και η δημιουργία Τρένων Υψηλών Ταχυτήτων.

Για την αντιστάθμιση του χαμένου εδάφους, ο τομέας της σιδηροδρομικής υπό την πίεση του ανταγωνισμού των αυτοκινητοδρόμων και των εναέριων μεταφορών επιδόθηκε σε έναν αγώνα βελτιώσεων και εξελίξεων. Τέτοιες εξελίξεις ήταν η βελτιστοποίηση της ηλεκτροκίνησης από άποψη οικονομίας και απόδοσης, ο κεντρικός έλεγχος των σιδηροδρόμων, η παρακολούθησή τους σε πραγματικό χρόνο κ.α. Μέσα στο πλαίσιο του ανταγωνισμού αυτού εμφανίστηκαν το 1964 και τα Τρένα Υψηλών Ταχυτήτων (TYT) (εικόνα 1.3), τα οποία στη συνέχεια γνώρισαν μεγάλη αποδοχή και ακόμη και σήμερα συνεχίζουν να εξελίσσονται και να βελτιώνονται, με δίκτυο που συνεχίζει να επεκτείνεται παγκοσμίως.



Εικόνα 1.3: "Shinkasen", Ιαπωνία 1964 (Γέννηση TYT)
[<http://www.japantimes.co.jp>]

Από τα πρώτα χρόνια του σιδηρόδρομου κατά τη διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης στις **αρχές του 19^{ου} αιώνα**, η ταχύτητα των επιβατηγών τρένων ήταν βασικό σημείο ανταγωνισμού όχι μόνο με άλλες μορφές μεταφοράς αλλά και μεταξύ των διαφορετικών εταιρειών σιδηροδρόμων.

Η ταχύτητα των 50 km/h που επιτεύχθηκε με την ατμομηχανή "Rocket" το **1829** θεωρήθηκε ως πραγματικά υψηλή ταχύτητα για τους σιδηροδρόμους της εποχής. Πολύ σύντομα, όμως, οι σιδηρόδρομοι έφτασαν ακόμα πιο εντυπωσιακές ταχύτητες:

- 100km/h πριν το **1850**,
- 130 km/h το **1854**, μέχρι και
- 200km/h στις **αρχές του 20^{ου} αιώνα**.

Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση ήταν απλώς ρεκόρ ταχύτητας συμβατικών τρένων και τίποτα παραπάνω.

Έτσι λοιπόν, μετά από την επίτευξη σημαντικών ταχυτήτων στο χώρο της Ευρώπης μέχρι τις **αρχές του 20^{ου} αιώνα** (ιδίως στη Γαλλία 331 km/h το **1955**) και κυρίως υπό την πίεση των αυξημένων ροών για μεταφορά μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο η Ιαπωνία το **1964** έθεσε σε λειτουργία μια νέα σιδηροδρομική γραμμή (‘‘Tokaido Shinkansen’’) 515 χιλιομέτρων.

Η νέα αυτή γραμμή σχεδιάστηκε με στόχο την επέκτασή της σε όλη τη χώρα και την εγκαθίδρυσή της ως το κύριο μέσο μεταφοράς του Ιαπωνικού λαού στο μέλλον. Η ταχύτητα λειτουργίας του δικτύου σχεδιάστηκε να είναι 210 km/h με ηλεκτροκίνητη κινητήρια μονάδα, ενσωματώνοντας πολλές καινοτομίες στο χώρο του σιδηροδρόμου (όπως είναι το σύστημα κεντρικού ελέγχου κυκλοφορίας (CTC), Αυτόματος έλεγχος τρένου (ATC) και άλλα). Με αυτό το έργο, η γέννηση της ιδέας των TYT (HSR) είναι πλέον γεγονός.

Οι γραμμές υψηλών ταχυτήτων είναι ένα περίπλοκο σύστημα, το οποίο συνδυάζει ποικίλες τεχνολογικές διαστάσεις, όπως είναι οι υποδομές, το ίδιο το τρένο, οι πηγές της κινητήριας δύναμης, καθώς και οικονομικά, εμπορικά και διοικητικά ζητήματα.

Τα TYT, εκτός του ότι προσφέρουν βελτιωμένες υπηρεσίες μεταφοράς, έχουν και έναν άλλο πολύ σημαντικό ρόλο ο οποίος συνίσταται στη δημιουργία κοινωνικής ενσωμάτωσης των διαφόρων περιοχών και στη δημιουργία κοινωνικο-οικονομικά ισορροπημένων κοινωνιών.

Επομένως, σε κάθε περίπτωση, τα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων αποτελούν ένα ολόκληρο σύστημα που περιλαμβάνει υποδομές (κατασκευή νέων γραμμών για ταχύτητες μεγαλύτερες των 250 km/h, αναβάθμιση υφιστάμενων για ταχύτητες μέχρι 200-220 km/h), λειτουργικά μέρη, εξοπλισμό κτλ. Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γεγονός ότι πολλά TYT κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η κίνησή τους και σε συμβατικές γραμμές (προφανώς με χαμηλότερες ταχύτητες), κάτι που διευκολύνει την ‘‘ευελιξία’’ του συστήματος σιδηροδρομικών μεταφορών.

Ωστόσο οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις στον τομέα του σιδηροδρόμου συνεπάγονται και απαιτήσεις στο τεχνικό κομμάτι και επομένως και στην ακρίβεια, το κόστος και την ταχύτητα πραγματοποίησης των τοπογραφικών εργασιών, εργασιών που αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο του σιδηροδρόμου αποτελώντας τη βάση πάνω στην οποία θα αναπτυχθεί ολόκληρο το δίκτυο και τα συνοδά τεχνικά έργα.



Εικόνα 1.4: Τρένο υψηλών ταχυτήτων Eurostar class 374 (2015)
[www.Wikipedia.org]

Έτσι λοιπόν, συνεχείς βελτιώσεις απαιτούνται στα παρακάτω σημεία ώστε τα ΤΥΤ να είναι ανταγωνιστικά και να κατέχουν υψηλή θέση στην εκτίμηση των πολιτών όπως:

- Ο σχεδιασμός και η απόδοση

Κύρια χαρακτηριστικά είναι η χωρητικότητα, το ωφέλιμο φορτίο, το φορτίο άξονα, το μήκος, το απόβαρο, η μέγιστη ταχύτητα, η συμβατότητα με την υποδομή, η επιτάχυνση/επιβράδυνση κ.α.

- Αεροδυναμικός σχεδιασμός

Αντίσταση αέρα, θόρυβος από σήραγγα λόγω πίεσης κ.α.

- Ασφάλεια και προστασία

Σταθερότητα, αντοχή πρόσκρουσης, πυροπροστασία, μέτρα άμεσης εκκένωσης, αντοχή σε πλευρικό άνεμο κ.α.

- Άνεση

Ξεκούραστη μεταφορά, εργονομικός σχεδιασμός, περιορισμός θορύβου, σύστημα εξισορρόπησης κλίσης, αεροστεγής και υδατοστεγής κατασκευή, κλιματισμός, υπηρεσίες για τους επιβάτες κ.α.

- Τεχνολογίες

Κατασκευή σκελετού και καμπινών, κινητήρια δύναμη και επιβράδυνση, κεντρικός έλεγχος τρένων, σύστημα πληροφόρησης επιβατών, παροχή ενέργειας κ.α.

- Περιβάλλον

Μείωση εκπομπών CO₂, περιορισμός ηχορύπανσης, μείωση επιπτώσεων στα τοπικά οικοσυστήματα, χρήση ηλεκτρικής ή εναλλακτικών μορφών ενέργειας κ.α.

Τη δημιουργία του Ιαπωνικού Τρένου Υψηλών Ταχυτήτων ακολούθησε η κατασκευή του “Metroliner” στην Αμερική το **1969**, το οποίο συνέδεε τη Νέα Υόρκη με την Ουάσιγκτον, με μέγιστη ταχύτητα τα 200 km/h.

Έπειτα από την επιτυχημένη λειτουργία του δικτύου υψηλών ταχυτήτων “Shinkansen” και την ανάπτυξη νέων εξελιγμένων τεχνολογιών στο χώρο της Ευρώπης (Αγγλία (201 km/h) **1976**, Γερμανία (200 km/h) **1977**, κ.α.), η εθνική εταιρεία σιδηροδρόμων της Γαλλίας κατασκεύασε και έθεσε σε λειτουργία την πρώτη γραμμή υψηλών ταχυτήτων (TGV) στην Ευρώπη (μεταξύ Παρισιού και Λυών), το **1981**, με μέγιστη ταχύτητα τα 260 km/h.

Ωστόσο, βασική διαφορά με την περίπτωση της Ιαπωνίας είναι το γεγονός ότι η Γαλλία σχεδίασε τον σιδηρόδρομο υψηλών ταχυτήτων ώστε να είναι συμβατός με το ήδη υπάρχον σιδηροδρομικό δίκτυο, κάτι που εξασφάλισε την ταχύτερη εξέλιξή του.

Μετά από την επιτυχημένη λειτουργία και του Γαλλικού δικτύου υψηλών ταχυτήτων, κάθε Ευρωπαϊκή χώρα θέλησε στα τέλη του 20^{ου} αιώνα να αποκτήσει υπηρεσίες σιδηροδρομικών μεταφορών υψηλών ταχυτήτων (Ιταλία (**1988**), Γερμανία (**1988**), Ισπανία (**1992**), Βέλγιο (**1997**), Ηνωμένο Βασίλειο (**2003**), Ολλανδία (**2009**)). Επομένως τόσο Ευρωπαϊκές όσο και μη Ευρωπαϊκές χώρες (Βόρεια Αμερική (**2000**), Κίνα (**2003**), Βόρεια Κορέα (**2004**), Ταϊβάν (**2007**), Τουρκία (**2009**), Ουζμπεκιστάν (**2011**)) μπαίνουν δυναμικά στον τομέα των μεταφορών υιοθετώντας την τεχνολογία των Τρένων Υψηλών Ταχυτήτων (HSR).

Αξίζει να αναφερθεί ότι η Κίνα έχει αξιοποιήσει ίσως στο μεγαλύτερο από κάθε άλλη χώρα κομμάτι αυτή την τεχνολογίας έχοντας μεγάλα δίκτυα σιδηροδρόμων TGT, τεράστιο στόλο εξυπηρετώντας εκατομμύρια επιβάτες κάθε χρόνο. [www.uic.org, 2015]

Η αναγέννηση των σιδηροδρομικών δικτύων, σε παγκόσμια κλίμακα, είναι πλέον γεγονός. Ο σιδηρόδρομος αρχίζει να κερδίζει ξανά σταδιακά τη θέση του στις μεταφορές και την οικονομία, την οποία για τον τελευταίο αιώνα και μέχρι προσφάτως είχαν καταλάβει οι αυτοκινητόδρομοι και οι αεροπορικές μεταφορές.

Η χρονολογική εξέλιξη του σιδηροδρόμου παρουσιάζεται στην εικόνα 1.5.

Επίσης στην εικόνα 1.6 παρουσιάζονται συγκριτικά οι επιβάτες που εξυπηρετούνται κάθε χρόνο με TGT και αερομεταφορές όπου παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση των πρώτων. Χαρακτηριστικά, σε 16 χρόνια οι επιβάτες των TGT έχουν πενταπλασιαστεί ενώ αντίστοιχα των αεροπλάνων έχουν διπλασιαστεί.



Εικόνα 1.5: Χρονολογική εξέλιξη σιδηροδρόμων [<http://www.uic.org>]

Annual passengers worldwide (in millions) ^{[81][82][83][84][85]}

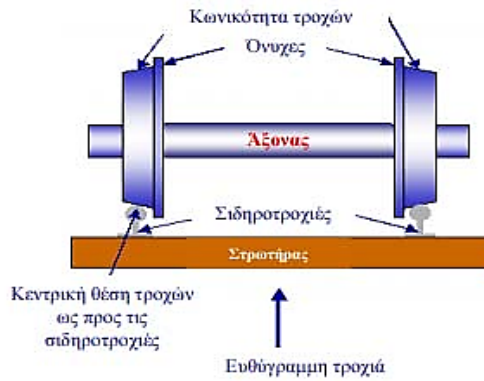
Year	Annual world HSR ^{[81][82]}	Annual world airlines ^{[86][87]}
2000	435	1,674
2005	559	1,970
2010	895	2,628
2012	1,185	2,894
2014	1,470	3,218
2016	~2,070 (prelim)	3,650

• Only systems with 200 km/h (124 mph) service speeds or higher are considered. Vast majority of the increases due to China.

Εικόνα 1.6: Ετήσιος φόρτος επιβατών σε ΤΥΤ και αερομεταφορές [<https://en.wikipedia.org>]

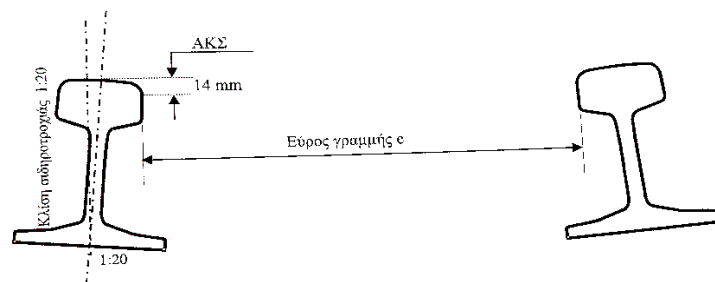
1.2 Περιγραφή σιδηροδρομικής Γραμμής

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί ένα από τα βασικότερα χερσαία μέσα μαζικής μεταφοράς, όπου οχήματα με τροχούς φέροντες όνυχες στην εσωτερική τους πλευρά, κινούνται (είτε αυτοκινούμενα είτε ελκόμενα από κινητήρια μονάδα) σε αποκλειστικά δικό τους διάδρομο κυκλοφορίας (σταθερή τροχιά) που ορίζεται από δύο παράλληλες μεταξύ τους σιδηροτροχιές [*Καλτσούνης Α., Βυθούκας Π., 2015*] (εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7: Αρχή λειτουργίας σιδηροδρόμου
[\[http://portal.survey.ntua.gr\]](http://portal.survey.ntua.gr)

Ως εύρος γραμμής ορίζεται η ελάχιστη απόσταση e μεταξύ των εσωτερικών παρειών των κεφαλών των δύο σιδηροτροχιών της γραμμής σε στάθμη 14mm από την άνω στάθμη της κεφαλής της σιδηροτροχιάς (ΑΚΣ) (εικόνα 1.8 και 1.9) [Λυμπέρης Κ.,2005].



Εικόνα 1.8: Ορισμός εύρους γραμμής ΗΣΑΠ [Λυμπέρης Κ.,2005]



Τα υψόμετρα της σιδηροτροχιάς αναφέρονται στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς

Η οριζοντιογραφική θέση της σιδηροτροχιάς αναφέρεται στο σημείο της που βρίσκεται 14mm κάτω από την κεφαλή της στην εσωτερική πλευρά της σιδηροτροχιάς

Εικόνα 1.9: Σημεία μέτρησης υψομέτρου και οριζοντιογραφικής θέσης πάνω στη σιδηροτροχιά

Στην ευθυγραμμία και σε οριζοντιογραφικές καμπύλες με ακτίνα $R > 200\text{m}$, το εύρος ορίζεται στα 1435 mm με κατασκευαστική ανοχή (σε ευθυγραμμίες και σε καμπύλες) σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα [Λυμπέρης Κ., 2005]:

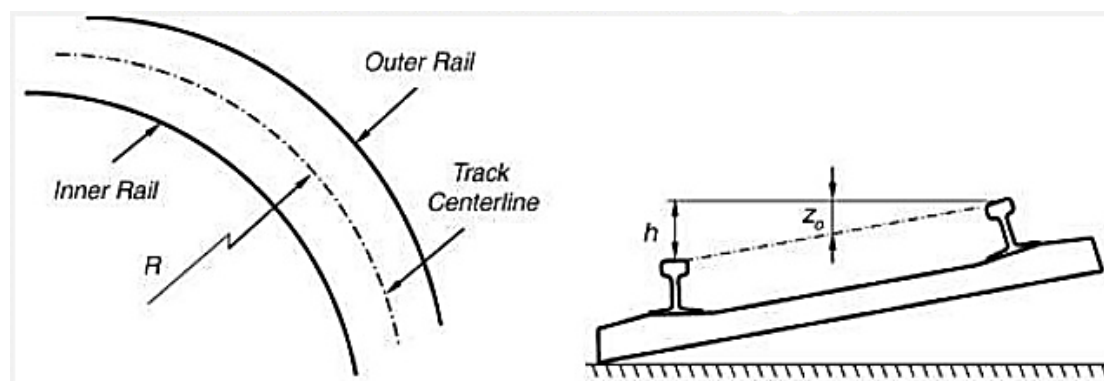
Από	Έως	Είδος στρωτήρα
- 3 mm	+ 1 mm	Σκυροδέματος
- 3 mm	+ 6 mm	Ξύλινοι (ευθυγραμμίες)
- 3 mm	0 mm	Ξύλινοι (καμπύλες $R < 200\text{ m}$)

Πίνακας 1.1 Ανοχές εύρους γραμμής

Η τιμή του εύρους μπορεί να φτάσει κατ' ελάχιστο τα 1430mm ενώ κατά μέγιστο τα 1470mm. Το εύρος των 1435mm αυξάνεται στις καμπύλες με μικρή ακτίνα ($R < 200\text{m}$), για τις οποίες προβλέπονται διαπλατύνσεις, που ορίζονται κατά περίπτωση.

Στις οριζοντιογραφικές καμπύλες συνίσταται η γραμμή να τοποθετείται με κλίση προς το εσωτερικό της καμπύλης. Η κλίση αυτή επιτυγχάνεται με ανύψωση της εξωτερικής σιδηροτροχιάς ως προς την εσωτερική.

Η προκύπτουσα υψομετρική διαφορά (εικόνα 1.10) μεταξύ των δύο σιδηροτροχιών ονομάζεται υπερύψωση και μετράται σε επίπεδο εγκάρσιο επί του κατά μήκος άξονα της γραμμής. Συμβολίζεται με το γράμμα h και εκφράζεται σε mm. [Λυμπέρης Κ., 2005]



Εικόνα 1.10: Υπερύψωση h

Σύμφωνα με τις οδηγίες χάραξης γραμμών του ΗΣΑΠ [Λυμπέρης Κ., 2005] προβλέπονται τα εξής:

- Η τιμή της εφαρμοζόμενης υπερύψωσης $h_{εφ}$ εκτός περιοχής επιτάχυνσης ή πέδησης συρμών οφείλει να κυμαίνεται μεταξύ της κανονικής $h_{καν}$ και της θεωρητικής υπερύψωσης h_{θ} .

$$h_{καν} = 7.1 * \frac{\max V^2}{R} < h_{εφ} < h_{\theta} = 11.8 * \frac{\max V^2}{R} \quad (1.1)$$

όπου,

V ταχύτητα (km/h)

R ακτίνα οριζοντιογραφίας

- Αν η θεωρητική υπερύψωση προκύπτει από τους υπολογισμούς μικρότερη της μέγιστης εφαρμοζόμενης, τότε η προς εφαρμογή υπερύψωση συνιστάται να είναι 20 έως 30mm μικρότερη της υπολογισθείσας. Γενικά η εφαρμοζόμενη υπερύψωση οφείλει να έχει τέτοια τιμή ώστε να παραμένει πάντα μία μικρή μη αντισταθμιζόμενη πλευρική επιτάχυνση.
- Η τιμή της υπερύψωσης προσδιορίζεται με ακρίβεια 5mm.
- Η μέγιστη εφαρμοζόμενη υπερύψωση $maxh_{εφ}$ μεταξύ των σταθμών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 150mm για γραμμή επί έρματος και 160mm για γραμμή σε σταθερή επιδομή.
- Στους σταθμούς κατά μήκος των αποβάθρων η υπερύψωση περιορίζεται στα 100mm.
- Στις αλλαγές γενικά και διασταυρώσεις δεν εφαρμόζεται υπερύψωση. Στις καμπύλες αλλαγές επιτρέπεται υπερύψωση έως 100 mm. Αρνητική υπερύψωση κατασκευάζεται μόνο σε εξωτερικές καμπύλες αλλαγές στον δευτερεύοντα κλάδο.
- Η ελάχιστη υπερύψωση που επιτρέπεται να εφαρμοσθεί προκύπτει από τη θεμελιώδη σχέση της υπερύψωσης (1.2) θέτοντας $p = maxp = 0.72 \text{ m/s}^2$.

$$1.8 \cdot \frac{V^2}{R} - 153 \cdot p \text{ (mm)} \quad (1.2)$$

- Υπερυψώσεις με τιμή μικρότερη των 20 mm δεν κατασκευάζονται. Σε περίπτωση που η ελάχιστη υπερύψωση δεν είναι δυνατό να εφαρμοσθεί, τότε πρέπει να μειωθεί αντίστοιχα η ταχύτητα στη συγκεκριμένη θέση.
- Η μέγιστη θεωρητική υπερύψωση $maxh_{\theta}$ που μπορεί να υπολογισθεί δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 260mm.
- Στις δευτερεύουσες γραμμές δεν συνιστάται η εφαρμογή υπερύψωσης.
- Σε ομόρροπες καμπύλες συνιστάται η επιλογή ενιαίας υπερύψωσης όταν η διαφορά Δh των προς εφαρμογή υπερυψώσεων είναι μικρότερη ή ίση των 20mm από τη μέση τιμή τους.
- Η ανεπάρκεια υπερύψωσης h_{av} σχετίζεται με την μη αντισταθμιζόμενη πλευρική επιτάχυνση p ως

$$h_{av} = \frac{1500}{g} * p \text{ (mm)} \quad (1.3)$$

- Γενικά η μέγιστη μη αντισταθμιζόμενη πλευρική επιτάχυνση p_{max} δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή του 0.1g. Συνιστάται η μέγιστη μη αντισταθμιζόμενη πλευρική επιτάχυνση να μην υπερβαίνει τα 0.72 m/s².
- Πλεόνασμα υπερύψωσης h_{Π} συνιστάται να αποφεύγεται.
- Η μεταβολή της ανεπάρκειας υπερύψωσης στη μονάδα του χρόνου ορίζεται σε $\frac{\Delta h_{av}}{\Delta t} \leq 60 \text{ mm/s}$.
- Η μεταβολή της υπερύψωσης στη μονάδα του χρόνου ορίζεται σε $\frac{\Delta h}{\Delta t} \leq 45 \text{ mm/s}$
- Ως μέγιστη τιμή της μεταβολής Δp της μη αντισταθμιζόμενης φυγόκεντρης επιτάχυνσης p στη μονάδα του χρόνου λαμβάνεται $\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0.40 \text{ m/s}^3$.

Ο σιδηρόδρομος αποτελείται από δύο συνιστώσες [Λουμπέρης Κ., 2011]:

- ✚ Το τροχαίο υλικό, νοώντας όλα τα οχήματα που κινούνται μέσω χαλύβδινων τροχών στις σιδηροτροχιές και
- ✚ Την τεχνική υποδομή, η οποία περιλαμβάνει τη σιδηροδρομική γραμμή καθώς και το σύνολο όλων των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων, που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία και τη ρύθμισή της

Η σιδηροδρομική γραμμή είναι μια αλληλοδιαδοχή καθ' ύψος διάφορων υλικών ή στρώσεων υλικών, που καθορίζουν την τελική της θέση και τις ιδιότητες με τις οποίες «αντιδρά» στη «δράση» που δημιουργείται από την κίνηση ενός σιδηροδρομικού οχήματος [Φώλας Α., 2008].

Η διατομή μιας σιδηροδρομικής γραμμής αποτελείται από υλικά (επιδομή) που μεταβιβάζουν τα στατικά και δυναμικά φορτία των συρμών στο έδαφος (υπόβαση). Δηλαδή, μία διατομή ενός σιδηροδρομικού έργου αποτελείται από την υποδομή και την επιδομή.

Η γεωμετρία μιας σιδηροδρομικής γραμμής διαχωρίζεται σε εσωτερική και εξωτερική. [Kuhlmann H., 2000 , Rail.One, 2009]

Η εσωτερική γεωμετρία αφορά το σχήμα της γραμμής και επομένως είναι σημαντική για την ανάπτυξη δυναμικών φαινομένων στο τροχαίο υλικό.

Η εξωτερική γεωμετρία περιγράφει τη θέση της γραμμής σε τρεις διαστάσεις σε σχέση με τα περιβαλλόμενα αντικείμενα.

Στα τεχνικά έργα μιας σιδηροδρομικής γραμμής, εκτός από την υποδομή και την επιδομή, συγκαταλέγονται: [Λυμπέρης Κ., 2011]

- Οι σήραγγες
- Οι γέφυρες
- Οι τοίχοι και τα έργα αντιστήριξης
- Οι ανισόπεδες διαβάσεις
- Τα αποχετευτικά έργα

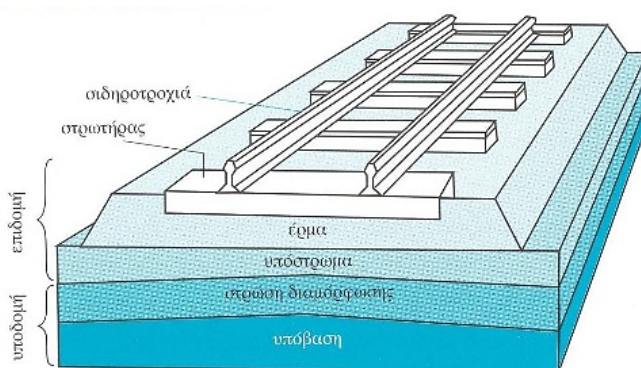
Ενώ στις εγκαταστάσεις περιλαμβάνονται:

- Οι ισόπεδες διαβάσεις
- Οι εγκαταστάσεις σηματοδότησης και ηλεκτροκίνησης
- Οι εγκαταστάσεις τηλεπικοινωνιών
- Οι σιδηροδρομικοί σταθμοί

1.2.1. Υποδομή Σιδηροδρομικής Γραμμής

Η υποδομή της σιδηροδρομικής γραμμής είναι το στρώμα του εδάφους πάνω στο οποίο κατασκευάζεται η επιδομή και περιλαμβάνει συνήθως δύο στρώσεις: [Φώλας Α., 2009]

- Τη στρώση διαμόρφωσης, ως ανώτερη στρώση, που τοποθετείται εφόσον το εδαφικό υλικό δεν είναι καλής ποιότητας
- Την υπόβαση ή έδαφος θεμελίωσης ως κατώτερη στρώση



Εικόνα 1.11: Διατομή σκυρογραμμής [Φώλας Α., 2009]

Ο κύριος ρόλος που επιτελεί η υποδομή είναι η εξασφάλιση μιας σταθερής θεμελίωσης των στρώσεων της έδρασης και γενικότερα της επιδομής της γραμμής.

Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να έχει ανθεκτικότητα στον παγετό
- Να μην υπόκειται σε σημαντικές μεταβολές όγκου
- Να εξασφαλίζει τη γραμμή από τον κίνδυνο θραύσης λόγω διάτμησης

Κατά τη φάση κατασκευής της υποδομής πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή:

- Στην επιλογή της ποιότητας του υλικού υποδομής
- Στην σωστή συμπύκνωση του υλικού (Πρότυπες Τεχνικές Προδιαγραφές) στην περίπτωση έρματος
- Στη διαμόρφωση της κλίσης για καλύτερη αποστράγγιση και την κατασκευή ανάλογων τεχνικών έργων (τάφοι, στραγγιστήρια κ.λ.π.)
- Στην προστασία της υποδομής από την παρουσία του ύδατος
- Στη διαμόρφωση κατάλληλων κλίσεων έναντι ολίσθησης

1.2.2. Επιδομή Σιδηροδρομικής Γραμμής

Η επιδομή της γραμμής αποτελείται από: *[Φώλας Α., 2009]*

- Τα χαρακτηριστικά υλικά γραμμής: σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, ελαστικά υποθέματα
- Την έδραση που αποτελείται από:
 - Το έρμα ως ανώτερη στρώση [συνήθως από θραυστά υλικά(σκύρα)] ή την φέρουσα πλάκα σκυροδέματος (σταθερή επιδομή).
 - Το υπόστρωμα έρματος ως κατώτερη στρώση [κατάλληλα διαβαθμισμένο υλικό, σύμφωνα με διεθνή πρότυπα] ή κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο με τσιμέντο (σταθερή επιδομή).

Η επιδομή της γραμμής έχει ως κύρια αποστολή:

- Τη διανομή και τη μεταφορά των φορτίων κυκλοφορίας στο φυσικό έδαφος
- Να εξασφαλίσει τη γρήγορη απομάκρυνση των νερών της βροχής
- Να αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις σε περίπτωση παγετού
- Να εξασφαλίσει τη σταθερότητα των στρωτήρων
- Να λειτουργεί ως ελατήριο απόσβεσης των δονήσεων από τη διέλευση των συρμών (βύθιση και επαναφορά της γραμμής στην αρχική της θέση)
- Την αποφυγή ανάπτυξης βλάστησης
- Να απορροφά μέρος του θορύβου της κύλισης

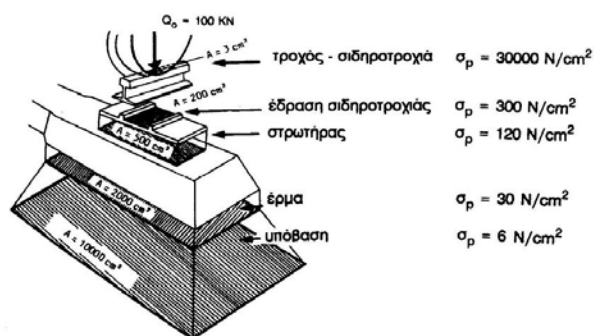
Το υπόστρωμα έχει ως σκοπό να διαχωρίζει το πάνω μέρος της επιδομής (έρμα) από την υποδομή, εμποδίζοντας την εισχώρηση των λεπτόκοκκων υλικών της στο έρμα και ταυτόχρονα να εμποδίζει την τοπική θραύση της άνω επιφάνειας της υποδομής

Κατά τη φάση κατασκευής της επιδομής πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή:

- Στην επιλογή της ποιότητας των βιομηχανικών υλικών που τη συνθέτουν
- Στην σωστή επιλογή της ποιότητας των φυσικών υλικών που διαθέτει και στη σωστή συμπύκνωσή ή υπογύμωσή των (Π.Τ.Π.)
- Στη διαμόρφωση της κλίσης για καλύτερη αποστράγγιση (συνήθως 4%)

1.2.2.1 Σταθερή επιδομή

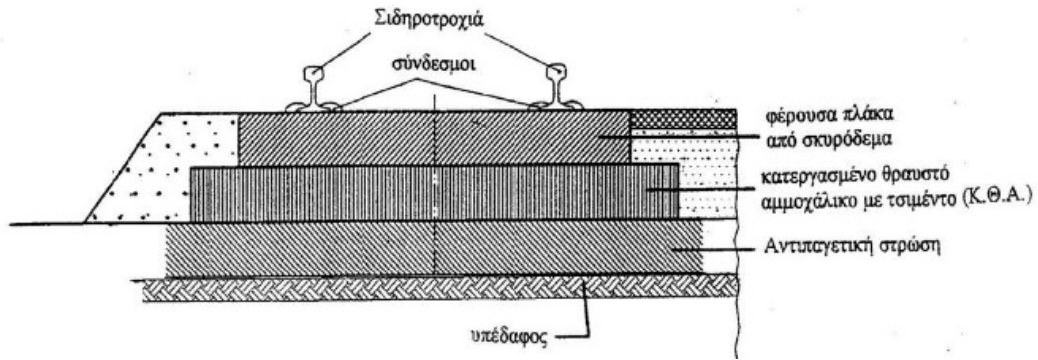
Με την αύξηση της ταχύτητας των συρμών παρατηρήθηκε σημαντική φθορά στο έρμα, το οποίο λόγω των δυναμικών φορτίων (εικόνα 1.12), των τροχοπεδήσεων κ.λ.π. κυριολεκτικά συνθλίβεται και συμπυκνώνεται με αποτέλεσμα την απώλεια της ελαστικότητάς του, τη δυσχέρεια στην απορροή των όμβριων και γενικά των ιδιοτήτων του [Φώλας Α., 2009].



Εικόνα 1.12: Μεταβίβαση φορτίων από τη σιδηροτροχιά στο έδαφος

Υπό αυτές τις συνθήκες, η διατήρηση της γεωμετρίας της γραμμής απαιτεί συχνές και δαπανηρές επεμβάσεις, τα δε επιμέρους δομικά υλικά (στρωτήρες, σιδηροτροχιές, υλικά σύνδεσης κ.λ.π.) υφίστανται ανεπίτρεπτες φθορές και χρήζουν αντικατάστασης πολύ νωρίτερα από τον αναμενόμενο χρόνο ζωής τους. Τέλος πολλές φορές απαιτούνται δαπανηρές επεμβάσεις και στην υποδομή. Η κατάσταση αυτή οδηγεί σε άμεση αντικατάσταση του έρματος, που όπως αναφέρθηκε, καθορίζει σημαντικά την ελαστικότητα της γραμμής καθώς και την σταθεροποίηση της στις εγκάρσιες δυνάμεις.

Οι αρνητικές αυτές εμπειρίες όλων των δικτύων οδήγησαν διεθνώς στην υιοθέτηση της σταθερής επιδομής (Slab Track ή Feste Fahrbahn) (εικόνα 1.13).



Εικόνα 1.13: Διατομή σταθερής επιδομής

Με την κατασκευή της σταθερής επιδομής αίρονται ουσιαστικά τα μειονεκτήματα της σκυρογραμμής, αφού το έρμα αντικαθίσταται εξ ολοκλήρου από φέρουσα πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος σε κατάλληλα διαμορφωμένο υπόστρωμα (εικόνα 1.14).



Εικόνα 1.14: Σκυρογραμμή (αριστερά), Σταθερή επιδομή (δεξιά)[www.MoveNews.gr]

Η τεχνολογία της σταθερής επιδομής συνήθως χρησιμοποιείται για σιδηροδρόμους υψηλών ταχυτήτων με ταχύτητες άνω των 200 km/h. Οι σιδηροτροχιές και οι στρωτήρες εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα. Η άκαμπτη φέρουσα κατασκευή αποτελείται από φέρουσα διαμήκη, συνεχή, δύσκαμπτη πλάκα από σκυρόδεμα (αλλά και από άσφαλτο) κατάλληλου πάχους (πχ. 20 cm) και πλάτους και εδράζεται κατά κανόνα σε στρώση από κατεργασμένο θραυστό αμμοχάλικο με τσιμέντο, κατάλληλου πάχους (20 – 40 cm) και πλάτους όσο της επάνω πλάκας αυξημένου κατά το διπλάσιο του πάχους της ίδιας στρώσης.

Η στρώση αυτή εδράζεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο και καλά συμπυκνωμένο (σταθεροποιημένο) έδαφος με ή χωρίς αντιπαγετική στρώση, η οποία αποτελεί την υπόβαση (εικόνα 1.11).

Στην περίπτωση της σκυρογραμμής, η αναδιανομή του κοκκώδους υλικού (έρμα) και η εν μέρει διαταραχή του σε περίπτωση υψηλών ταχυτήτων είναι συχνό φαινόμενο, οδηγώντας σε μείωση της άνεσης των επιβατών και αυξημένη φθορά της επιδομής και του τροχαίου υλικού λόγω εκτεταμένης τριβής, κάτι που ωστόσο δε συμβαίνει στη σταθερή επιδομή. Το βασικό πλεονέκτημα της σταθερής επιδομής είναι η μείωση του κόστους συντήρησης της γραμμής, η οποία δικαιολογεί και την κατά 40-50% περισσότερη εργασία που απαιτείται για την κατασκευή της. Ωστόσο, βασική προϋπόθεση για την κατασκευή σταθερής επιδομής είναι τόσο η ύπαρξη καλής ποιότητας εδάφους (υπόβαση) όσο και η δυνατότητα χρήσης κατάλληλου τοπογραφικού εξοπλισμού. Τα όργανα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι σε θέση να επιτύχουν υψηλές ακρίβειες, δεδομένου ότι διορθώσεις μετά την τοποθέτηση της γραμμής είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθούν.

Σε αντίθεση με την επιδομή σε έρμα που παρουσιάζει ελαστική συμπεριφορά, στη σταθερή επιδομή οι σιδηροτροχιές εγκιβωτίζονται σε "ανελαστικό" σκυρόδεμα. [Φώλας Α., 2009]

Επομένως οι τοπογραφικές εργασίες είναι μείζονος σημασίας, καθώς η τοποθέτηση των σιδηροτροχιών πρέπει να γίνει με υψηλή ακρίβεια, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά.

Στην Ελλάδα, επενδύονται αρκετά εκατομμύρια ευρώ στην αναβάθμιση του σιδηροδρομικού δικτύου. Η μείωση του χρόνου και του κόστους συντήρησης σε διαδρομές με μεγάλη κυκλοφορία, καθώς και η αύξηση της ασφάλειας και της άνεσης των επιβατών έχουν αναδείξει τη σταθερή επιδομή σε μία δημοφιλή και ευρείας αποδοχής κατασκευαστική μέθοδο.

Η σταθερή επιδομή προσφέρει μείωση του κόστους συντήρησης καθώς το έρμα αντικαθίσταται από μία πλάκα σκυροδέματος, η οποία δεν αλλοιώνεται εύκολα, σε αντίθεση με το έρμα, και η γεωμετρία των σιδηροτροχιών λόγω δυναμικών φαινομένων επηρεάζεται πολύ πιο δύσκολα.

Η μεγαλύτερη οικονομία επιτυγχάνεται στις σήραγγες και τις γέφυρες.

Ωστόσο, μία βασική προϋπόθεση για την επίτευξη της οικονομίας στη συντήρηση είναι να διασφαλισθεί το καλής ποιότητας και ομοιογενές υπέδαφος, ώστε να είναι σε θέση να ανεχτεί τα φορτία στα οποία θα εκτεθεί χωρίς οποιαδήποτε καθίζηση ή άλλη παραμόρφωση. Επίσης είναι σημαντικό να δοθεί μεγάλη βαρύτητα στις συγκολλήσεις των σιδηροτροχιών ώστε να αποφευχθούν τα φορτία πρόσκρουσης, τα οποία έχουν σημαντική αρνητική επιρροή στη διάρκεια ζωής της σιδηροδρομικής υποδομής. [Theodorou P., Zouloumis G., 2003]

Και οι δυο τεχνικές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία εμφανίζονται στον πίνακα 1.2.

ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΠΙΔΟΜΗ (SLAB TRACK)	ΕΠΙΔΟΜΗ ΜΕ ΕΡΜΑ (BALLASTED TRACK)
Μεγάλο κόστος κατασκευής	Μικρό κόστος κατασκευής
Μικρό κόστος συντήρησης	Μεγάλο κόστος συντήρησης
Μεγάλη διάρκεια ζωής (60 χρόνια)	Μικρή διάρκεια ζωής (30 χρόνια)
Μεγάλη εγκάρσια αντίσταση	Μικρή σχετικά εγκάρσια αντίσταση
Απαίτηση πολύ καλής ποιότητας υποδομής	Ελαστική συμπεριφορά στις καθιζήσεις
Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού	Τεχνική διαδεδομένη και γνωστή
Μεγάλος χρόνος κατασκευής (3x – 5x)	Μικρότερος χρόνος κατασκευής
Μικρότερο ύψος επιδομής (έως 1 μέτρο)	Μεγάλο ύψος επιδομής
Δυσκολία διόρθωσης γεωμετρίας γραμμής	Εύκολη διόρθωση σφαλμάτων γραμμής
Εύκολη κυκλοφορία οχημάτων επί της επιδομής	Δυσκολία πρόσβασης από τα οχήματα
Μικρή φθορά επιδομής από το τροχαίο υλικό	Μεγάλη φθορά επιδομής από το τροχαίο υλικό
Απαίτηση υψηλών προδιαγραφών τοπογραφικών εργασιών	Απλή διαδικασία τοπογραφικής χάραξης

Πίνακας 1.2: Σύγκριση σταθερής επιδομής με σκυρογραμμή

Οι σημαντικότερες διαφορές των δύο συστημάτων είναι το κόστος κατασκευής, όπου υπερτερεί η σκυρογραμμή και η έλλειψη ουσιαστικής συντήρησης στη σταθερή επιδομή.

Το κόστος κατασκευής της σταθερής επιδομής για πάχος έδρασης 40-45 εκατ. είναι μεγαλύτερο κατά 10-20% στις διατομές μέσα σε σήραγγα και κατά 70-90% στις διατομές ανοικτής γραμμής. Για το σκοπό αυτό η σταθερή επιδομή είναι προτιμητέα στα υπόγεια τμήματα γραμμής (σήραγγες, δίκτυα μετρό).

Λόγω του μικρότερου βάρους της, προτιμάται η κατασκευή της σταθερής επιδομής πάνω σε γέφυρες αν και το κόστος κατασκευής της στις περιπτώσεις αυτές είναι κατά πολύ μεγαλύτερο.

Σύμφωνα με τα στοιχεία των Γερμανικών Σιδηροδρόμων κατά μέσο όρο σε μια γραμμή η κατασκευή της σταθερής επιδομής παρουσιάζει πρόσθετη δαπάνη της τάξεως του 50%.

Σε αντιστάθμισμα της ακριβότερης κατασκευής, η σταθερή επιδομή δεν χρειάζεται ουσιαστικά συντήρηση, γεγονός που απαιτεί λιγότερο προσωπικό συντήρησης.

Σύμφωνα με τα ισχύοντα κοστολόγια κατασκευής, μια πρώτη εκτίμηση στη σύγκριση των δύο λύσεων συνοψίζεται ως ακολούθως:

Με δεδομένο ότι ο χρόνος ζωής της σκυρογραμμής (25 χρόνια) είναι ο μισός του αντίστοιχου της σταθερής επιδομής (50 χρόνια) και ότι το κόστος κατασκευής της σταθερής επιδομής διπλάσιος από το αντίστοιχο

της σκυρογραμμής, συμπεραίνουμε ότι η οικονομική διαφορά των δύο λύσεων είναι η δαπάνη συντήρησης της σκυρογραμμής για 50 χρόνια.

Το κόστος αυτό εκτιμάται σε περίπου 130 € ανά μέτρο μήκους γραμμής δηλαδή περίπου 15% του κόστους κατασκευής της γραμμής. **[Φώλας Α., 2009]**

Επομένως είναι φανερή η υπεροχή της σταθερής επιδομής έναντι της σκυρογραμμής σε τμήματα που ικανοποιούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την κατασκευή της.

Η τεχνική της έδρασης της σιδηροδρομικής γραμμής σε πλάκα σκυροδέματος αναπτύχθηκε τα τελευταία τριάντα (30) χρόνια περίπου από τα πλέον προηγμένα σιδηροδρομικά δίκτυα του κόσμου στις γραμμές πολύ υψηλών ταχυτήτων λόγω των αρνητικών εμπειριών σε γραμμές επί έρματος. **[Φώλας Α., 2009]**

- Στην Ιαπωνία αποφασίστηκε εδώ και είκοσι χρόνια η μέθοδος σταθερής επιδομής να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κατασκευή νέων γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Σήμερα περίπου το 80% των γραμμών του δικτύου διαθέτει αυτή την επιδομή.

- Στη Γερμανία επίσης αποφάσισαν να προδιαγράψουν αποκλειστικά τη μέθοδο σταθερής επιδομής για την κατασκευή γραμμών υψηλών ταχυτήτων μεικτής κυκλοφορίας, μετά από πολυετείς δοκιμές διαφόρων συστημάτων σταθερής επιδομής.

- Στην Κορέα άρχισε η χρησιμοποίηση της σταθερής επιδομής τα τελευταία χρόνια στις γραμμές υψηλών ταχυτήτων

- Στην Ιταλία, Γαλλία, Αγγλία, Ολλανδία, Αυστρία και Ελβετία χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρά τμήματα ανοικτής γραμμής (κυρίως πάνω σε γέφυρες) καθώς και σε τμήματα υπόγειας διαδρομής (σήραγγες, δίκτυα μετρό)

- Τέλος σε αρκετές χώρες, όπως στην Κίνα, το Βιετνάμ, την Ινδία και τις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται δοκιμαστικά σε γραμμές με μεγάλη κυκλοφορία.

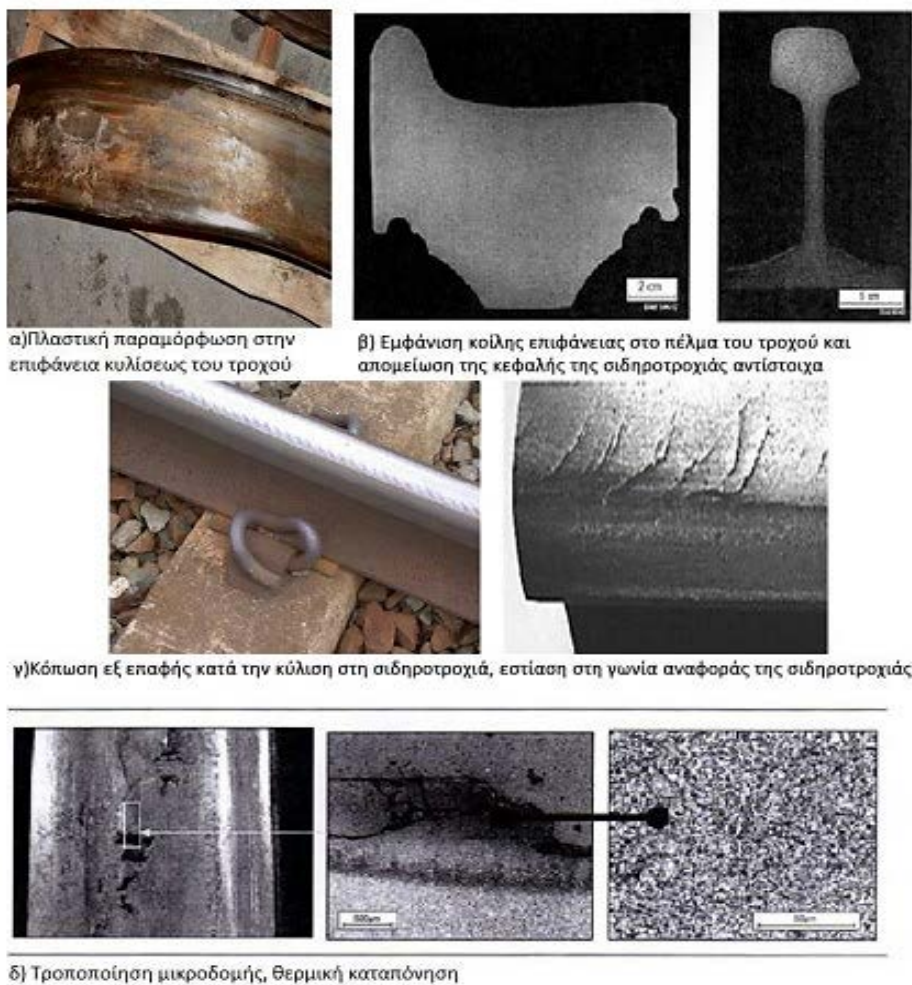
- Στην Ελλάδα με σταθερή επιδομή έχει κατασκευαστεί η γραμμή στις σήραγγες των Τεμπών και θα κατασκευαστεί και στις σήραγγες της Ορθρουσ και Καλλιδρόμου καθώς και στη γραμμή Κιάτο – Πάτρας.

1.4 Αστοχίες σιδηροδρομοτροχιών

Πολύ συχνό είναι το φαινόμενο εμφάνισης φθορών και αστοχιών σε διάφορα σημεία κατά μήκος των σιδηροδρομοτροχιών, οι οποίες οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες, που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία της γραμμής (εικόνα 1.15). **[ΕΔΙΣΥ Α.Ε., 2009]**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και εξέλιξη ενός σφάλματος στις σιδηροδρομικές είναι:

- Το στατικό αξονικό φορτίο
- Το δυναμικό φορτίο του τροχού
- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του τροχαίου υλικού (πέδη, κλπ.)
- Η διατομή της σιδηροτροχιάς
- Το υλικό της σιδηροτροχιάς
- Ο τύπος του σφάλματος
- Οι θερμοκρασιακές μεταβολές
- Τοπικές τάσεις στην σιδηροτροχιά
- Η φθορά της κεφαλής της σιδηροτροχιάς
- Η γεωμετρία της γραμμής
- Η ακαμψία της γραμμής



Εικόνα 1.15: Συνήθεις μορφές φθοράς σε τροχιές και σιδηροτροχιές

Στην εξέλιξη ενός σφάλματος στη σιδηροτροχιά διακρίνονται δύο χαρακτηριστικές χρονικές στιγμές. Η στιγμή που το σφάλμα της γραμμής γίνεται ανιχνεύσιμο και η στιγμή που το σφάλμα έχει αναπτυχθεί σε κρίσιμο βαθμό και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πρόκλησης ατυχήματος.

Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των δύο αυτών χρονικών στιγμών ή το φορτίο που δέχεται η συγκεκριμένη γραμμή μεταξύ των δύο αυτών χρονικών στιγμών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον προγραμματισμό των ελέγχων/επιθεώρησης των σιδηροτροχιών καθώς και στον καθορισμό των μέτρων που λαμβάνονται.

1.5 Το μέλλον των σιδηροδρόμων

Η τεχνολογία σήμερα είναι πλήρως ανταγωνιστική ανάμεσα στους διάφορους τομείς μεταφορών (οδικές, αεροπορικές, ακτοπλοϊκές, σιδηροδρομικές). Ωστόσο στα επόμενα 20 χρόνια, εάν δε διατεθούν χρήματα σε έρευνα και ανάπτυξη του τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών, θα πάψει να είναι ανταγωνιστικός, και αυτό διότι οι άλλοι τομείς εξελίσσονται με ταχύτατους ρυθμούς και ανταγωνίζονται σε μεγάλο βαθμό τα ΤΥΤ. *[Αντωνίου Κ., Σπυροπούλου Ι., 2017]*

Η έρευνα και η ανάπτυξη για τα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων του μέλλοντος (υποδομές, βαγόνια, ηλεκτροκίνητες μονάδες έλξης, σηματοδότηση, λειτουργικά στοιχεία και στοιχεία ελέγχου, ασφάλεια κλπ.) πρέπει να πραγματοποιηθεί με γνώμονα τις απαιτήσεις των επιβατών, της κοινωνίας, του επενδυτή κ.α.

Οι βελτιώσεις που πρόκειται να γίνουν τα επόμενα χρόνια στον τομέα των σιδηροδρόμων υψηλών ταχυτήτων θα αφορούν σε:

- Μεγαλύτερες ταχύτητες εμπορικών σιδηροδρόμων
 - ✓ Μέγιστες ταχύτητες στο εύρος 320-360 km/h
 - ✓ Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υποδομών
 - ✓ Νέες βελτιωμένες υποδομές
 - ✓ Νέα υλικά στην κατασκευή
- Νέα μηχανοκίνητα μέρη
- Νέα συστήματα επιβράδυνσης
- Περισσότερο φιλικές στο περιβάλλον κατασκευές (θόρυβος, ενεργειακή αποτελεσματικότητα)
- Περισσότερη ασφάλεια
- Νέες τεχνολογίες (πχ wi-fi, τηλεματική λειτουργία)

Επιπλέον χαρακτηριστικά που απαιτείται να αποκτήσουν τα ΤΥΤ τα επόμενα χρόνια είναι:

- Μεγαλύτερη χωρητικότητα (περισσότερα καθίσματα, διώροφα ΤΥΤ κλπ)
- Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα τρένων
- Περεταίρω μείωση του κόστους αγοράς/κατασκευής και συντήρησης
- Μείωση φόρου κατασκευαστικών υλικών

- Μείωση κομίστρου
- Μείωση ενεργειακής κατανάλωσης και μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση
- Διεθνοποίηση δικτύων

1.6 Αντικείμενο της εργασίας

Με δεδομένο τη σημαντικότητα της κατασκευής των σύγχρονων σιδηροδρομικών γραμμών αλλά και τις υψηλές απαιτήσεις τους σε ακρίβεια χάραξης και αποτύπωσης αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση και η αξιολόγηση των τριών βασικών μεθόδων χάραξης και αποτύπωσης σιδηροδρομικών γραμμών.

Η αξιολόγηση αφορά στις ακρίβειες και στην ευχρηστία κάθε μεθόδου καθώς και στον χρόνο και στο κόστος που απαιτεί κάθε μία για την εκτέλεση των απαραίτητων γεωδαιτικών εργασιών.

Ωστόσο, για την κατανόηση των παραπάνω προηγείται παρουσίαση των μερών του σιδηροδρόμου και περιγραφή της γεωδαιτικής υποδομής που απαιτείται για την εκτέλεση οποιασδήποτε γεωδαιτικής εργασίας στο χώρο του σιδηροδρόμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΑ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ

2.1 Η κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών

Πριν την κατασκευή μιας νέας γραμμής ακολουθεί μία σειρά προκαταρκτικών μελετών, οι οποίες είναι: **[ΟΣΕ Α.Ε., 2016]**

- Συγκοινωνιακές μελέτες
Περιλαμβάνουν λεπτομερή μελέτη των συγκοινωνιακών ροών για την αποτίμηση του φορτίου που θα μεταφέρει η νέα γραμμή και συνεπώς τον αντίστοιχο σχεδιασμό του τροχαίου υλικού.
- Αναγνωριστικές μελέτες
Περιλαμβάνουν γρήγορη και χοντρική έρευνα της περιοχής χρησιμοποιώντας εξοπλισμό όπως κιάλια, πυξίδα, βηματομετρητή, μετροταινία, gps χειρός κ.α. για μετρήσεις έως 80 χιλιόμετρα ημερησίως
- Τοπογραφικές μελέτες
Περιλαμβάνουν λεπτομερή εξέταση της σχεδιασμένης διαδρομής ώστε να υπολογισθεί το κόστος της μελλοντικής σιδηροδρομικής γραμμής, με τη βοήθεια οργάνων όπως ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός, ο χωροβάτης κ.α.

Η κατασκευή ενός νέου σιδηροδρόμου είναι ένα πολύ μεγάλο έργο, κάθε χιλιόμετρο του οποίου κοστίζει μερικά εκατομμύρια ευρώ αναλόγως την τοπογραφία της περιοχής, τις προδιαγραφές της κατασκευής, και ορισμένα άλλα χαρακτηριστικά.

Η ανάγκη κατασκευής μιας νέας σιδηροδρομικής γραμμής προκύπτει για έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

- Πολιτικοί λόγοι
- Ανάπτυξη νέων περιοχών
- Σύνδεση εμπορικών κέντρων
- Συντόμευση υπαρχουσών σιδηροδρομικών συνδέσεων

Τέλος η κατασκευή μια νέας σιδηροδρομικής γραμμής απαιτεί μία σειρά μελετών που πρέπει να εκτελεστούν, οι οποίες είναι:

- Τοπογραφικές μελέτες
 - ✓ Τοπογραφικά δίκτυα (τριγωνισμός, πολυγωνομετρήσεις, χωροσταθμίσεις)
 - ✓ Επίγειες τοπογραφικές εργασίες για αποτύπωση υπαρχόντων δικτύων και χάραξη νέων
- Συγκοινωνιακές μελέτες (σιδηροδρομικό δίκτυο και συνοδά οδικά έργα)

- Γεωλογικές μελέτες
- Υδραυλικές μελέτες
- Στατικές μελέτες
- Περιβαλλοντικές μελέτες

Όσον αφορά στη συντήρηση των σιδηροτροχιών, οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό του κύκλου επιθεώρησής τους είναι:

- Η κατηγορία της γραμμής (όπως καθορίζεται βάσει του κυκλοφοριακού φόρτου και της ταχύτητας): κύριος άξονας, περιφερειακό δίκτυο
- Ο κυκλοφοριακός φόρτος της γραμμής
- Η κρισιμότητα της γραμμής (γραμμή στην οποία παρατηρούνται πολλά περιστατικά αστοχιών στις σιδηροτροχιές)
- Ειδικές περιπτώσεις (προγραμματισμός εργασιών συντήρησης)
- Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των ευρημάτων των προηγούμενων επιθεωρήσεων που δείχνουν την τάση τόσο όσον αφορά στο πλήθος των αναμενόμενων σφαλμάτων όσο και στον ρυθμό ανάπτυξής τους.

Στη συνέχεια ακολουθεί η χάραξη και η τοποθέτηση της σιδηροδρομικής γραμμής.

2.2 Η εξέλιξη των γεωδαιτικών μεθόδων στη σιδηροδρομική

Το αντικείμενο της γεωδαισίας στον κατασκευαστικό κλάδο της σιδηροδρομικής είναι ένα απαραίτητο συστατικό.

Οι γεωδαιτικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα περιλαμβάνουν την καθοδήγηση για την υλοποίηση του τελικού σχεδίου του έργου, τη διάταξη των κτηριακών υποδομών, και ασφαλώς την πραγματοποίηση μετρήσεων με την κατάλληλη μεθοδολογία και εξοπλισμό ώστε να επιτευχθούν τόσο οι ζητούμενες ακρίβειες στη χάραξη των σιδηροτροχιών όσο και η συλλογή ποιοτικών πληροφοριών για τον περιβάλλοντα χώρο της γραμμής και τη μετέπειτα εγκατάσταση των απαραίτητων υποδομών.

Η εμπειρία που έχει αποκτηθεί στον κλάδο της γεωδαισίας όλα αυτά τα χρόνια γίνεται εμφανής στην κατασκευή έργων, όπως γέφυρες, σήραγγες, σιδηροδρομικές γραμμές, γραμμές παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για ηλεκτροκίνηση σιδηροδρόμων, τοίχοι αντιστήριξης, σιδηροδρομικοί σταθμοί και άλλες σχετικές υποδομές.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι σχεδιαστικές μηχανές, εργαλεία τα οποία αναπτύσσονται συνεχώς, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της τοπογραφίας. Επομένως, νέες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας, όπως αυξημένες επιδόσεις, τεχνολογία πολυμέσων, εικονική πραγματικότητα,

γραφικό περιβάλλον χρήστη, οθόνες υψηλής ανάλυσης κ.α., πυροδοτούν εξελίξεις στον τοπογραφικό εξοπλισμό και τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους με συνέπεια την αύξηση της ακρίβειας, της επίδοσης και της ποιότητας των τοπογραφικών και σχεδιαστικών εργασιών στο χώρο του σιδηροδρόμου. Τα πιο συνηθισμένα αντικείμενα τοπογραφικών εργασιών στον τομέα της σιδηροδρομικής είναι οι επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις στα σημεία ενδιαφέροντος για την κατασκευή της γραμμής, ο σχεδιασμός του γεωδαιτικού δικτύου, η ίδρυση, η εγκατάσταση, η μέτρηση και η επίλυση του δικτύου, ο συνεχής έλεγχος του δικτύου και ανίχνευση μικρομετακινήσεων κατά τη φάση κατασκευής του έργου, καθώς και μετρήσεις που αφορούν στον τακτικό έλεγχο και στη συντήρηση της γεωμετρίας της τροχιάς.

Ο σχεδιασμός του γεωδαιτικού δικτύου γίνεται σύμφωνα με τη γεωμετρία του υπό κατασκευή έργου ώστε να αξιοποιηθεί στο μέγιστο κατά τις εργασίες χάραξης και αποτύπωσης της γραμμής. Το δίκτυο χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση μετρήσεων τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής όσο και κατά τη λειτουργία του σιδηροδρόμου. Για τον λόγο αυτό, η σήμανση του δικτύου συνήθως είναι μόνιμη και υλοποιείται με την κατασκευή βάθρων εξαναγκασμένης κέντρωσης. Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις που η σήμανση είναι προσωρινή, όπως γίνεται με τη βοήθεια στόχων που τοποθετούνται στον περιβάλλοντα χώρο της γραμμής. *[Bitterer L., Hodas S., 1998]*

Η διάρκεια ζωής της σιδηροδρομικής επιδομής είναι αρκετά μεγάλη (≈ 50 χρόνια), και γι' αυτό το λόγο η υλοποίησή της αφενός απαιτεί μεγάλο κόστος και αφετέρου οποιαδήποτε μετέπειτα επέμβαση στη χάραξη και στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (ιδίως στην περίπτωση σταθερής επιδομής) είναι δύσκολη και αντιοικονομική. Γι' αυτό και πρέπει μία τέτοια επένδυση από τη μία να εξετάζεται μακροπρόθεσμα και από την άλλη οι γεωδαιτικές μελέτες για τη χάραξή της να είναι ακριβείς και ορθές.

Οι γεωδαιτικές εργασίες κατά το στάδιο υλοποίησης μιας σιδηροδρομικής γραμμής είναι μείζονος σημασίας καθώς η εγκατάσταση και η κατασκευή της γραμμής πρέπει να γίνει με ασφάλεια και ακρίβεια, κάτι που εξαρτάται από την εμπειρία και την αξιοπιστία του τοπογραφικού συνεργείου. *[Λυμπέρης Κ., 2011]*

Η χρησιμότητα των σωστών γεωδαιτικών εργασιών και επομένως καλής χάραξης της γραμμής είναι μείζονος σημασίας καθώς μία σιδηροδρομική γραμμή πρέπει να εξασφαλίζει: *[Λυμπέρης Κ., 2011]*

- διανομή των φορτίων στην εσχάρα (σιδηροτροχιές, στρωτήρες)
- ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων
- δυναμική άνεση των επιβατών
- ασφάλεια κυκλοφορίας συρμών
- μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- μεγάλη διάρκεια ζωής με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος συντήρησης

Επίσης, η διεπιφάνεια τροχού – σιδηροτροχιάς απαιτεί τέλεια γεωμετρία για ομαλή λειτουργία. Η υψηλής ποιότητας γεωμετρία των σιδηροτροχιών μετά από εργασίες κατασκευής, ανακατασκευής ή συντήρησης συνεπάγεται μειωμένο μελλοντικό κόστος συντήρησης, υψηλότερη ασφάλεια και βελτιωμένη οικονομική απόδοση.

Η επιδομή και η γεωμετρία της γραμμής πρέπει να είναι συνεχώς σε καλή κατάσταση, ώστε να διασφαλίζεται η άνεση και η ασφάλεια των επιβατών καθώς και να ελαχιστοποιείται η φθορά των σιδηροτροχιών και των τροχών του τροχαίου υλικού. Για αυτό τον λόγο η γεωμετρία της επιδομής και των σιδηροτροχιών πρέπει να υποβάλλονται σε τακτικούς ελέγχους, ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες διορθώσεις, οριζοντιογραφικές και υψομετρικές.

Ο σύγχρονος γεωδαιτικός εξοπλισμός σε συνδυασμό με τα υψηλού τεχνικού επιπέδου μηχανήματα τακτοποίησης των σιδηροτροχιών προσφέρουν τη δυνατότητα γρήγορης και ακριβούς διόρθωσης της γραμμής (στην περίπτωση της σταθερής επιδομής είναι πολύ δύσκολες και γίνονται μόνο με τη χρήση έκκεντρων ελασμάτων). Οι διορθώσεις προκύπτουν από την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης της γραμμής με γεωδαιτικά όργανα και τη σύγκρισή της με τη γεωμετρία της γραμμής κατά τον σχεδιασμό. [*Amberg technologies AG, 2007*]

Ιστορικά, ο προσδιορισμός της θέσης των σημείων της τροχιάς γινόταν ξεχωριστά, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά. Ωστόσο, μία τέτοια διαδικασία αποδείχθηκε ότι είναι χρονοβόρα και ότι δίνει αποτελέσματα ανομοιογενή ως προς την ακρίβεια οριζοντιογραφικά (πχ ορθογωνική μέθοδος) και υψομετρικά (πχ γεωμετρική χωροστάθμιση).

Για αυτό το λόγο, με την πάροδο των ετών αναπτύχθηκαν λογισμικά-διαδικασίες που εισάγονται στους γεωδαιτικούς σταθμούς και εξάγουν τις καρτεσιανές συντεταγμένες σε τρεις διαστάσεις και ομοιογενή ως προς την ακρίβεια αποτελέσματα.

Έτσι λοιπόν, τόσο οι συμβατικές μέθοδοι (π.χ. μέθοδος των γωνιών) όσο και οι νεότερες μέθοδοι συμβατικών και μη οχημάτων (trolleys) χρησιμοποιούν μία προσέγγιση βασισμένη στις πολικές συντεταγμένες (οριζόντια, κατακόρυφη γωνία και μήκος) με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό υψηλής ακριβείας, εξασφαλίζοντας έτσι κοινό σύστημα συντεταγμένων και ομοιογενείς μετρήσεις.

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι οι ακρίβειες που προκύπτουν είναι συγκρίσιμες με αυτές της ξεχωριστής επίλυσης της οριζοντιογραφίας και της υψομετρίας, κάτι που ενθαρρύνει ακόμα περισσότερο τη χρήση της πιο σύγχρονης μεθόδου που αναφέρθηκε παραπάνω.

Στην περίπτωση των μεθόδων με τη χρήση οχημάτων γραμμής, οι συντεταγμένες των σημείων ενδιαφέροντος προκύπτουν από τις προσδιορισμένες θέσεις του ή των πρισμάτων (αν υπάρχουν πάνω από ένα πρίσματα) και τη γνωστή γεωμετρία του οχήματος.

Μία ακόμα σημαντική εξέλιξη είναι ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο, κάτι το οποίο διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τις εργασίες κατασκευής και ελέγχου της γραμμής.

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι οι σύγχρονες μέθοδοι που περιγράφονται απλοποιούν τη διαδικασία μετρήσεων των σημείων ενδιαφέροντος της σιδηροδρομικής γραμμής και είναι κατά πολύ ταχύτερες.

Επιπλέον, αντί να γίνεται χρήση δύο οργάνων (θεοδόλιχο, χωροβάτης), χρησιμοποιείται μόνο ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός.

Ιστορικά, οι τοπογράφοι έχουν χρησιμοποιήσει γωνιές (rail shoes) (εικόνα 2.2), μπάρες εύρους γραμμής (gauge bars) και υπερύψωσης (εικόνα 2.1) ή άλλες μεθόδους για την συλλογή μεμονωμένων σημείων κατά μήκος της τροχιάς, συχνά πραγματοποιώντας επιπρόσθετες μετρήσεις στο γραφείο για τον υπολογισμό θέσεων της σιδηροτροχιάς ή του άξονα βασισμένες στις μετρήσεις υπαίθρου. Προσφάτως, εμφανίστηκαν νέες τεχνικές προκειμένου να αυξηθεί σημαντικά η παραγωγικότητα ενός τοπογραφικού συνεργείου σχετικά με τη συλλογή πληροφορίας για την υφιστάμενη κατάσταση των σιδηροτροχιών.



Εικόνα 2.1: Μετρητής εύρους γραμμής (gauge bar) και μετρητής υπερύψωσης γραμμής (το όργανο που βρίσκεται πάνω από τον μετρητή εύρους) της εταιρίας Robel [www.robел.com]



Εικόνα 2.2: Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο των γωνιών

Αυτές οι τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούν μετρήσεις βασισμένες σε συστήματα οχημάτων (trolleys) σιδηροτροχιάς (εικόνα 2.3), δύνανται να συνδυάσουν την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στις επίγειες τοπογραφικές μεθόδους με τον μειωμένο χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων.



Εικόνα 2.3: Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο του τρόλεϋ GRP της εταιρίας Amberg Rail Technologies

Αποτελούμενα από ένα μικρό όχημα το οποίο τοποθετείται στις σιδηροτροχιές και κινείται από έναν χειριστή, αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν κλισίμετρο και αισθητήρα μέτρησης του πλάτους σιδηροτροχιών, εξοπλισμό τρισδιάστατου προσδιορισμού θέσης, μπαταρία και τον απαραίτητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό (εικόνα 2.3).

Τα οχήματα είναι μονωμένα από τις σιδηροτροχιές για την αποτροπή παρεμβολών στο σύστημα μετάδοσης, και διεξάγουν μετρήσεις στην κεφαλή της σιδηροτροχιάς κατά μήκος της κορυφής της κεφαλής και κατά μήκος του εσωτερικού της σιδηροτροχιάς σε απόσταση 14mm κάτω από την κορυφή.

Στη συνέχεια, οι μετρήσεις αυτές συσχετίζονται με τα γεωμετρικά δεδομένα που παρέχει ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός ή ο εξοπλισμός GPS, που συνοδεύουν το όχημα.

Τα εν λόγω οχήματα έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν μετρήσεις είτε κατά τη διάρκεια της κίνησής τους (kinematic mode) είτε σε συγκεκριμένα σημεία (stop & go mode) καθώς και να συλλέγουν 3D δεδομένα για τον περιβάλλοντα χώρο της σιδηροδρομικής γραμμής.

Κινούμενο σε ταχύτητα βαδίσματος, το σύστημα συλλέγει βασικά δεδομένα, όπως συντεταγμένες γραμμής, χιλιομετρική θέση, στοιχεία διατομής, εύρος γραμμής και υπερύψωση ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Ο τρισδιάστατος εντοπισμός θέσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών ή συστημάτων GPS υψηλής ακριβείας, με όλα τα δεδομένα να αποθηκεύονται σε έναν εύχρηστο υπολογιστή πεδίου (συνήθως ενσωματωμένο πάνω στο όχημα). Τα οχήματα έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν πολύ γρήγορα να τοποθετηθούν και να απομακρυνθούν από τη γραμμή, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο τα συνεργεία να συλλέξουν δεδομένα τηρώντας τους κανονισμούς ασφαλείας σχετικά με την πρόσβαση στη γραμμή και τα μικρά χρονικά περιθώρια εργασίας πάνω σε αυτές.

Επομένως, αυτά τα συστήματα όντας φορητά, είναι δυνατό να μεταφερθούν γρήγορα και να χρησιμοποιηθούν σε απομονωμένες περιοχές, όπου απαιτούνται πληροφορίες για τις σιδηροτροχιές. **[Dickey J., 2013]**

Η εφαρμογή ταχυτήτων στο Ελληνικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο της τάξης των 160 km/h σήμερα και 200 km/h τα αμέσως επόμενα έτη απαιτεί: **[ΟΣΕ Α.Ε., 2017]**

- Κατά τη φάση της κατασκευής, υψηλή ακρίβεια στην αρχική χάραξη της γεωμετρίας της σιδηροδρομικής γραμμής.
- Κατά τη συντήρηση της γραμμής, ακριβείς μετρήσεις για τον υπολογισμό των διορθωτικών τιμών και την επαναφορά της γραμμής στην απόλυτη γεωμετρία της.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων απαιτείται η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων υπολογισμού, χάραξης της απόλυτης γεωμετρίας της γραμμής με τη χρήση τοπογραφικών οργάνων - παρελκομένων, κατάλληλων υπολογιστών και εξειδικευμένου λογισμικού. Παράλληλα, απαιτείται η υλοποίηση κατάλληλων υποδομών με τη μορφή δικτύων υψηλής ακρίβειας κατά μήκος των σιδηροδρομικών γραμμών.

2.3 Απαιτήσεις σιδηροτροχιών σταθερής επιδομής

Η κατασκευή σιδηροτροχιών σταθερής επιδομής απαιτεί την επίτευξη ιδιαίτερα υψηλών ακριβειών, της τάξεως του $\pm 1\text{mm}$.

Τα υψομετρικά και οριζοντιογραφικά σφάλματα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν. Για το σκοπό αυτό καθ' όλες τις φάσεις κατασκευής πρέπει να υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα ελέγχου, προκειμένου να διατηρηθεί ακριβές το υψόμετρο της σιδηροτροχιάς και το εύρος της γραμμής.

Για την επίτευξη των προαναφερθέντων ανοχών χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα ώστε να ελέγχεται απόλυτα η ακριβής θέση των σιδηροτροχιών. Τέτοια συστήματα αφορούν στον έλεγχο της επιπεδότητας της σταθερής επιδομής καθώς και στον έλεγχο εύρους και υψομέτρων της.

Διαχρονικά, οι σιδηρόδρομοι έχουν χρησιμοποιήσει πληθώρα τεχνικών προσεγγίσεων για τη συλλογή και τη διαχείριση του μεγάλου πλήθους χωρικής πληροφορίας που χρειάζεται για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τα συστήματα χωρικής πληροφορίας (GIS).

Πολλοί οργανισμοί χρησιμοποιούν αερομεταφερόμενα ή επίγεια LiDAR για την απόκτηση μεγάλου όγκου δεδομένων. Τα εναέρια συστήματα προσφέρουν μεγάλη κάλυψη και βασίζονται σε επίγειες μεθόδους για τη παροχή συμπληρωματικών πληροφοριών για περιοχές μη ορατές από αέρος. Τα επίγεια LiDAR συχνά συλλέγουν πληροφορία χρησιμοποιώντας φορητά συστήματα εγκατεστημένα σε οχήματα σιδηροτροχιών, παρέχοντας επιπρόσθετες λεπτομέρειες.

Ωστόσο, καθώς η θέση του βασίζεται στο GPS, το επίγειο φορητό LiDAR είναι ένα ακόμα συμπλήρωμα των επίγειων μετρήσεων, το οποίο απαιτεί αρκετό χρόνο για την τοποθέτηση του εξοπλισμού στη γραμμή στη σωστή θέση.

Ωστόσο, ενώ και οι δύο προσεγγίσεις του LiDAR μπορούν να δουλέψουν καλά για τον προσδιορισμό της θέσης, δεν μπορούν να επιτύχουν την ακρίβεια και τη λεπτομέρεια που πετυχαίνουν εξειδικευμένα τοπογραφικά συνεργεία συλλέγοντας δεδομένα στο ύπαιθρο. Επομένως, δίνοντας έμφαση στις επίγειες τοπογραφικές εργασίες, αναπτύσσονται νέες προσεγγίσεις που αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και την παραγωγικότητα. [Dickey J.,2013]

Υπάρχει μία συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για ακριβείς μετρήσεις όσον αφορά τη θέση και τη στοίχιση των σιδηροτροχιών. Η ανάγκη αυτή αρχικά προέκυψε από την ανάπτυξη συστημάτων εντοπισμού σφαλμάτων στις τροχιές και των σχετικών χαρακτηριστικών τους. Ωστόσο, στη συνέχεια υπήρξαν νέες εφαρμογές που απαιτούσαν μετρήσεις με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για παράδειγμα, οι απαιτήσεις για αυξημένη ακρίβεια στη χάραξη σιδηροτροχιών έχουν εισαγάγει νέες προκλήσεις στον εντοπισμό θέσης και τις μετρήσεις. Επίσης, άλλες ενέργειες, όπως ο σχεδιασμός και η συντήρηση, είναι δυνατόν να απαιτούν μετρήσεις υψηλής ακριβείας σε σύντομα χρονικά διαστήματα. Και καθώς τα διαστήματα αυτά συνεχώς μικραίνουν, οι χειριστές του σιδηρόδρομου και τα τοπογραφικά συνεργεία αντιμετωπίζουν την πρόκληση της συλλογής περισσότερης πληροφορίας σε μικρότερα χρονικά διαστήματα.

Η δουλειά των μηχανικών γίνεται όλο και πιο περίπλοκη καθώς τα χρονικά παράθυρα στα οποία έχουν τη δυνατότητα να εργαστούν στο χώρο των γραμμών είναι πολύ μικρά ώστε να μην επηρεαστεί η κίνηση των συρμών. Επομένως, είναι αναγκαία η άμεση κινητοποίηση των μηχανικών και καμία καθυστέρηση λόγω δυσλειτουργίας του εξοπλισμού ή λάθη στη συλλογή δεδομένων.

Για την κάλυψη αυτών των αναγκών και των περιορισμένων ανοχών στο επίπεδο της ακρίβειας αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται πλέον συστήματα που βασίζονται στη χρήση οχημάτων γραμμής, τόσο σε συμβατικούς εμπορευματικούς και επιβατικούς όσο και σε σιδηροδρόμους υψηλών ταχυτήτων.

Πριν από την τοπογραφική εργασία, οι τεχνικοί μπορούν να εισάγουν στον υπολογιστή πεδίου το σχέδιο της υπό έλεγχο ή υπό κατασκευής γραμμής. Με αυτό τον τρόπο, καθώς το συνεργείο κινείται κατά μήκος της γραμμής, ο υπολογιστής υπολογίζει και παρουσιάζει τις αποκλίσεις της τροχιάς από τη στοίχιση, εύρος και υπερύψωση της τροχιάς σχεδιασμού. Το όχημα δίνει τη δυνατότητα στο συνεργείο να συλλέξει πληροφορία σε συγκεκριμένα σημεία της τροχιάς και να συσχετίσει αντικείμενα με τη Χ.Θ. της γραμμής. Κατά το πέρας των εργασιών, τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, «κατεβαίνουν» από τον υπολογιστή ώστε να πραγματοποιηθεί ποιοτικός έλεγχος, ανάλυση και επεξεργασία.

Στο τέλος, οι μηχανικοί και οι ιδιοκτήτες του έργου, με τη βοήθεια των εξαγόμενων στοιχείων όπως οι συντεταγμένες, οι οριζόντιες και κατακόρυφες χορδές, το εύρος κ.α., αποφασίζουν εάν απαιτείται να επέμβουν στη γεωμετρία της γραμμής ή όχι.

Πριν από τη προώθηση του συστήματος του οχήματος, η κατασκευάστρια εταιρεία διεξάγει εκτεταμένους ελέγχους για να διασφαλίσει την ακρίβεια συλλογής των απαραίτητων γεωμετρικών

δεδομένων της τροχιάς, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν η ακρίβεια αυτή είναι συγκρίσιμη με τις ακρίβειες που επιτυγχάνονται με τις κλασσικές τοπογραφικές επίγειες μεθόδους.

Το σύστημα του οχήματος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για εργασίες παρακολούθησης και για εργασίες συντήρησης της γραμμής, όπως υπογόμευση (μπουρέζα) ή διαμόρφωση έρματος (ρεγκαλέζα).

Το σύστημα του οχήματος είναι δυνατόν να προσαρμοστεί στις ανάγκες κάθε περίπτωσης. Για παράδειγμα, ο ακριβής εντοπισμός θέσης με GPS δουλεύει καλά για τη θέση και την ευθυγράμμιση της τροχιάς σε μεγάλες περιοχές. Σε εφαρμογές που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ρομποτικός γεωδαιτικός σταθμός για εντοπισμό θέσης. Τα συστήματα τρόλλεϋ σε συνδυασμό με γεωδαιτικό σταθμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή και την επίβλεψη σταθερής επιδομής, δεδομένης της υψηλής ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί.

Τέλος, τα συστήματα αυτά μπορούν να εξοπλιστούν με 3D laser scanner και υπό τον έλεγχο ενός GPS ή ενός γεωδαιτικού σταθμού να συλλέξουν νέφη σημείων παρόμοια με τα δεδομένα των εναέριων LiDAR. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη συλλογή χωρικών δεδομένων για τη συντήρηση του σιδηροδρόμου και τη σχεδίαση του περιτυπώματος σε σήραγγες, σταθμούς και άλλες εγκαταστάσεις με περιορισμένο χώρο. [Dickey J.,2013]

Επομένως, συμπεραίνεται ότι τέτοιου είδους συστήματα προσφέρουν λεπτομερείς και ακριβείς μετρήσεις, με το κύριο πλεονέκτημά τους να είναι η ικανότητα τους να μειώνουν το κόστος και τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας τοπογραφικής μελέτης, αυξάνοντας την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των εκτελούμενων εργασιών.

2.4 Χάραξη και Αποτύπωση επιδομής

Ως Γεωδαιτική υποδομή γραμμής ορίζεται το σύνολο των γεωδαιτικών εργασιών, κατασκευών και μετρήσεων που πρέπει να γίνουν κατά τη φάση κατασκευής ή ανακαίνισης μιας σιδηροδρομικής γραμμής, έτσι ώστε η αρχική στρώση και στη συνέχεια η συντήρηση να γίνεται με σύγχρονες τοπογραφικές μεθόδους, εξασφαλίζοντας μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό της απόλυτης θέσης της γραμμής στο χώρο [ΕΔΙΣΥ Α.Ε., 2009] (εικόνα 2.4).

Η μέθοδος της σταθερής επιδομής συνίσταται στον εγκιβωτισμό της εσχάρας γραμμής σε φέρουσα σκάφη σκυροδέματος, την οριζοντιογραφική και υψομετρική της ρύθμιση και την παγίωσή της στην οριστική της θέση με σκυρόδεμα πλήρωσης υψηλής αντοχής, για επίτευξη ταχυτήτων άνω των 200 χλμ/ώρα.



Εικόνα 2.4: Τοπογραφικές εργασίες στο χώρο του σιδηροδρόμου
 [www.railstaff.uk, metro.co.uk, ipit.ooo, www.railengineer.uk]

Το αντικείμενο της τοπογραφίας σε τέτοιου είδους έργα συνίσταται στις αυξημένες απαιτήσεις σε ακρίβεια – απαίτηση που επιβάλλουν οι υψηλές ταχύτητες – τόσο στο σχεδιασμό του (μέσω της μελέτης εφαρμογής), όσο και στην υλοποίηση και παρακολούθηση των στρώσεων της σταθερής επιδομής. Συνήθως με την οριστικοποίηση των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού του έργου, όπως είναι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της χάραξης (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, τυπικές διατομές, υπερύψωση στις καμπύλες), αρχίζει και η εκπόνηση της μελέτης εφαρμογής, βασικό τμήμα της οποίας αποτελεί η ίδρυση τριγωνομετρικού και χωροσταθμικού δικτύου. [Θεοδώρου Π., Ζουλούμης Γ., 2004]

Βασική επιδίωξη για την υλοποίηση του δικτύου είναι η ελαχιστοποίηση όλων των σφαλμάτων που εμπεριέχονται στο σύστημα όργανο – παρατηρητής – στόχος – πλήθος και συνόρθωση των μετρήσεων, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται ακρίβειες της τάξης των λίγων mm στο οριζοντιογραφικό και στο υψομετρικό δίκτυο.

Αυτό γίνεται δυνατό :

- α) με την πάκτωση στις παρειές των σηράγγων αλλά και των γεφυρών στο εξωτερικό έργο, μεταλλικών βάσεων που επιτρέπουν την εξαναγκασμένη κέντρωση του οργάνου και του στόχου,

- β) την αυτόματη αναγνώριση του στόχου για τη μέτρηση, εξαλείφοντας έτσι τα σφάλματα που προέρχονται από τον παρατηρητή (σφάλματα εκτίμησης, σφάλμα στόχου, χονδροειδή σφάλματα),
- γ) την εκτέλεση πλεοναζόντων μετρήσεων (διευθύνσεων και αποστάσεων) και επιπλέον
- δ) τη συνόρθωση των δικτύων με τη μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της μελέτης και κατασκευής του έργου πρέπει να είναι σύγχρονος και τεχνολογικά άρτιος, ώστε να επιτευχθούν οι ζητούμενες ακρίβειες.

Οι μικρές ανοχές που επιτρέπουν οι προδιαγραφές κατασκευής του έργου, ιδιαίτερα δε οι αποκλίσεις των μεγίστων που θεωρούνται επισφαλείς για τη στατική αρτιότητα του πολυστρωματικού φορέα της σταθερής επιδομής, οδηγεί στην αντιμετώπιση της υλοποίησης αλλά και παρακολούθησης των στρώσεων σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό, με το οποίο επιτυγχάνεται αυτό, ανάλογα με την επιλεγμένη προς εφαρμογή διατομή μπορεί να συγκρίνει τη θέση που βρίσκεται ο στόχος με τη θεωρητική (και στις τρεις διαστάσεις X,Y,Z) και να κατευθύνει την κατασκευή μέσω ενός H/Y πεδίου. **[Θεοδώρου Π., Ζουλούμης Γ., 2004]**

Γίνεται αντιληπτό ότι εκτός από τις καλύτερες ακρίβειες που επιτυγχάνονται σε σχέση με τις κλασσικές μεθόδους, επιτυγχάνονται και υψηλότερες αποδόσεις των συνεργείων σε μικρότερο χρόνο.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της φέρουσας στρώσης σκυροδέματος και τη στρώση της εσχάρας της γραμμής, έπεται η διαδικασία ρύθμισης και τακτοποίησης της γραμμής. Κατά τη φάση εκτέλεσης της εργασίας αυτής εισάγεται η έννοια της εσωτερικής γεωμετρίας της εσχάρας που είναι και η πιο κρίσιμη για την επίτευξη ομαλότητας στην επιφάνεια κύλισης της σιδηροτροχιάς και τη δημιουργία αισθήματος άνεσης στον επιβάτη.

Για την εκτέλεση της εργασίας αυτής γίνεται χρήση ειδικών αμαξιδίων, τα οποία φέρουν H/Y, συγκρίνοντας τις τιμές που καταγράφονται από το γεωδαιτικό σταθμό μέσω προσαρμοσμένου στόχου με τις θεωρητικές τιμές της μελέτης που βρίσκονται ήδη αποθηκευμένες στη μνήμη, και προκύπτει η απαιτούμενη διόρθωση της εσχάρας με γραφικό τρόπο στην οθόνη. Η απαιτούμενη κάθε φορά διόρθωση παραλαμβάνεται από τους κοχλίες οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ρύθμισης (spindeln), οι οποίοι εναλλάσσονται ανά στρωτήρα.

Κάτι στο οποίο θα πρέπει να γίνει αναφορά είναι ότι απαιτείται ξεχωριστή γεωμετρία ανά κλάδο γραμμής, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με την τακτοποίηση της σκυρογραμμής όπου η γεωμετρία του άξονα της διπλής γραμμής είναι επαρκής.

Η διαδικασία της ρύθμισης χωρίζεται σε δύο φάσεις, μια διέλευση του αμαξιδίου με σκοπό την προρύθμιση, δηλαδή την τακτοποίηση κυρίως οριζοντιογραφικά της γραμμής και την υψομετρική της ρύθμιση 3-4 mm κάτω από την ερυθρά, και την τελική ρύθμιση όπου ρυθμίζεται στην τελική της θέση, γίνεται καταγραφή και παραλαβή και είναι έτοιμη για σκυροδέτηση. Το λογισμικό που φέρει το αμαξίδιο έχει την δυνατότητα καταγραφής πολλών δεδομένων όπως Χ,Υ,Η,Χ.Θ στρωτήρα, υπερύψωση, εύρος γραμμής, στρεβλότητα, ώρα καταγραφής κλπ.

Με το πέρας της σκυροδέτησης γίνεται εκ νέου διέλευση με το αμαξίδιο, καταγραφή ανά στρωτήρα και σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ο έλεγχος της εσωτερικής γεωμετρίας θα πρέπει να περνάει τους ελέγχους που έχουν ορίσει οι προδιαγραφές σχετικά με το εύρος και την υπερύψωση της γραμμής και οι οποίοι είναι πολύ αυστηροί. Αναφέρεται ενδεικτικά ότι για χορδή μήκους 5 μέτρων (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά) η επιτρεπόμενη απόκλιση των βελομετρήσεων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2 mm, για χορδή μήκους 150 μέτρων (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά) η επιτρεπόμενη απόκλιση των βελομετρήσεων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10 mm κλπ.

Το δεύτερο κριτήριο ουσιαστικά αποτρέπει τη δημιουργία κυματισμού στη γραμμή, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται σε σχετικά μεγάλο μήκος και συχνά οφείλεται σε σφάλμα του δικτύου, δηλαδή στην εξωτερική γεωμετρία. Στις ελάχιστες περιπτώσεις που υπάρχουν αποκλίσεις πέραν του επιτρεπόμενου, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης υποθέματος στον σύνδεσμο της σιδηροτροχιάς, εργασία που πρέπει να περιορίζεται στο 15-20% του συνολικού αριθμού των στρωτήρων.

Οι μέσες ημερήσιες παραγωγές των συνεργείων προρύθμισης και ρύθμισης είναι 378 μέτρα και 270 μέτρα αντίστοιχα. *[Θεοδώρου Π., Ζουλούμης Γ., 2004]*

2.5 Μεθοδολογία χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών

Δύο από τις κυριότερες τοπογραφικές εργασίες κατά την κατασκευή και λειτουργία ενός σιδηροδρόμου είναι η χάραξη και η αποτύπωση των σιδηροτροχιών.

Οι εργασίες της χάραξης και της αποτύπωσης ήταν αναγκαίες από την πρώτη στιγμή εμφάνισης των σιδηροδρόμων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν σίγουρα διαφέρουν από τις σημερινές δεδομένου της μεγάλης εξέλιξης της τεχνολογίας. Τα παλαιότερα χρόνια, που δεν υπήρχαν ακόμη τα σημερινά τοπογραφικά όργανα και λογισμικά, για την εκτέλεση της χάραξης και της αποτύπωσης χρησιμοποιούνταν περισσότερο εμπειρικές και λιγότερο ακριβείς διαδικασίες. Εξάλλου οι απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες και άνεση ήταν πολύ λιγότερες από τις

σημερινές. Έτσι λοιπόν, τα παλαιότερα χρόνια υπήρχαν τα λεγόμενα πικέτα (μερικά υπάρχουν ακόμη και σήμερα).

Τα πικέτα είναι σημεία (καρφιά) στον τοίχο στη μάντρα της γραμμής ή στον ΟΣΕ σε παλιές σιδηροτροχιές σαν πάσσαλοι στο έδαφος. Σε αυτά τα σημεία (πονταρισμένα) είναι υπολογισμένη η χλιομέτρηση, η οριζόντια απόσταση ως προς την εσωτερική παρειά της κοντινότερης σιδηροτροχιάς και η υψομετρική διαφορά του σημείου αυτού ως προς τη σιδηροτροχιά (με τη χρήση χωροβάτη).

Με βάση αυτές τις μετρήσεις και σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια της γραμμής προκύπτουν οι κατάλληλες οριζοντιογραφικές και υψομετρικές διορθώσεις. Τα πονταρισμένα αυτά σημεία βρίσκονται ανά 20 – 40 m. Επομένως η γραμμή τοποθετούνταν με βάση τα πικέτα και στο ενδιαμέσο τυχόν διορθώσεις για την επίτευξη ομαλής γεωμετρίας γινόταν με το μάτι. Αυτό που απαιτεί προσοχή σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αν σε μία καμπύλη η γραμμή παρουσιάζει ασυμφωνία τότε δε δύναται να εντοπιστεί εάν αυτή είναι στο υψόμετρο ή στην οριζοντιογραφία.

2.5.1 Χάραξη σιδηροτροχιών

Η διαδικασία της χάραξης σιδηροτροχιών είναι μία αμιγώς τοπογραφική εργασία και το αντικείμενο της συνίσταται στο σχεδιασμό, τη μέτρηση, την τοποθέτηση και τον τελικό έλεγχο της γεωμετρίας των σιδηροτροχιών.

Χάραξη πραγματοποιείται σε κάθε περίπτωση που πρόκειται να κατασκευαστεί μία νέα σιδηροδρομική γραμμή.

Η διαδικασία χάραξης των σιδηροτροχιών και προσαρμογής τους στην επιθυμητή θέση διενεργείται σε πέντε στάδια/βήματα με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων. Περιληπτικά, τα στάδια αυτά είναι: [*Knittel S., Kowalski M, 2008*]

- ✓ Ανύψωση και τοποθέτηση στρωτήρων και σιδηροτροχιών με τη χρήση μηχανημάτων υδραυλικής ανύψωσης (εικόνα 2.5). Η καθοδήγηση του μηχανήματος βασίζεται σε σημεία αναφοράς που βρίσκονται στην άκρη της γραμμής και η ακρίβεια με την οποία πραγματοποιείται η τοποθέτηση της γραμμής είναι +/- 20 mm πλευρικά και – 20 mm έως 0 mm υψομετρικά.
- ✓ Χονδρική προσαρμογή της γραμμής. Αποτελεί το πρώτο βήμα προσαρμογής της θέσης της γραμμής και διενεργείται με ειδικά μηχανήματα (πχ. γερανογέφυρες) σε συνδυασμό με τον κατάλληλο γεωδαιτικό εξοπλισμό (πχ. με οχήματα γραμμής, όπως HERGIE, GRP κλπ.) (εικόνα 2.6 και 2.7). Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στη θέση της γραμμής είναι +/- 2 mm τόσο πλευρικά όσο και υψομετρικά. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο ώστε να

εξισορροπηθούν οι σημαντικότερες αβεβαιότητες του πρώτου σταδίου.

- ✓ Μικρο-προσαρμογή της γραμμής (εικόνα 2.8). Αυτό το βήμα περιλαμβάνει τη μικροδιόρθωση της γραμμής, η οποία γίνεται με τη βοήθεια τοπογραφικού εξοπλισμού υψηλής ακριβείας (πχ οχήματα γραμμής). Η γραμμή ρυθμίζεται χειροκίνητα με τη βοήθεια κοχλίων που βρίσκονται στα άκρα των στρωτήρων (συνήθως έναν παρά έναν στις καμπύλες και ανά τρεις στις ευθυγραμμίες) και η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι μικρότερη του 1mm. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων δίνει τη δυνατότητα μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο και την υπόδειξη από το σύστημα της εκάστοτε απαιτούμενης διόρθωσης.
- ✓ Σκυροδέτηση γραμμής στην τελική της θέση
- ✓ Επανέλεγχος γεωμετρίας γραμμής



Εικόνα 2.5: Ανύψωση και τοποθέτηση στρωτήρων και σιδηροτροχιών [Φώλας Α., 2009]



Εικόνα 2.6: Εργασίες προσαρμογής της γραμμής μέσω κοχλίων και με τη χρήση του συστήματος GRP
[<http://www.ambergtechnologies.ch/>]



Εικόνα 2.7: Εργασίες χάραξης και προσαρμογής σιδηροτροχιών με τη βοήθεια του αντίστοιχου λογισμικού
[www.rhomberg-sersa.com]



Εικόνα 2.8: Κοχλίας μικροπροσαρμογής σιδηροτροχιών κατά τις εργασίες της χάραξης [Φώλας Α., 2009]

Στη συνέχεια περιγράφονται λίγο πιο αναλυτικά οι εργασίες που περιλαμβάνονται στα παραπάνω στάδια κατασκευής μιας σιδηροδρομικής γραμμής σταθερής επιδομής, από τη διανομή των σιδηροτροχιών μέχρι τη σκυροδέτηση της γραμμής. [*Rhomberg rail, version 070621-01*] Αυτές είναι:

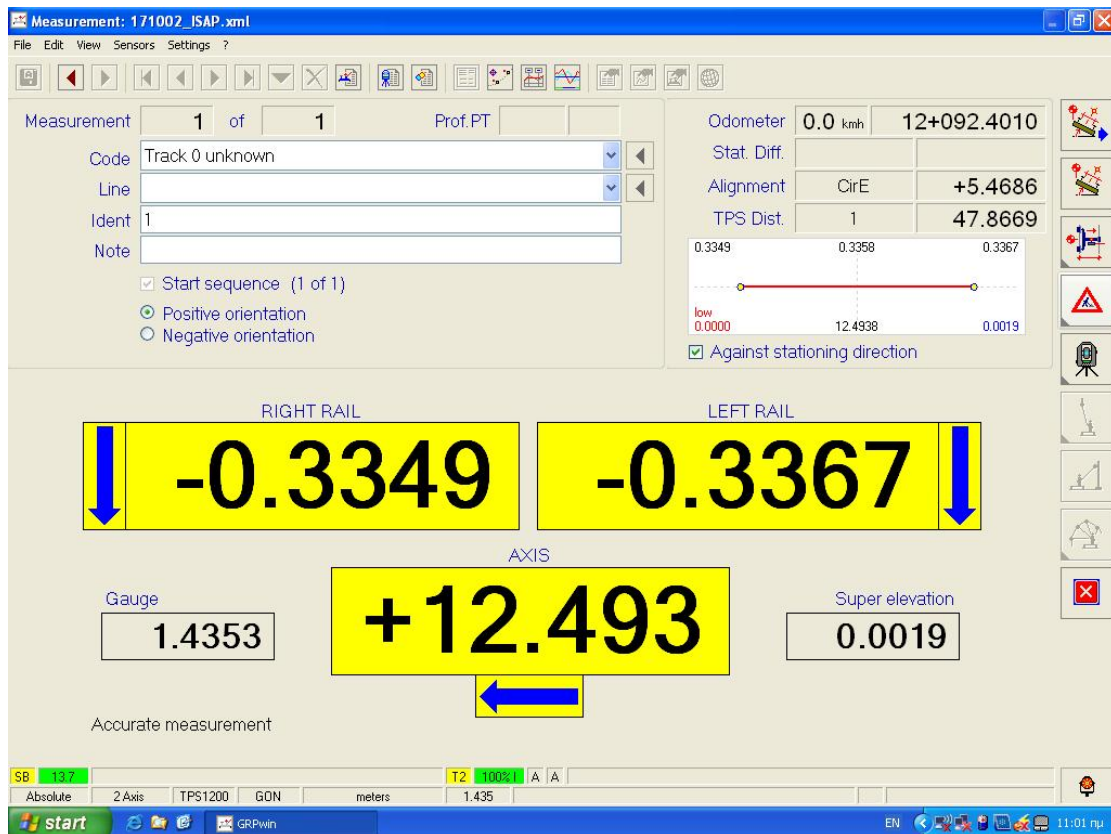
- Διανομή των σιδηροτροχιών κατά μήκος του έργου
 - Διανομή των στρωτήρων κατά μήκος του έργου
 - Συναρμολόγηση σιδηροτροχιών και στρωτήρων – δημιουργία εσχάρας
 - Τοποθέτηση και χονδρική προσαρμογή γραμμής
 - Λεπτομερής προσαρμογή με κοχλίες οριζοντιογραφικής και υψομετρικής προσαρμογής. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε κάθε ένα κοχλία και αποτελείται από 3 βήματα:
 - Ρύθμιση της οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας
 - Υψομετρική προσαρμογή γραμμής
 - Προσαρμογή της επίκλισης της γραμμής
- Η πραγματοποίηση ενός από τα τρία παραπάνω βήματα επιδρά στα υπόλοιπα. Επομένως μόνο όταν έχουν ολοκληρωθεί και τα τρία βήματα σε έναν κοχλία ρύθμισης είναι δυνατή η συνέχιση της εργασίας στον επόμενο.
- Τελικός υψομετρικός και οριζοντιογραφικός έλεγχος της γραμμής πριν τη σκυροδέτηση της
 - Σκυροδέτηση
 - Επανελέγχος

Για τη διαδικασία της χάραξης των σιδηροτροχιών έχει χρησιμοποιηθεί διαχρονικά πληθώρα γεωδαιτικών μεθόδων. Οι πιο διαδομένες από αυτές είναι

- η μέθοδος των γωνιών,
- η μέθοδος συμβατικών αμαξιδίων καταγραφής γραμμής καθώς και
- η μέθοδος εξελιγμένων αμαξιδίων γραμμής τα οποία είναι εξοπλισμένα με κατάλληλους αισθητήρες και υπολογιστή υπαίθρου για τη συλλογή των πληροφοριών της γραμμής.

Σε κάθε περίπτωση, επιδιώκεται η προσαρμογή της νέας γραμμής σε έναν άξονα σχεδιασμού, ο οποίος είναι γνωστός εκ των προτέρων και έχει εισαχθεί στον χρησιμοποιούμενο γεωδαιτικό σταθμό. Οι ακρίβειες που πρέπει να επιτευχθούν στη χάραξη μιας σιδηροδρομικής γραμμής και στην τοποθέτηση των σιδηροτροχιών είναι πολύ υψηλές (< mm) και με την πάροδο των χρόνων και την ύπαρξη μεγαλύτερων απαιτήσεων σε ταχύτητα, άνεση και ασφάλεια γίνονται συνεχώς υψηλότερες.

Για την επίτευξη λοιπόν των απαιτούμενων ανοχών, κυρίως στην περίπτωση της σταθερής επιδομής, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα ώστε να ελέγχεται απόλυτα η ακριβής θέση των σιδηροτροχιών. Τέτοια συστήματα αφορούν στον έλεγχο της επιπεδότητας της σταθερής επιδομής καθώς και στον έλεγχο εύρους και υψομέτρων της σιδηροδρομικής γραμμής. Η πλέον συνήθης μορφή είναι η τοποθέτηση κοχλίων στα άκρα των στρωτήρων, που στηρίζονται στη σκάφη του σκυροδέματος. Με τη βοήθεια αυτών των κοχλίων και τη χρήση ενός αμαξιδίου γραμμής που επιδεικνύει στους εργάτες τη διόρθωση που απαιτείται σε κάθε σημείο, γίνεται η μικρο-προσαρμογή της γραμμής. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι θέσεις που βρίσκονται οι κοχλίες καθορίζουν και το πόσο καλά θα χαραχθεί η γραμμή καθώς μετρήσεις και διορθώσεις πραγματοποιούνται μόνο σε σημεία που βρίσκονται κοχλίες. Μετά την τοποθέτηση των στρωτήρων σε σκυρόδεμα πλήρωσης και την υψομετρική και οριζοντιογραφική τους τακτοποίηση, αφαιρούνται οι κοχλίες και οι οπές πληρούνται με ένεμα που δεν συστέλλεται, ώστε να μην διεισδύσει νερό. Συνήθως οι κοχλίες τοποθετούνται σε έναν παρά έναν στρωτήρα.



Εικόνα 2.9: Στιγμιότυπο λογισμικού χάραξης γραμμής της εταιρίας Amberg Technologies

Στην εικόνα 2.9 εμφανίζεται στιγμιότυπο του λογισμικού χάραξης που διαθέτει το GRP της εταιρίας Amberg Technologies, σύμφωνα με το οποίο για να τοποθετηθεί η γραμμή στη θέση της, με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια, πρέπει στη θέση που βρίσκεται το τρόλεϋ η δεξιά σιδηροτροχιά να κατέβει 0.3349 m, η αριστερή σιδηροτροχιά να κατέβει 0.3367 m και ολόκληρη η γραμμή να μεταφερθεί προς τα αριστερά κατά 12.493 m.

2.5.2 Αποτύπωση σιδηροτροχιών

Σε αντίθεση με τη διαδικασία χάραξης σιδηροτροχιών, η διαδικασία αποτύπωσης πραγματοποιείται σε περίπτωση που απαιτείται η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης της γραμμής και του περιβάλλοντος χώρου και όχι όταν πρόκειται να κατασκευαστεί νέα γραμμή (εικόνα 2.10). Επομένως αποτύπωση πραγματοποιείται σε μία ήδη υπάρχουσα σιδηροδρομική γραμμή, είτε για λόγους ψηφιοποίησης της, είτε για λόγους ελέγχου της γεωμετρίας της είτε για λόγους διόρθωσής της.

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση μιας γραμμής είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για τη χάραξη, με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται διαφορετικό λογισμικό. Πάντως, όπως στην περίπτωση της χάραξης, έτσι και σε αυτή

την περίπτωση χρησιμοποιείται η πληροφορία που συλλέγεται κατά την αποτύπωση, συγκρίνεται με τη γεωμετρία σχεδιασμού που έχει εισαχθεί στο όργανο και από αυτή τη σύγκριση προκύπτουν οι τυχόν διορθώσεις που πρέπει να εφαρμοστούν στη γεωμετρία της γραμμής.

Στις χώρες του εξωτερικού, η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης γίνεται ανά στρωτήρα ($\approx 60\text{cm}$). Κάτι τέτοιο ωστόσο θεωρείται υπερβολικό και δεν έχει σχέση με την ακρίβεια της γεωμετρίας της γραμμής, η οποία είναι ικανοποιητική ακόμα και αν γίνει στρωτήρα παρά στρωτήρα. Η φιλοσοφία λοιπόν που οδηγεί αυτές τις χώρες να αποτυπώνουν ανά στρωτήρα είναι η φιλοσοφία του μητρώου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουν μετρηθεί και να έχουν καταγραφεί όλοι οι στρωτήρες έτσι ώστε στην περίπτωση που απαιτείται κάποια διόρθωση στη γραμμή να είναι δυνατός ο εντοπισμός της με βάση την αρίθμηση τους. *[Zέρβας Α., προσωπικές συζητήσεις 2018]*



Εικόνα 2.10: Αμαξίδιο χάραξης-αποτύπωσης σιδηροτροχιών της εταιρίας Amberg Technologies

2.6 Τα γεωδαιτικά δίκτυα των σιδηροδρομικών έργων

Για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες χάραξης και αποτύπωσης μιας σιδηροδρομικής γραμμής είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός γεωδαιτικού δικτύου στην περιοχή κατασκευής. Ένα γεωδαιτικό δίκτυο, το οποίο χρησιμεύει στην εγκατάσταση και τον έλεγχο της γεωμετρίας της γραμμής πρέπει να ιδρυθεί με τέτοιο τρόπο ώστε όλα τα γεωμετρικά στοιχεία της εσωτερικής και εξωτερικής γεωμετρίας (βλέπε κεφάλαιο 1.2) να μπορούν να μετρηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια.

Η εγκατάσταση και ο έλεγχος της θέσης των σιδηροτροχιών πραγματοποιείται με τη βοήθεια των συντεταγμένων σημείων της γραμμής. Η ακρίβεια που απαιτείται πολλές φορές είναι μικρότερη του 1mm.

Σφάλματα που επιδρούν στις μετρήσεις προέρχονται από:

- ✓ Τα τυχαία σφάλματα του συστήματος όργανο-παρατηρητής-μέτρηση
- ✓ Την ακρίβεια του γεωδαιτικού δικτύου
- ✓ Τον προσδιορισμό των συντεταγμένων της θέσης του γεωδαιτικού σταθμού στο γεωδαιτικό δίκτυο του έργου (π.χ. free station)
- ✓ Τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του δικτύου
- ✓ Τη μεταβολή των δύο παραπάνω στη διάρκεια του χρόνου
- ✓ Την επαναληψιμότητα των μετρήσεων
- ✓ Την ύπαρξη συστηματικών σφαλμάτων στους άξονες του οργάνου
- ✓ Τη σωστή ρύθμιση των παραμέτρων των οργάνων (π.χ. σταθερά καταφώτου)
- ✓ Τη θερμοκρασία, την πίεση και τη διάθλαση της ατμόσφαιρας (κυρίως στις κατακόρυφες γωνίες)
- ✓ Την ακρίβεια της εσωτερικής γεωμετρίας της μεθόδου μέτρησης της γραμμής (π.χ. του οχήματος μέτρησης (trolley) της γραμμής, των γωνιών)

2.7 Προδιαγραφές RAIL.ONE (RHEDA 2000 system)

Στη συνέχεια παρουσιάζεται περιληπτικά η διαδικασία ίδρυσης, υλοποίησης, μέτρησης και επίλυσης ενός γεωδαιτικού δικτύου όπως αυτό σχεδιάζεται για την κάλυψη των αναγκών ενός σιδηροδρομικού έργου. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις τέτοιου είδους δικτύων, αναλόγως το είδος του έργου. Ακολουθεί η προσέγγιση κατασκευής σταθερής επιδομής με το σύστημα RHEDA 2000, με βάση το οποίο κατασκευάστηκε τμήμα ≈ 33 km του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου Αθηνών (Γραμμή 1).

Οι απαιτούμενες προδιαγραφές για την εκτέλεση όλων των γεωδαιτικών εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή μιας σιδηροδρομικής γραμμής με το σύστημα RHEDA 2000 της εταιρίας RAIL.ONE [Rail.One, 2009] είναι:

Ο γεωδαιτικός εξοπλισμός που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή σταθερής επιδομής είναι σημαντικό να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες ακρίβειες.

Ο εξοπλισμός πρέπει να ελέγχεται τουλάχιστον κάθε 12 μήνες από μία πιστοποιημένη υπηρεσία γεωδαιτικού εξοπλισμού εγκεκριμένη από τον κατασκευαστή. Πριν από κάθε χρήση των οργάνων, πρέπει να ελέγχεται η λειτουργία τους με τη βοήθεια ενσωματωμένου λογισμικού ή άλλων κοινών μεθόδων.

Όσον αφορά τον χρησιμοποιούμενο γεωδαιτικό σταθμό, για την επίτευξη των ζητούμενων ακριβειών στις μετρήσεις κατά την κατασκευή και τοποθέτηση μιας σιδηροδρομικής γραμμής χρησιμοποιείται η μέθοδος πολικών συντεταγμένων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται επίσης και για τη μέτρηση δικτύων, μετρήσεις παραμορφώσεων, εργασίες αποτύπωσης κ.α.

Οι απαιτούμενες ακρίβειες στις μετρήσεις γωνιών και μηκών στην κατασκευή σταθερής υποδομής είναι οι ακόλουθες:

- Ακρίβεια στη μέτρηση γωνιών: $\pm 3^{\circ}$
- Ακρίβεια στη μέτρηση μηκών: $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$

Για την αποφυγή ανθρώπινων σφαλμάτων κατά τη σκόπευση, είναι σκόπιμο ο γεωδαιτικός σταθμός να διαθέτει σύστημα αυτόματης σκόπευσης, επιτρέποντας επίσης την αυξημένη ταχύτητα και ευκολία των τοπογραφικών εργασιών.

Σχετικά με τις υψομετρικές μετρήσεις σε ένα δίκτυο, στην τοποθέτηση μιας γραμμής και στην ρύθμισή της με ακρίβεια καλύτερη των 5mm, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ψηφιακοί χωροβάτες.

Η ζητούμενη ακρίβεια για αυτά τα όργανα πρέπει να είναι καλύτερη από 0.3mm ανά km σε μετάβαση και επιστροφή, με χρήση σταδίων invar. Οι ψηφιακοί χωροβάτες απαιτούν τακτικούς ελέγχους, ιδιαίτερα μετά από εκτεταμένες μεταφορές.

Για την τοποθέτηση και την προσαρμογή των σιδηροτροχιών χρησιμοποιείται αμαξίδιο καταγραφής σε συνδυασμό με τον γεωδαιτικό σταθμό. Το όχημα είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες για διαρκή μέτρηση πλάτους και επίκλησης σιδηροτροχιών. Όλες οι μετρήσεις από τον γεωδαιτικό σταθμό και το αμαξίδιο συγκεντρώνονται σε έναν υπολογιστή. Εκεί, με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού υπολογίζονται και παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν στη γραμμή οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, ώστε να επιτευχθεί η γεωμετρία σχεδιασμού της γραμμής.

Τέλος, υπάρχουν και αναλογικές συσκευές μέτρησης του εύρους και της επίκλισης που χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή και την τοποθέτηση της γραμμής, και οι οποίες πρέπει να ελέγχονται συχνά.

Το σημαντικότερο κομμάτι στην κατασκευή σταθερής επιδομής είναι το υψηλής ακρίβειας και ομοιογενές γεωδαιτικό δίκτυο¹ ελέγχου του έργου, το οποίο υλοποιείται από μόνιμα σημεία (**Permanent Marking Points**) κατά μήκος και εκατέρωθεν της γραμμής. Το σφάλμα προσδιορισμού αυτών των σημείων πρέπει να είναι μικρότερο από $\pm 5\text{mm}$ οριζοντιογραφικά και μικρότερο από $\pm 1\text{mm}$ υψομετρικά².

Υποτίθεται ότι υπάρχει ήδη ένα γεωδαιτικό δίκτυο ανώτερης τάξης, το οποίο αποτελεί τη βάση όλων των τοπογραφικών εργασιών που έχουν προηγηθεί (σχεδιασμός, χωματουργικά).

Η απόσταση μεταξύ των σημείων αυτού του δικτύου δεν είναι μεγαλύτερη από 1 km και το τυπικό σφάλμα θέσης δεν είναι μεγαλύτερο από $\pm 15\text{ mm}$. Αυτό το πλαίσιο αναφοράς χρησιμοποιείται για την ίδρυση του νέου δικτύου PMP, ώστε να διασφαλισθεί ότι όλες οι τοπογραφικές εργασίες θα γίνουν στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων.

Οι κορυφές του δικτύου εγκαθίστανται εκατέρωθεν της υπό κατασκευή γραμμής. Κάθε κορυφή πρέπει να βρίσκεται το πολύ 30 cm πάνω από την κορυφή της σιδηροτροχιάς, και η απόσταση μεταξύ των κορυφών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 60m. Για τις περεταίρω τοπογραφικές εργασίες κατά τη διάρκεια εγκατάστασης της σιδηροδρομικής γραμμής, συνήθως χρειάζονται 8 κορυφές του δικτύου (4 σε κάθε πλευρά της γραμμής) για free station. Η μικρή απόσταση μεταξύ των κορυφών μπορεί να εξασφαλίσει ότι στη μία πλευρά της γραμμής 4 κορυφές του δικτύου είναι ορατές για μελλοντικές στάσεις. Ειδικά στις καμπύλες με μεγάλη καμπυλότητα η απόσταση μεταξύ των κορυφών πρέπει να μικρύνει ώστε να εξασφαλισθεί η ορατότητα σε αρκετά σημεία του δικτύου. Η ορατότητα μεταξύ των σημείων μπορεί να διευκολυνθεί με τη βοήθεια προεκτάσεων στόχων.

Η σήμανση των κορυφών του δικτύου γίνεται με ειδικά μπουλόνια, με σαφώς καθορισμένη θέση και υψόμετρο.

Οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου κατά X και κατά Y υπολογίζονται από την επίλυση ενός δικτύου με μετρήσεις από γεωδαιτικό σταθμό υψηλής ακρίβειας.

¹ Τα παλαιότερα χρόνια αντί για την ίδρυση δικτύου συνήθως πρακτική αποτελούσε η ίδρυση δύο ή περισσότερων πλήρως εξαρτημένων πολυγωνομετρικών οδεύσεων εκατέρωθεν της γραμμής (ΕΡΓΟΣΕ –ΕΔΙΣΥ Α.Ε. 2009).

² Στην περίπτωση προδιαγραφών σκυρογραμμής οι ανοχές αυξάνονται σε $\pm 1\text{cm}$ οριζοντιογραφικά και $\pm 2\text{mm}$ υψομετρικά(ΕΡΓΟΣΕ –ΕΔΙΣΥ Α.Ε. 2009).

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δίνεται προσοχή στα παρακάτω σημεία:

- Το δίκτυο πρέπει να ιδρύεται στο ελάχιστο μήκος των 2km για την εξασφάλιση ομοιογένειας
- Για αποφυγή λαθών στους υπολογισμούς, τα σημεία πρέπει να σημανθούν και να αριθμηθούν στο πεδίο, πριν την έναρξη των μετρήσεων του δικτύου
- Πριν από κάθε εργασία, το όργανο πρέπει να ελέγχεται
- Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις πρέπει να εισαχθούν στο όργανο ώστε να ληφθούν υπόψη στις παρατηρήσεις
- Οι ανακλαστήρες πρέπει να στρέφονται προς το όργανο για υψηλότερη ακρίβεια
- Σε κάθε στάση του γεωδαιτικού σταθμού πρέπει να στοχεύονται 12 κορυφές του δικτύου (6 προς τα πίσω και 6 προς τα εμπρός) σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και δύο περιόδους
- Όλες οι κορυφές πρέπει να στοχεύονται από 3 διαφορετικές στάσεις
- Το μέγιστο μετρούμενο μήκος μεταξύ της στάσης του οργάνου και των κορυφών του δικτύου πρέπει να μην ξεπερνάει τα 150m
- Κορυφές του γεωδαιτικού δικτύου ανώτερης τάξης πρέπει να συμπεριληφθούν στις μετρήσεις του δικτύου από 3 διαφορετικές στάσεις. Αν δεν υπάρχει επαρκής ορατότητα προς αυτά τα σημεία, χρησιμοποιούνται βοηθητικά σημεία για τη διευκόλυνση της σύνδεσης ή τοποθετείται στάση του γεωδαιτικού σταθμού σε αυτό το σημείο.
- Όταν χρειαστεί ένα νέο τμήμα δικτύου να συνδεθεί με ένα ήδη υλοποιημένο, απαιτούνται επικαλυπτόμενα σημεία του παλιού και του νέου δικτύου. Για αυτό το σκοπό χρειάζεται να σκοπευθούν 6 σημεία του παλιού δικτύου από 3 διαφορετικές στάσεις. Αυτό εξασφαλίζει την ομαλή σύνδεση, με υψηλή εσωτερική ακρίβεια, μεταξύ των δύο τμημάτων του δικτύου.

Οι κατά Z συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου υπολογίζονται με χρήση γεωμετρικής χωροστάθμισης με ένα όργανο υψηλής ακριβείας. Σημαντικά σημεία αυτής της διαδικασίας, που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- Πριν από κάθε διαδικασία μέτρησης υψομετρικών διαφορών, ο χωροβάτης πρέπει να ελέγχεται με το ενσωματωμένο λογισμικό
- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των στάσεων του οργάνου να είναι 35m
- Χρησιμοποιούν μόνο σταδίες invar
- Κάθε μια χωροστάθμιση συνδέεται με τουλάχιστον δύο χωροσταθμικές αφετηρίες (Reper)

Εναλλακτικά, τα υψόμετρα των κορυφών του δικτύου μπορούν να προσδιορισθούν με τη βοήθεια ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού, όταν μπορεί να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ακρίβεια. Σε αυτή την περίπτωση προτείνεται η μέτρηση των γωνιών σε τρεις περιόδους και σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου κατά τη διάρκεια της μέτρησης του δικτύου.

Ο υπολογισμός της θέσης και του υψομέτρου των κορυφών του δικτύου PMP υπολογίζονται με τη βοήθεια κατάλληλου γεωδαιτικού προγράμματος. Βασικά σημεία της επίλυσης του δικτύου είναι:

- Οι χρησιμοποιούμενες ρυθμίσεις, οι παράμετροι και οι τυχόν αλλαγές στις παρατηρήσεις πρέπει να είναι τεκμηριωμένες
- Οι επιλεγθείσες α priori ακρίβειες πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ρεαλιστικές
- Στις μετρήσεις πραγματοποιούνται όλες οι απαραίτητες διορθώσεις (ατμοσφαιρικές διορθώσεις, διορθώσεις λόγω προβολής κλπ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΞΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

ΣΙΔΗΡΟΤΡΟΧΙΩΝ

3.1 Γενικά

Η κατάσταση της επιδομής και η γεωμετρία της γραμμής πρέπει να είναι συνεχώς σε καλή κατάσταση, ώστε να διασφαλίζεται η ασφάλεια και η άνεση των επιβατών καθώς και να ελαχιστοποιείται η φθορά των σιδηροτροχιών και των τροχών του τροχαίου υλικού.

Για αυτό τον λόγο η γεωμετρία της επιδομής και των σιδηροτροχιών πρέπει να υποβάλλονται σε τακτικούς ελέγχους ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες οριζοντιογραφικές και υψομετρικές διορθώσεις. Ο σύγχρονος τοπογραφικός εξοπλισμός σε συνδυασμό με τα υψηλού τεχνικού επιπέδου μηχανήματα τακτοποίησης των σιδηροτροχιών προσφέρουν τη δυνατότητα γρήγορης και ακριβούς διόρθωσης της γραμμής. Οι διορθώσεις προκύπτουν από την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης της γραμμής με γεωδαιτικά όργανα και τη σύγκρισή της με τη γεωμετρία της γραμμής κατά τον σχεδιασμό.

Ο τοπογραφικός εξοπλισμός που απαιτείται για τις εργασίες αποτύπωσης και χάραξης σιδηροτροχιών ποικίλει και εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος της τοπογραφικής εργασίας, η μέθοδος μετρήσεων που θα ακολουθηθεί, η απαιτούμενη ακρίβεια που πρέπει να επιτευχθεί, ο διατιθέμενος χρόνος εργασίας, οι συνθήκες του περιβάλλοντος κ.α. Μπορεί να είναι από το πιο απλό, όπως όργανα μέτρησης υπερύψωσης και εύρους γραμμής, μέχρι σαρωτές laser για εξαγωγή μοντέλων 3D του περιβάλλοντος χώρου της γραμμής.

3.2 Μέθοδος τρόλεϋ GRP

Μέχρι πρότινος, οι τοπογραφικές εργασίες διεξάγονταν με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού και στυλεών. Με την εμφάνιση του συστήματος GRP1000 Track Trolley (εικόνες 3.1 και 3.2) της εταιρίας Amberg Rail Technologies τα εξειδικευμένα συνεργεία μπορούν εύκολα να εκτελέσουν τις μετρήσεις υπερύψωσης, χιλιομέτρησης και εύρους γραμμής, καθώς και τις εργασίες οριζοντιογραφικής και υψομετρικής τακτοποίησης της γραμμής γρήγορα και με ακρίβεια. Χαρακτηριστικά σημεία της γραμμής όπως σήμανση, συγκολλήσεις και αλλαγές καταγράφονται είτε ως

παρατήρηση στο ίδιο το σύστημα είτε διαφορετικά με τη χρήση γωνιάς ή με τη βοήθεια στυλεού.



Εικόνα 3.1: Αποθήκευση του GRP χάρη στον αρθρωτό σχεδιασμό του



Εικόνα 3.2: Το σύστημα GRP 1000 έτοιμο για αποτύπωση γραμμής

Το σύστημα της Amberg Rail είναι μία “φορητή” λύση για τις γεωδαιτικές εργασίες. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής, πριν από εργασίες συντήρησης ή οποιαδήποτε άλλη εργασία. Επομένως οι εργασίες κατασκευής σταθερής επιδομής, συντήρησης της γραμμής καθώς και η αξιολόγηση της γεωμετρίας της γραμμής και του περιβάλλοντος χώρου σε συνδυασμό με τα κατάλληλα μηχανήματα μπορούν να γίνουν γρήγορα και χωρίς καθυστερήσεις. Ο ρυθμός πραγματοποίησης των εργασιών αυτών μπορεί

να φτάσει μέχρι και το 1 km γραμμής ανά ώρα. [Amberg technologies AG, 2007]

Το σύστημα της Amberg Rail έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κεντρική διαχείριση μετρητικών δεδομένων έργου
- Εισαγωγή σχεδίου γραμμής από αναλογικά ή ψηφιακά μέσα
- Βάση δεδομένων διατομών γραμμής
- Αποκλίσεις υφιστάμενης και γεωμετρίας σχεδιασμού γραμμής
- Υψηλής ποιότητας και λεπτομερή επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων διόρθωσης γεωμετρίας γραμμής
- Εμφάνιση διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο για άμεση προσαρμογή της οριζοντιογραφικής και υψομετρικής θέσης της γραμμής
- Δυναμικό λογισμικό που επιτρέπει την αξιολόγηση των δεδομένων και τον περιορισμό της παρέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα στο ελάχιστο
- Υψηλής ακρίβειας ανάλυση διατομών βασισμένη σε δεδομένα νέφους σημείων
- Αριθμητικές και γραφικές αναφορές δεδομένων σε ποικίλες μορφές ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη

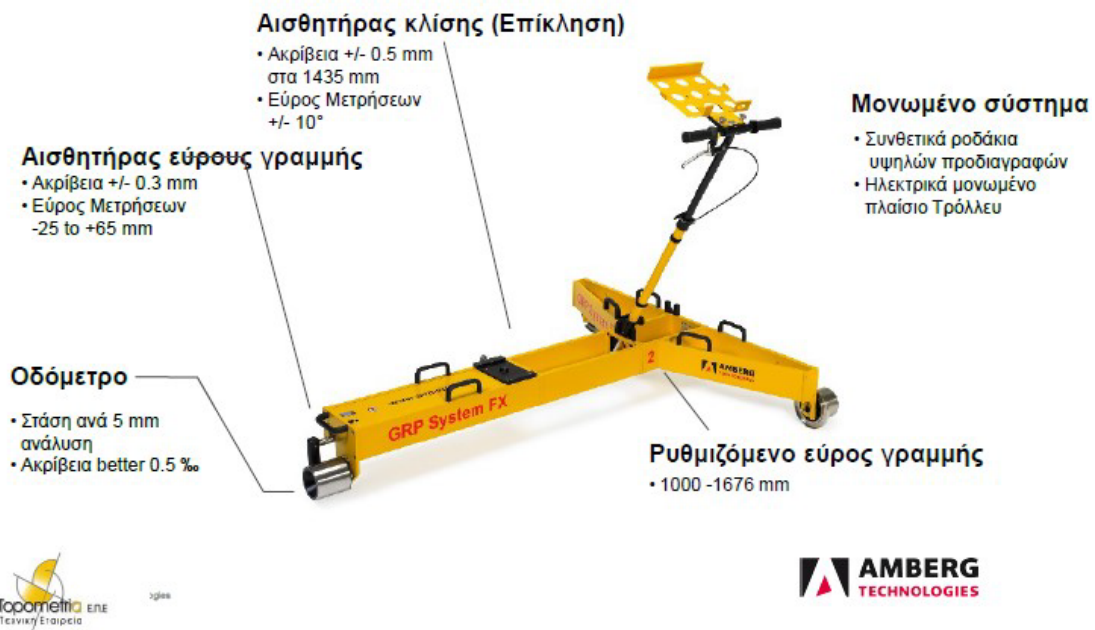
Χάρη στον αρθρωτό του σχεδιασμό, το σύστημα δύναται να προσαρμοστεί ώστε να ικανοποιήσει διαφορετικές απαιτήσεις με την κατάλληλη διάταξη οργάνων κάθε φορά. Είναι εύκολο στη μεταφορά διευκολύνοντας έτσι τις εργασίες αποτύπωσης και κατασκευής μιας γραμμής, ενώ παράλληλα καλύπτει τις αυξημένες απαιτήσεις κατά την κατασκευή, την επίβλεψη και τη συντήρηση της σταθερής επιδομής.

Το σύστημα GRP διαθέτει τις διατάξεις GRP 1000, GRP 3000 και GRP 5000, αναλόγως τον χρησιμοποιούμενο τοπογραφικό εξοπλισμό και τις ανάγκες της κάθε εργασίας.

Η πλατφόρμα System FX του συστήματος GRP (εικόνα 3.3) είναι το τρόλλευ μέτρησης εύρους γραμμής TGS FX, το οποίο είναι κατασκευασμένο ώστε να συνδυάζει αισθητήρες ακριβείας με πρακτικό σχεδιασμό.

Τα τμήματα από τα οποία αποτελείται το σύστημα GRP είναι:

- ο Το μεταλλικό πλαίσιο
 - ✓ Ελαφρύ, κατασκευή υψηλής ακριβείας
 - ✓ Εύκολο στη μεταφορά (ακόμα και από ένα άτομο)
 - ✓ Έτοιμο για μετρήσεις μέσα σε μερικά λεπτά
 - ✓ Ηλεκτρικά μονωμένο

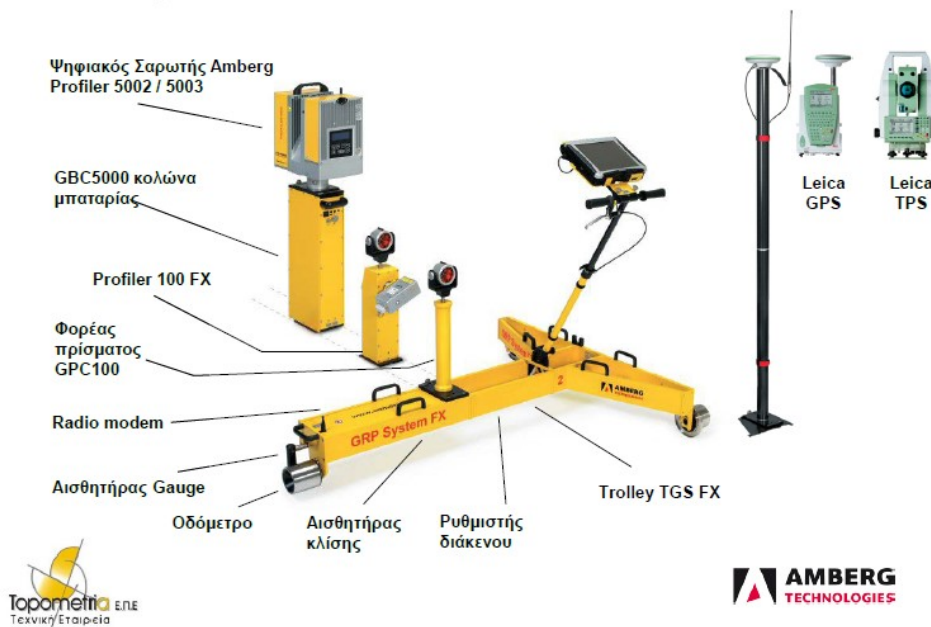


Εικόνα 3.3: Πλατφόρμα GRP System FX
[GRP System FX, Τοπομετρία Ε.Π.Ε]

- Αισθητήρας μέτρησης εύρους γραμμής
 - ✓ Ακρίβεια +/- 0.3mm
 - ✓ Εύρος μέτρησης από -25mm έως +65mm σε σχέση με το ονομαστικό πλάτος
 - ✓ Το σημείο αναφοράς για τη μέτρηση του εύρους βρίσκεται 14mm κάτω από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς
- Οι τροχοί του συστήματος
 - ✓ Υψηλών προδιαγραφών συνθετικοί τροχοί για μειωμένες φθορές
 - ✓ Από ανοξείδωτο ατσάλι με μονωτικό περίβλημα για την αποφυγή ηλεκτρικής επαφής των δύο σιδηροτροχιών
- Αισθητήρας χιλιομέτρησης / Οδόμετρο
 - ✓ Μέτρηση χιλιομέτρησης
 - ✓ Ακρίβεια <0.5%
- Αισθητήρας υπερύψωσης
 - ✓ Μέτρηση υπερύψωσης
 - ✓ Ακρίβεια +/- 0.5mm στο ονομαστικό εύρος των 1435mm
- Προσαρμογέας εύρους γραμμής
 - ✓ Δυνατότητα μέτρησης από εύρος 1000mm έως 1676mm (και μεγαλύτερα εύρη με ειδική παραγγελία)
- Προσαρμογέας για επιλογή μεταξύ των συστημάτων GRP 1000, GRP 3000, GRP 5000
- Φρένο ασφαλείας για αποφυγή μη επιθυμητής κίνησης του τρόλλευ
- Λαβή ώθησης συστήματος που προσαρμόζεται για κάθε χρήστη
- Στήλη πρίσματος GPC 100 (GRP 1000)

- Profiler 100 FX (GRP 3000)
- Στήλη μπαταρίας GBC 5000 & Profiler 5002 (GRP 5000)
- Leica GPS
 - ✓ Για τοπογραφικές εργασίες με μικρότερες σε ακρίβεια απαιτήσεις
 - ✓ Το σύστημα του GRP είναι συμβατό με τα όργανα GPS 1200 και GPS500
- Leica TPS
 - ✓ Για τοπογραφικές εργασίες με αυξημένες σε ακρίβεια απαιτήσεις
 - ✓ Το σύστημα του GRP είναι συμβατό με τους γεωδαιτικούς σταθμούς Leica TPS1100 / TPS1200 / TPS2000 (απαιτείται ATR)

GRP System FX



Εικόνα 3.4: Πλατφόρμα GRP με πιθανούς συνδυασμούς οργάνων (GRP 1000, GRP 3000, GRP 5000)
[GRP System FX, Topometria E.Π.Ε]

Οι εργασίες που δύναται να φέρει σε πέρας το σύστημα GRP με τα διάφορα όργανα που το συνοδεύουν είναι οι εξής:

- Κατασκευή νέας γραμμής (συνήθως σταθερής επιδομής, λόγω των αυξημένων ακριβειών) (GRP 1000)
- Εργασίες σε σκυρογραμμή (GRP 1000 / GRP 3000)
- Έλεγχος ελεύθερου χώρου διέλευσης (μόνο με GRP 5000)
- Έλεγχος κατάστασης περιβάλλοντος χώρου (GRP 5000)
- Σχεδιασμός / καταγραφή γραμμής (GRP 1000 / GRP 3000)

- Εκτίμηση υφιστάμενης γεωμετρίας τροχιάς (GRP 1000)

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική παρουσίαση των τριών διαθέσιμων διατάξεων του GRP:

Το GRP 1000:

- Αποτελείται από το τρόλλευ TGS FX και ορισμένους μετρητικούς αισθητήρες, οι οποίοι είναι:
 - ✓ Εύρους γραμμής
 - ✓ Υπερύψωση
 - ✓ Χιλιομέτρηση
- Προσδιορίζει με ακρίβεια τις συντεταγμένες γραμμής με τη βοήθεια ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού
- Εμφανίζει αποτελέσματα και διορθωτικά στοιχεία σε πραγματικό χρόνο
- Αναλύει την ποιότητα της εξωτερικής και της εσωτερικής γεωμετρίας της γραμμής
- Δύναται να επεκταθεί στα συστήματα GRP 3000 ή GRP 5000

Επομένως με τη χρήση του GRP 1000 είναι δυνατός ο τρισδιάστατος προσδιορισμός της γραμμής, με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Απόλυτος προσδιορισμός θέσης γραμμής έως και 1 mm σε πραγματικό χρόνο
- Τρισδιάστατος εντοπισμός θέσης είτε μέσω γεωδαιτικού σταθμού είτε μέσω του συστήματος GNSS, αναλόγως με τη ζητούμενη ακρίβεια και απόδοση
- Δυνατότητα λειτουργίας stop&go είτε κινηματικής λειτουργίας
- Ταχύτητα μέτρησης μέχρι και 1 km/h (με την προϋπόθεση ύπαρξης τουλάχιστον 2 γεωδαιτικών σταθμών)
- Ύπαρξη γεωδαιτικού σταθμού ή συστήματος GNSS

Στον πίνακα 3.1 γίνεται σύγκριση της μεθόδου που χρησιμοποιούταν παλαιότερα με τη βοήθεια πικέτων και την οπτική αξιολόγηση της γεωμετρίας της γραμμής σε σχέση με σύγχρονες μεθόδους, εκ των οποίων μία είναι η μέθοδος του GRP 1000. Συνοπτικά, φαίνεται η μέθοδος του GRP 1000 να είναι ταχύτερη, πιο ακριβής και να απαιτεί μικρότερο συνεργείο για τη διαδικασία ελέγχου της γραμμής.

Measuring unit	Method	Maximale measuring speed	Typical project performance	Typical accuracy R = Relative A = Absolute	Surveying team persons	Typical performance per person
		[m/h]	[m/h]	[mm]	[number]	[m/h]
Optical	Sighting	100	100	R +/- 3 A +/- 5	4	25
GRP 1000	Geodetic 3D	1000	600	R +/- 1 A +/- 1	3	200
VMS 1000 VMS 3000	Long-chord	2500	1300	R +/- 3 A +/- 3-5	3	430
IMS 1000 IMS 3000	Long-chord (Multi / Single)	4000	2500	R +/- 1 A +/- 2-5	2	1250

Πίνακας 3.1: Σύγκριση παλαιάς (optical) με σύγχρονες μεθόδους ελέγχου γεωμετρίας γραμμής [www.amberg.ch/at, 2017]

Το GRP 3000 επιπλέον έχει τη δυνατότητα μέτρησης μεμονομένων σημείων διατομής και σχεδιασμού της μέσω αυτών, με τη βοήθεια του οργάνου Profiler 100 FX που προσαρμόζεται πάνω στην πλατφόρμα. Επίσης το GRP 3000:

- Κωδικοποιεί αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου της γραμμής
- Συγκρίνει την υφιστάμενη γεωμετρία διατομών με τη θεωρητική γεωμετρία σχεδιασμού
- Δύναται να επεκταθεί στο σύστημα GRP 5000

Το GRP 5000 αποτελείται από την πλατφόρμα TGS FX σε συνδυασμό με ένα όργανο σάρωσης υψηλής ανάλυσης, τον σαρωτή Profiler 5002, το οποίο προσφέρει συνεχή σάρωση νέφους σημείων διατομής. Σε αντίθεση με το GRP 3000, η σάρωση που πραγματοποιείται είναι υψηλής πυκνότητας νέφους σημείων προσφέροντας ολοκληρωμένη ανάλυση υποδομών σιδηροδρόμου

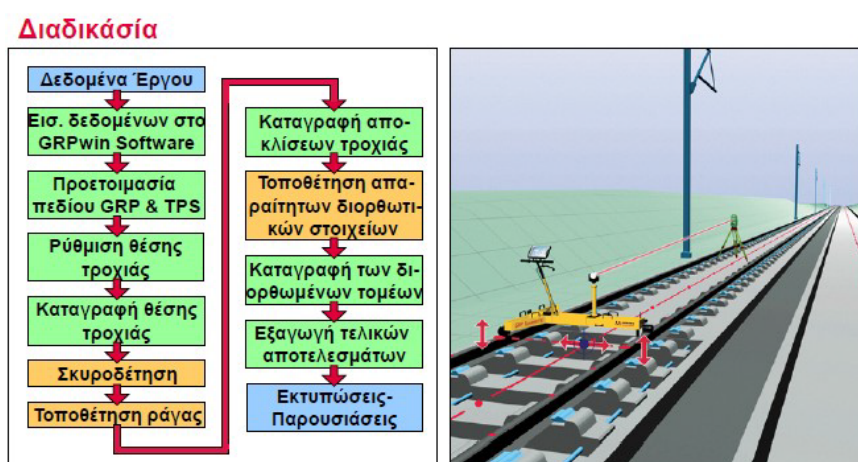
Το GRP 1000 βρίσκει ποικίλες εφαρμογές στο χώρο του σιδηροδρόμου. Διαθέτει λογισμικό για μέτρηση τροχιάς και διόρθωση γραμμών (tamping). Οι λειτουργίες που δύναται να επιλεγούν για τις μετρήσεις είναι stop & go, απόλυτη ή σχετική και κατασκευαστική. Η μέθοδος του απόλυτου προσδιορισμού θέσης απαιτεί τη χρήση του τρόλλευ καθώς και ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού ή συστήματος GPS, ενώ η μέθοδος του σχετικού προσδιορισμού θέσης απαιτεί μόνο τη χρήση της πλατφόρμας (TGS FX) με το ενσωματωμένο οδόμετρο. Η αυτονομία του συστήματος με τη χρήση μπαταρίας είναι μεγαλύτερη των 12 ωρών. Τα αποτελέσματα που εξάγονται από το σύστημα μπορεί να είναι παράμετροι τροχιάς τριών διαστάσεων,

παράμετροι ρύθμισης της υπό κατασκευή νέας γραμμής καθώς και αρχείο διόρθωσης σιδηροτροχιών.

Οι ακρίβειες που προσφέρει το σύστημα στη μέτρηση του εύρους (gauge) της γραμμής είναι της τάξης των 0.3 mm και στη μέτρηση της υπερύψωσης (super elevation) της τάξης των 0.5 mm. Επίσης, η εσωτερική ακρίβεια είναι 0.5 mm, ενώ η ακρίβεια αποτύπωσης της γραμμής εξαρτάται τόσο από το γεωδαιτικό δίκτυο που έχει ιδρυθεί όσο και από τον τοπογραφικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Οι εφαρμογές του GRP 1000 παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Κατασκευή σταθερής επιδομής



Εικόνα 3.5: Διαδικασία κατασκευής σταθερής επιδομής με το σύστημα GRP 1000 [GRP System FX, Topometria E.II.E]

Οι απαιτήσεις για την κατασκευή της σταθερής επιδομής είναι ιδιαίτερα αυξημένες και οι πιο σημαντικές από αυτές είναι:

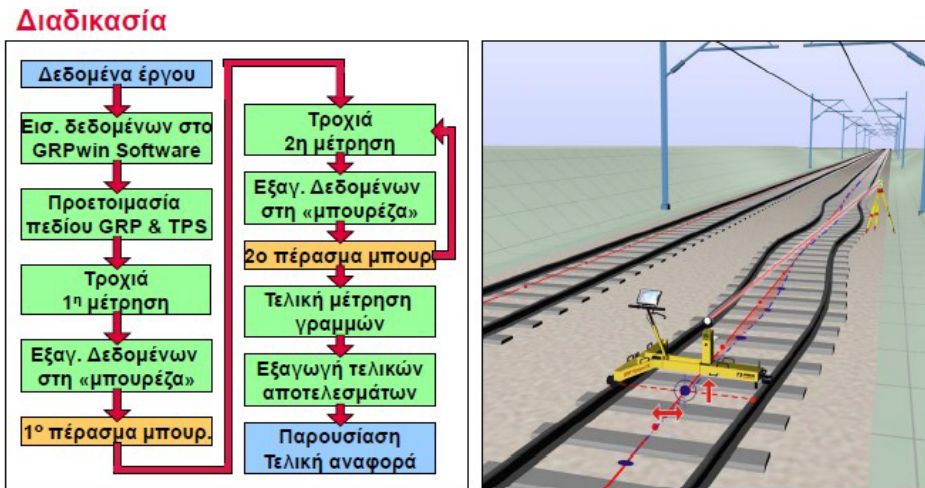
- Υψηλότερη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης στη σιδηροδρομική (η λύση με GPS δεν προτείνεται)
- Διορθώσεις των γραμμών σε πραγματικό χρόνο
- Συλλογή δεδομένων ακρίβειας χάραξης για την τελική αξιολόγηση της χάραξης

2. Εργασίες σκυρογραμμής

Το σύστημα GRP 1000 γίνεται να συνδυαστεί είτε με τη χρήση γεωδαιτικού σταθμού είτε με σύστημα GPS:

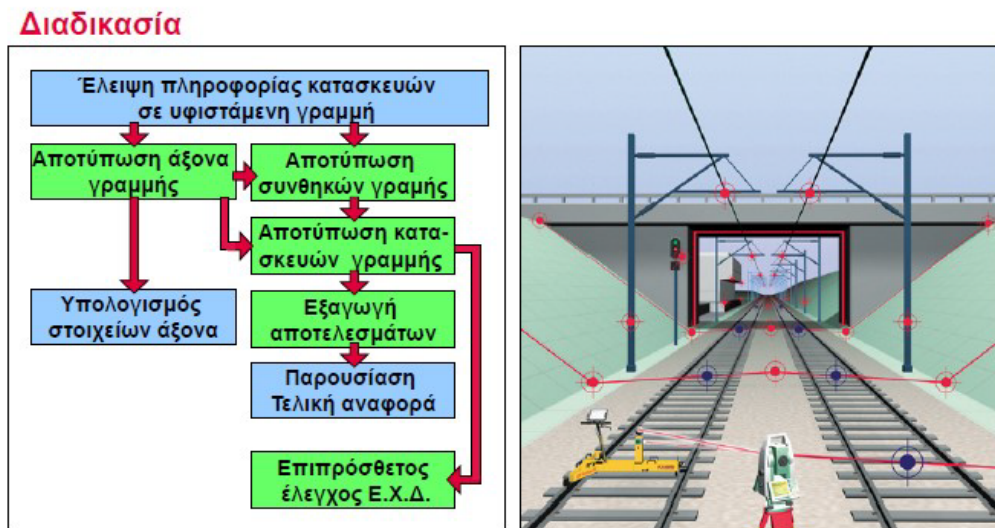
- Ο γεωδαιτικός σταθμός προσφέρει υψηλής ακρίβειας μετρήσεις σε λειτουργία "stop and go" (1mm)

- Το GPS προσφέρει υψηλή παραγωγικότητα αλλά χαμηλή ακρίβεια, ιδανικό για το 1^ο πέρασμα της «μπουρέζας» (ακρίβεια θέσης 20 mm, ακρίβεια υψομέτρου 40 mm)



Εικόνα 3.6: Διαδικασία ελέγχου σκυρογραμμής με το σύστημα GRP 1000 [GRP System FX, Topometria E.Π.Ε]

3. Εφαρμογή – Σχεδιασμός / Λεπτομερής αποτύπωση



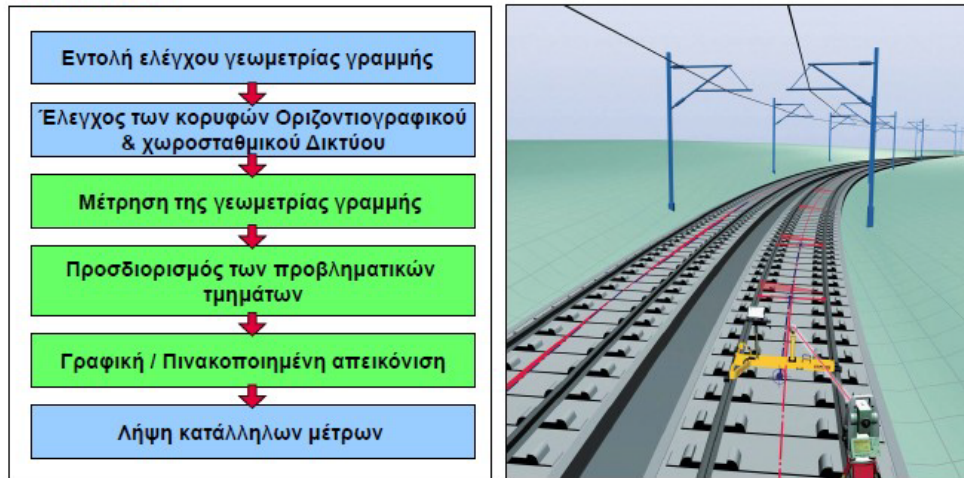
Εικόνα 3.7: Διαδικασία αποτύπωσης γραμμής με το σύστημα GRP 1000 [GRP System FX, Topometria E.Π.Ε]

Ο σχεδιασμός και η λεπτομερής αποτύπωση της γραμμής απαιτούν:

- Λεπτομερή καταγραφή σε γεωαναφερμένες συντεταγμένες ή σχετικές με τον άξονα (χιλιομέτρηση)
- Κωδικοποίηση των μετρημένων αντικειμένων στο πεδίο
- Δυνατότητα επεξεργασίας στο γραφείο

4. Αξιολόγηση γεωμετρίας γραμμής

Διαδικασία



Εικόνα 3.8: Διαδικασία αξιολόγησης γεωμετρίας γραμμής με το σύστημα GRP 1000 [GRP System FX, Topometria E.Π.Ε]

Κατά την αξιολόγηση της γεωμετρίας της γραμμής απαιτείται:

- Ικανοποιητική μέτρηση της γεωμετρίας του άξονα της γραμμής
- Εύκολος προσδιορισμός των εκτός ορίων τμημάτων
- Πινακοποιημένα αποτελέσματα και γραφικές παραστάσεις

3.3 Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ

Στην περίπτωση της εφαρμογής της μεθόδου συμβατικού τρόλεϋ (εικόνα 3.9) για εργασίες χάραξης και αποτύπωσης σιδηροδρομικής γραμμής απαιτείται η χρήση ενός συμβατικού αμαξιδίου γραμμής καθώς και η χρήση παρελκόμενων οργάνων για τη συλλογή όλης της απαραίτητης πληροφορίας που απαιτείται στα πλαίσια των εργασιών.

Το αμαξίδιο που χρησιμοποιείται δύναται να έχει διάφορες μορφές. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η κατάλληλη πάκτωση του οχήματος πάνω στις σιδηροτροχιές (εικόνα 3.10). Στην περίπτωση του συγκεκριμένου τρόλεϋ που χρησιμοποιήθηκε το δεξί μέρος του (όπως φαίνεται στην εικόνα) είναι σταθερό ενώ το αριστερό μέρος του είναι κινητό και με τη βοήθεια δύο ελατηρίων προσαρτάται και πακτώνει πάνω στη γραμμή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η πάκτωση του αμαξιδίου στη γραμμή είναι υποδεέστερη του συστήματος GRP καθώς υπάρχει ορισμένη αβεβαιότητα ως προς την καθετότητα και τη σταθερότητα του τρόλεϋ στη γραμμή.



Εικόνα 3.9: Συμβατικό αμαξίδιο γραμμής και όργανα μέτρησης υπερύψωσης και εύρους γραμμής



Εικόνα 3.10: Συμβατικό τρόλεϋ (αμαξίδιο) σε εργασίες αποτύπωσης σκυρογραμμής

Επίσης, στην περίπτωση του συμβατικού αμαξιδίου δεν υπάρχουν ειδικά προσαρμοσμένοι αισθητήρες στο όχημα που να μετράνε την υπερύψωση και το εύρος των σιδηροτροχιών. Για αυτό το λόγο για τη συλλογή όλης της πληροφορίας της γραμμής απαιτείται ο συνδυασμός του αμαξιδίου με όργανο μέτρησης υπερύψωσης και μετρητικής μπάρας εύρους γραμμής (εικόνες 3.11, 3.12).



Εικόνα 3.11: Μέτρηση εύρους γραμμής



Εικόνα 3.12: Σύνολο οργάνων για την αποτύπωση γραμμής με τη μέθοδο του συμβατικού αμαξιδίου

Και σε αυτή όμως την περίπτωση παρατηρείται ότι το σημείο αποτύπωσης των σιδηροτροχιών με το σημείο μέτρησης της υπερύψωσης και του εύρους δεν ταυτίζονται, αλλά διαφέρουν κατά τουλάχιστον 30

εκατοστά (πλάτος τρόλεϋ) και άρα η πληροφορία που συγκεντρώνεται δεν αναφέρεται στο ίδιο σημείο, κάτι που δε συμβαίνει στο GRP.

Η μέτρηση της υπερύψωσης, εκτός από το ειδικό όργανο μέτρησης υπερύψωσης, είναι δυνατό να υπολογισθεί και από την υψομετρική διαφορά των δύο πρισμάτων (είναι και ο μόνος λόγος που έχει νόημα η μέτρηση προς το πρίσμα που βρίσκεται στην κινητή μεριά του αμαξιδίου) που διαθέτει το όχημα, σε κάθε θέση, και τη γνωστή γεωμετρία του (απόσταση καταφώτων σταθερή στα 1435 χιλιοστά).

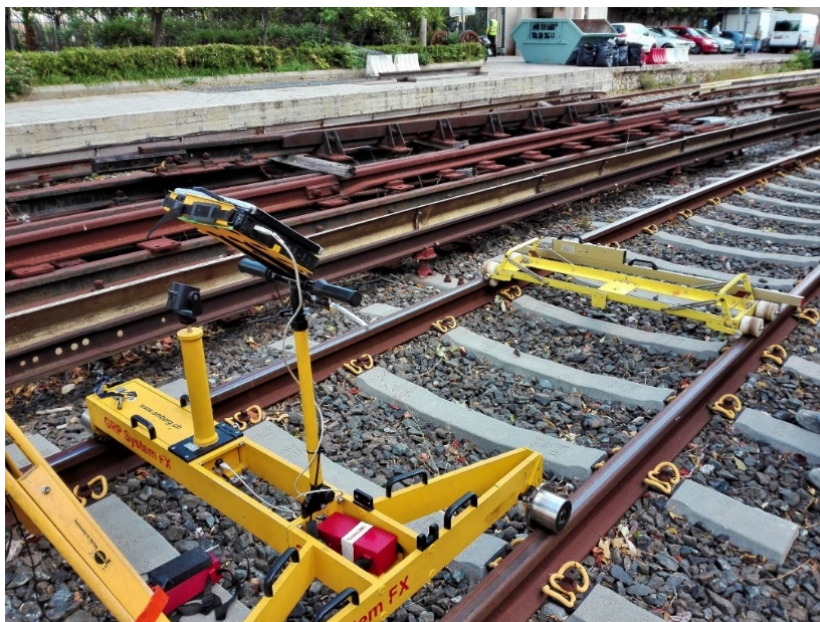
Τα δύο πρίσματα του οχήματος (εικόνα 3.12, 3.13) βρίσκονται πακτωμένα πάνω στο πλαίσιο του σε ύψος 2 εκατοστών από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς και πάνω στη νοητή ευθεία που διέρχεται από το σημείο μέτρησης της οριζοντιογραφίας. Σε κάθε περίπτωση είναι λάθος να θεωρηθεί ότι το εύρος της γραμμής μπορεί να προκύψει από τις συντεταγμένες των δύο πρισμάτων καθότι τα πρίσματα αυτά είναι εκ κατασκευής σταθερά πακτωμένα σε απόσταση 1435 χιλιοστών μεταξύ τους.

Η μέτρηση από το γεωδαιτικό σταθμό προς το αμαξίδιο για την αποτύπωση της γραμμής γίνεται μόνο στο πρίσμα που βρίσκεται βιδωμένο στο σταθερό μέρος του τρόλεϋ και η σιδηροτροχιά που αντιστοιχεί σε αυτό το πρίσμα ονομάζεται σιδηροτροχιά αναφοράς. Η θέση της απέναντι σιδηροτροχιάς προκύπτει από τις συντεταγμένες της σιδηροτροχιάς αναφοράς, το εύρος της γραμμής και την υπερύψωση. Στη συνέχεια τα σημεία των σιδηροτροχιών απεικονίζονται σε περιβάλλον ψηφιακής σχεδίασης.



Εικόνα 3.13: Κατάφωτο σκόπευσης πακτωμένο σε σταθερή θέση πάνω στο αμαξίδιο

Επομένως βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι πρώτον η σχετική αστάθεια που παρουσιάζει στην πάκτωση του στη γραμμή και δεύτερον ο αυξημένος χρόνος που απαιτείται για την μέτρηση του εύρους και της υπερύψωσης σε κάθε μία θέση που λαμβάνεται μέτρηση στο κατάφωτο του τρόλεϋ.



Εικόνα 3.14: Σύστημα αμαξιδίου GRP και συμβατικού αμαξιδίου σε εργασίες αποτύπωσης σκυρογραμμής

3.4 Συμβατική τοπογραφική μέθοδος με γωνιές

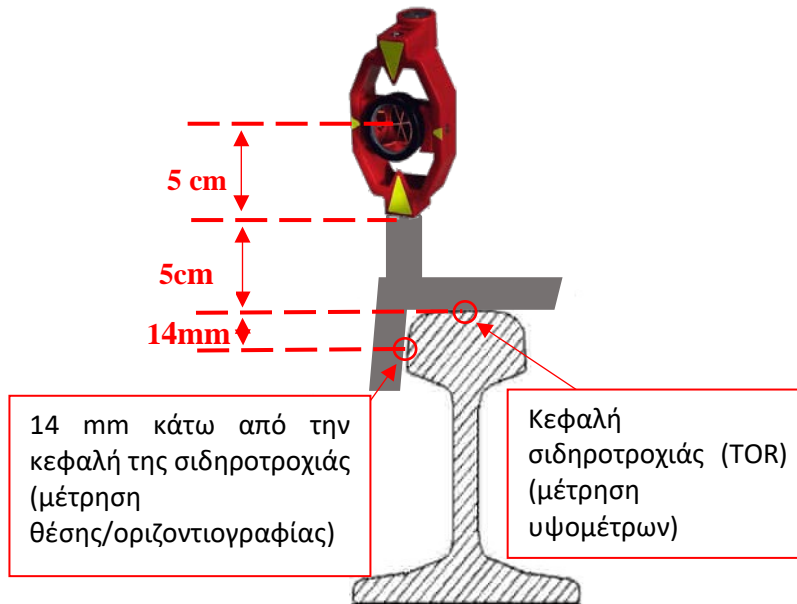
Η τοπογραφική μέθοδος χάραξης και αποτύπωσης με τη χρήση γωνιάς (εικόνα 3.16) είναι από τις πιο απλές. Η αρχή της βασίζεται στην απλή αποτύπωση σημείων λεπτομερειών με τη μέθοδο της ταχυμετρίας.

Η γωνιά είναι κατασκευασμένη από δύο σιδερένιες πλάκες συγκολλημένες στο κατάλληλο σημείο ώστε να έχουν συγκεκριμένη γεωμετρία (σχηματιζόμενη γωνία $\approx 95^\circ$).

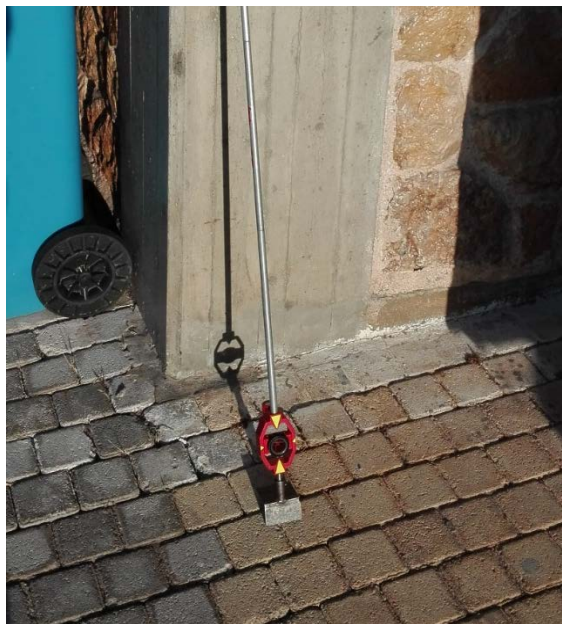
Έτσι λοιπόν αφού τοποθετηθεί η γωνιά (εικόνες 3.17) στην επιθυμητή θέση της κάθε σιδηροτροχιάς σκοπεύεται από το γεωδαιτικό σταθμό και λαμβάνεται η μέτρηση στο πρίσμα που βρίσκεται ενσωματωμένο σε γνωστό ύψος πάνω από την γωνιά.

Η κατασκευή της γωνιάς (εικόνα 3.15) είναι τέτοια ώστε το πρίσμα να βρίσκεται ακριβώς 10 εκατοστά πάνω από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς και πάνω στην ευθεία η οποία διέρχεται από το σημείο μέτρησης της οριζοντιογραφικής θέσης της τροχιάς, δηλαδή στο εσωτερικό της μέρος 14 χιλιοστά κάτω από την κεφαλή της.

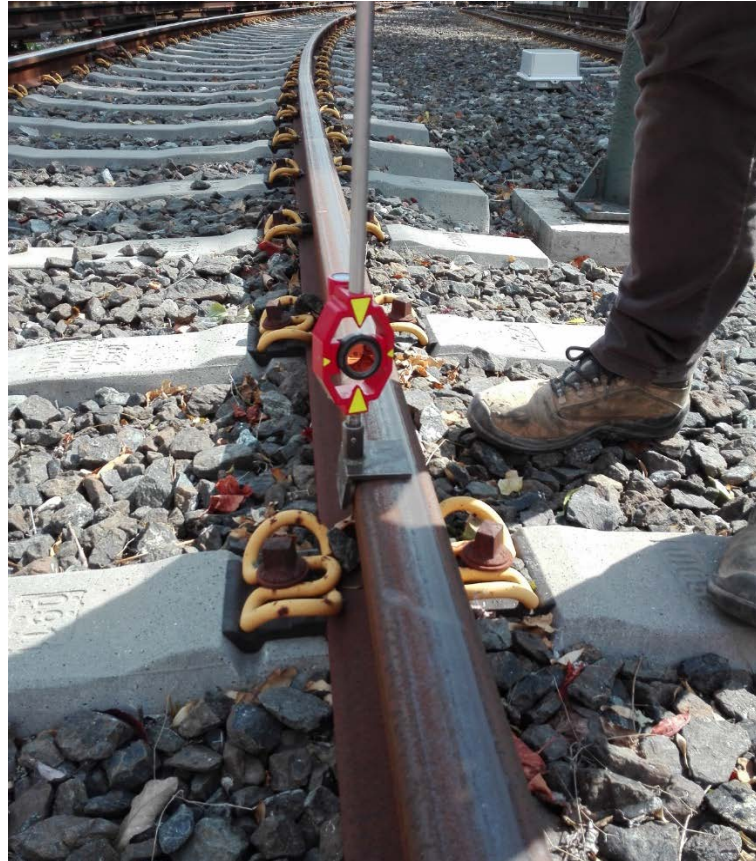
Στη συνέχεια, αφού υπολογισθούν οι συντεταγμένες των σημείων (με τα θεμελιώδη προβλήματα), εισάγονται και απεικονίζονται σε λογισμικό ψηφιακής σχεδίασης χωρίς να απαιτείται κάποια επιπλέον επεξεργασία.



Εικόνα 3.15: Πάκτωση γωνιάς πάνω στη σιδηροτροχιά



Εικόνα 3.16: Κατάφωτο προσαρμοσμένο στη γωνιά για την αποτύπωση γραμμής με τη μέθοδο των γωνιών



Εικόνα 3.17: Πάκτωση γωνιάς στην κατάλληλη θέση για λήψη μέτρησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.1 Εκτέλεση μετρήσεων

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις με τις τρεις εξεταζόμενες μεθόδους αποτύπωσης.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για την αποτύπωση τμήματος της Γραμμής 1 της ΣΤΑΣΥ σε τμήμα δευτερεύουσας γραμμή στο χώρο εναπόθεσης συρμών στο Θησείο (εικόνες 4.1, 4.2). Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από:

- Ένα γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRA 1201+ (1mm+/-1.5ppm, 1'')
- Το σύστημα GRP της Amberg Rail Technologies
- Ένα συμβατικό αμαξίδιο γραμμής [Ζέρβας Α., 2005]
- Γωνιά και μίνι κατάφωτο
- Ένα τρίποδα
- Μίνι κατάφωτα για τη μέτρηση της ελεύθερης στάσης
- Κατάφωτο Leica Circle prism (για τη μέτρηση με το GRP)

Το δίκτυο στο οποίο θα ενταχθούν οι εργασίες αποτύπωσης προϋπήρχε από την κατασκευή του έργου και επομένως η σύνδεση του με τις τωρινές εργασίες έγινε με την ίδρυση μιας ελεύθερης στάσης (free station / resection) στο χώρο των εργασιών.

Οι εργασίες της αποτύπωσης των σιδηροτροχιών πραγματοποιήθηκαν στις 2 Οκτωβρίου 2017 και ώρα από τις 10:00 έως τις 13:00 στο χώρο εναπόθεσης του σταθμού του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου στο Θησείο. Οι καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν ηλιοφάνεια με αρκετές νεφώσεις και η θερμοκρασία περί των 18°C.



Εικόνα 4.1: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων



Εικόνα 4.2: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων (Χώρος εναπόθεσης σταθμού Θησείο [www.google.gr/maps]

Για την είσοδο του τοπογραφικού συνεργείου στο χώρο έπρεπε όλα τα μέλη να διαθέτουν πιστοποίηση στο επίπεδο αρμοδιότητας Έργασιες επί ή πλησίον της τροχιάς εντός των Αμαξοστασίων της Γραμμής 1΄. Για την απόκτηση της εν λόγω πιστοποίησης (εικόνα 4.3) απαιτήθηκε η παρακολούθηση θεωρητικού και πρακτικού εκπαιδευτικού προγράμματος 8 ωρών από τον τομέα εκπαίδευσης της ΣΤΑΣΥ Α.Ε.. Η θεματολογία του προγράμματος η εξής:

- ✓ Χάρτης / Γραμμές / τροχιές
- ✓ Πιστοποιήσεις
- ✓ Ρεύμα Έλξης / προστασία / ΔΡΕ
- ✓ Αλλαγές
- ✓ Χωροταξία Αμαξοστασίων
- ✓ Κανόνες ασφαλείας / κίνηση προσωπικού / κίνδυνοι
- ✓ ΜΑΠ / φυσική κατάσταση
- ✓ Κινούμενοι και σταθμευμένοι συρμοί
- ✓ Εργασία στο Αμαξοστάσιο
- ✓ Αντιμετώπιση περιστατικών έκτακτης ανάγκης
- ✓ Έλεγχος ομάδας
- ✓ Ενημέρωση ασφαλείας
- ✓ Βάδιση στην περιοχή των τροχιών
- ✓ Όρια περιοχής εργασιών
- ✓ Εφαρμογή ασφαλούς συστήματος εργασίας
- ✓ Προστασία από ρεύμα και συρμούς
- ✓ Προσομοίωση συνθηκών εργασίας
- ✓ Επίδειξη εξοπλισμού και εγκαταστάσεων Αμαξοστασίων
- ✓ Επικίνδυνα σημεία



Εικόνα 4.3: Πιστοποίηση εισόδου και εργασίας επί ή πλησίον της τροχιάς εντός των αμαξοστασίων της Γραμμής 1

Επίσης για τη διενέργεια των απαιτούμενων μετρήσεων και την παραμονή του συνεργείου στο χώρο των γραμμών απαιτήθηκε να αιτηθεί "Άδεια εισόδου σε ελεγχόμενους χώρους επί και πλησίον της γραμμής" (εικόνα 4.4). Η αίτηση περιελάμβανε:

- Περιγραφή εργασίας
- Θέση εργασίας
- Θέση εισόδου-εξόδου
- Ημερομηνίες και ώρες εργασίας
- Στοιχεία συνεργείου
- Περιγραφή εξοπλισμού
- Πληροφορίες για τα μέτρα ασφαλείας

Τέλος, για την είσοδο του συνεργείου στο χώρο, παρόλο που ήταν δυνατή η εργασία χωρίς να διακοπεί το ρεύμα της ηλεκτροφόρου ράγας, ο υπεύθυνος ασφαλείας έδωσε εντολή να διακοπεί η ηλεκτροδότηση της ράβδου και να τοποθετηθεί βραχυκυκλωτήρας (εικόνα 4.5) προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι εργασίες με μεγαλύτερη ασφάλεια στο χώρο των γραμμών.

ΣΤΑΕΥ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΜΕΣ Α.Ε.	ΕΝΤΥΠΟ	Ε1
ΑΙΤΗΣΗ - ΑΔΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΕΠΙ ΚΑΙ ΠΛΗΣΙΟΝ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ		Σελ. 1/1

Περιγραφή Έργου/Σ: Τοπογραφικές Μετρήσεις
 Οδόν Εργασίας: Depot Σταθμού Θησείο
 Οδόν Εισόδου-Εξόδου: Σταθμός Θησείο
 Ημερομηνίες Εργασίας:
 Ώρα Έναρξης: 8:00 Ώρα Λήξης: 14:00
 Υπεύθυνος Συνεργείου (Όνομα): Ζέρβος Άγγελος Τηλ: Εταιρεία: ΑΚΤΩΡ
 (Ειδιότητα): Τοπογράφος Μηχανικός
 Επόπτης από πλευράς ΣΤΑΥ/ΗΕΑΠ: Τμήμα Επιτήρησης Γραμμών 1

Εργαζόμενοι συνεργείου (Όλοι πρέπει να έχουν εκπαιδευτεί σε θέματα Ασφαλείας της ΣΤΑΕΥ/ΗΕΑΠ):	
1. Ζέρβος Άγγελος	Περιγραφή εξοπλισμού 1 γεωδαιτικός σταθμός 2 trolley παρελάκμενα
2. Αιβαλιώτης Άγγελος	
3. Λούπτο Λαουρέν	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	

Μέτρα Ασφαλείας (Ο Υπεύθυνος Συνεργείου ευθύνεται για την εφαρμογή τους):

1) Μ.Α.Π. , 2) Η εκτέλεση των εργασιών από το συνεργείο θα γίνεται μόνο με παρουσία αρμόδιου επόπτη της ΣΤΑΥ/ΗΕΑΠ. 3) Ο Υπ. Συνεργείου παραμένει μόνος και αποκλειστικά υπεύθυνος για την ασφάλεια των εργαζομένων στην εργασία και είναι δική του ευθύνη η Μήση των ενδοεπιτηρημένων και σωστών μέτρων ασφαλείας και η τήρηση των σχετικών κανονισμών. (άρθρο 15.6 της Ε.Σ.Υ. – Τ.Δ.Σ.Ε.Π). 4) Ο Υπ. Συνεργείου είναι υποχρεωμένος για την ταυτοποίηση του προσωπικού που εργάζεται σύμφωνα με την παρούσα άδεια.

Ο Αιτών: Ο Υπεβάλλων: Χορήγηση Άδειας:
 [Signature] Π. Κονιορτώνης 29/09/17 # Π. ΧΑΛΑΖΙΑΣ
 Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή, Ημερομηνία, Σφραγίδα Εταιρείας Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή, Ημερομηνία, Σφραγίδα

Εικόνα 4.4: Αίτηση-Άδεια εισόδου σε ελεγχόμενους χώρους της Γραμμής 1 επί και πλησίον της γραμμής



Εικόνα 4.5: Τοποθετημένος βραχυκυκλωτήρας κατά τη διάρκεια εργασιών στο χώρο της γραμμής

Η διεξαγωγή των μετρήσεων, σύμφωνα με τον αρχικό προγραμματισμό, επρόκειτο να ξεκινήσει στις 08:00. Ωστόσο εξαιτίας της εμφάνισης τεχνικής βλάβης σε έναν συρμό ήταν αδύνατη η διακοπή της ηλεκτροδότησης της γραμμής έως ότου αποσυρθεί ο συρμός από την κύρια γραμμή και μεταφερθεί στο χώρο εναπόθεσης του Θησείου. Έτσι υπήρξε

καθυστέρηση 2 ωρών για την έναρξη των εργασιών αποτύπωσης της γραμμής, η οποία τελικά έγινε στις 10:00.

Η κίνηση εγκαρσίως των γραμμών έγινε από τους ενδεδειγμένους διαδρόμους (εικόνα 4.6) με όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας και υπό την επίβλεψη του υπεύθυνου ασφαλείας τόσο κατά τη μετάβαση στο χώρο των μετρήσεων όσο και καθ' όλη τη διάρκεια αυτών.



Εικόνα 4.6: Εγκεκριμένες διαβάσεις

4.2 Προετοιμασία

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής ήταν αρχικά να προσδιοριστεί το τμήμα της γραμμής που ήταν κατάλληλο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Το προς αποτύπωση τμήμα περιείχε ένα κομμάτι ευθυγραμμίας και ένα κυκλικού τόξου.

Ο προσδιορισμός της στάσης από την οποία θα πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με τις τρεις μεθόδους γίνεται με τη μέθοδο της ελεύθερης στάσης. Η ελεύθερη στάση (free station) αποτελεί μία από τις μεθόδους ίδρυσης και πύκνωσης των δικτύων με τη χρήση επίγειων μετρήσεων και αποτελεί μια σύνθεση των μεθόδων της εμπροσθοτομίας και οπισθοτομίας.

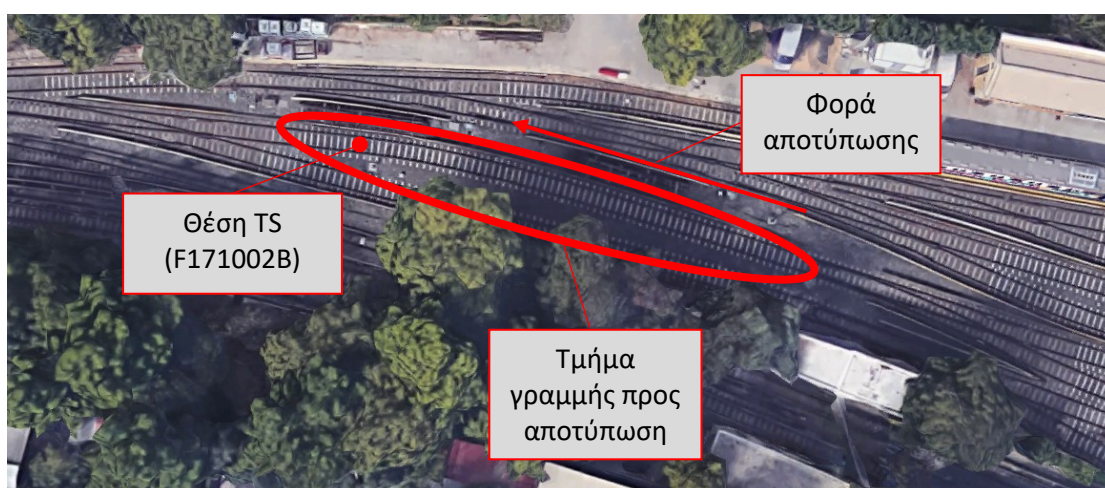
Οι μετρήσεις γίνονται από το άγνωστο σημείο προς τα γνωστά, τα οποία πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 (μοναδιαία λύση).

Όταν τα σημεία είναι 3 ή περισσότερα η επίλυση πραγματοποιείται με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, από όπου προκύπτει και το σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων της στάσης (x,y,z ή H του άγνωστου σημείου).

Τα απαιτούμενα προς μέτρηση στοιχεία είναι οι οριζόντιες, οι κατακόρυφες γωνίες και τα μήκη προς κάθε γνωστό σημείο. Η διαδικασία της ελεύθερης στάσης εφαρμόζεται συνήθως σε πυκνώσεις δικτύων τεχνικών έργων, κυρίως για εργασίες χάραξης και αποτύπωσης.

Η επίλυση γίνεται σε πραγματικό χρόνο με ειδικό λογισμικό ενσωματωμένο στον γεωδαιτικό σταθμό. Κατά τη διάρκεια της επίλυσης ανιχνεύονται οι τυχόν εσφαλμένες μετρήσεις και πιθανά σφάλματα στις συντεταγμένες των γνωστών σημείων.

Η εσωτερική ακρίβεια της μεθόδου στον προσδιορισμό των συντεταγμένων του άγνωστου σημείου, με χρήση οργάνου $\pm 1''$ και $\pm 2\text{mm}$ στη μέτρηση διευθύνσεων και μηκών αντίστοιχα, είναι μικρότερη από $\pm 1\text{mm}$.



Εικόνα 4.7: Τμήμα γραμμής που αποτυπώθηκε [www.google.gr/maps]

Ο γεωδαιτικός σταθμός (Leica TCRA 1201+) τοποθετήθηκε στη στάση F171002B και η αποτύπωση έγινε από δεξιά προς τα αριστερά.

Η έδραση του οργάνου και η σταθερότητα του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι μείζονος σημασίας για την ορθότητα των μετρήσεων. Για αυτό το λόγο και επειδή το υλικό έδρασης του τρίποδα, ο οποίος ελέγχθηκε να είναι σφιγμένος, ήταν σκύρο, και επομένως αρκετά ασταθές και ευμετάβλητο, η έδραση του έγινε με μεγάλη προσοχή και τα πόδια του πακτώθηκαν στο σκύρο με τη βοήθεια βαριάς.

Σφάλματα κέντρωσης δεν υπεισέρχονται στη διαδικασία καθώς δεν πραγματοποιείται κέντρωση με το σημείο της ελεύθερης στάσης να

υλοποιείται από την τομή των αξόνων του οργάνου. Επίσης το όργανο διαθέτει σύστημα αυτόματης αναστροφής – περιστροφής και αυτόματου εντοπισμού στόχου (ATR), κάτι που διευκόλυνε την ταχύτερη σκόπευση των στόχων.

Πριν την εφαρμογή των μετρήσεων έγινε εισαγωγή των βασικών παραμέτρων με τις οποίες στη συνέχεια θα γίνονταν μικροδιορθώσεις (ορισμένα ppm) και αναγωγές στα μετρούμενα μεγέθη. Τέτοιες παράμετροι ήταν:

- η θερμοκρασία (20°C)
- ο συντελεστής γεωδαιτικής διάθλασης ($k=0.16$)
- η πίεση ή το ορθομετρικό υψόμετρο (55m) για αναγωγή λόγω υψομέτρου (αναγωγή των μετρήσεων στη στάθμη της θάλασσας)
- ο συντελεστής κλίμακας του ΕΓΣΑ87 καθώς οι εργασίες εντάχθηκαν στο προϋπάρχον δίκτυο της γραμμής το οποίο είχε υλοποιηθεί στο ΕΓΣΑ87. Ο συντελεστής κλίμακας που χρησιμοποιήθηκε ήταν του προϋπάρχοντος δικτύου (0.99960724) αλλά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ο συντελεστής που προέκυψε κατά το free station (0.99959862). Η διαφορά των δύο συντελεστών είναι ελάχιστη, μόλις 0.8 mm στα 100 m.

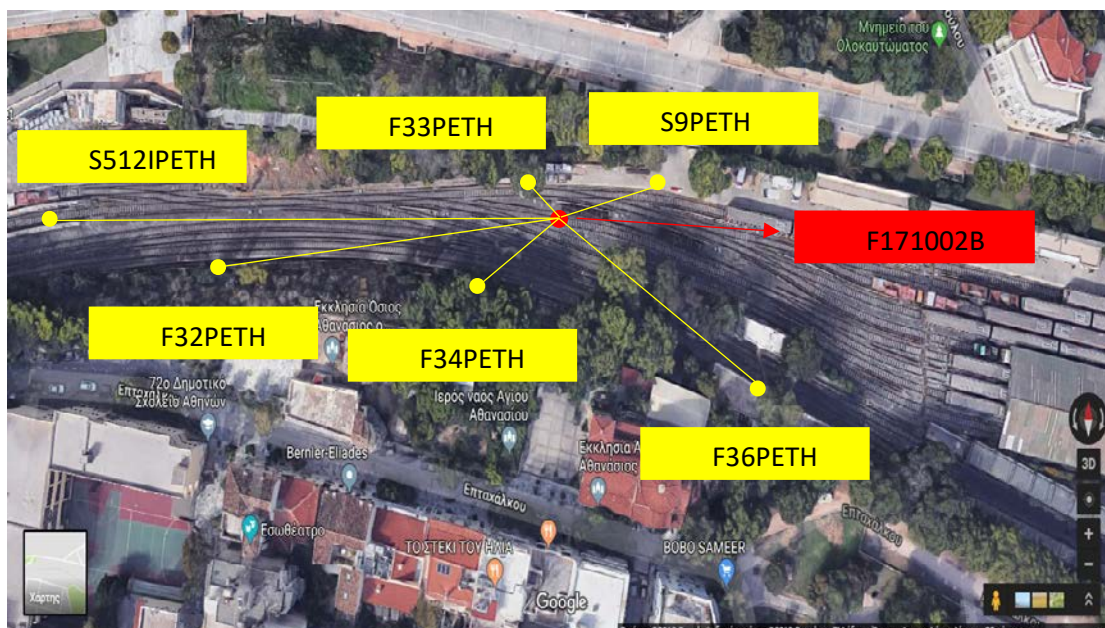
Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε μέτρηση με κατάφωτο είναι η επιλογή του είδους του πρίσματος που χρησιμοποιείται στις ρυθμίσεις του οργάνου. Αναλόγως το πρίσμα που επιλέγεται εισάγεται και μία συγκεκριμένη σταθερά καταφώτου στο όργανο η οποία επηρεάζει άμεσα τις μετρήσεις μηκών.

Για παράδειγμα το κανονικό πρίσμα Leica circle prism έχει σταθερά 0mm σε αντίθεση με το Leica mini prism το οποίο έχει σταθερά 17.5mm όταν οι μετρήσεις γίνονται με όργανο Leica τα πρίσματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν και τα δύο στις εργασίες αποτύπωσης και επομένως απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή η εναλλαγή των σταθερών τους. Παράλειψη αλλαγής της σταθεράς καταφώτου επιφέρει σφάλμα μερικών εκατοστών του μέτρου.

Η μέθοδος της ελεύθερης στάσης (F171002B) για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων της στάσης οργάνου εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας 6 σημεία (εικόνα 4.8) γνωστών συντεταγμένων, τα οποία ήταν πακτωμένα σε σταθερές κατασκευές του περιβάλλοντα χώρου της γραμμής (εικόνα 4.9) όπως κτήρια, αποβάθρες και στην εγγύτερη περιοχή της γραμμής.

Ένα από τα 6 γνωστά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούσε παλιά στάση του δικτύου και βρισκόταν στην αποβάθρα, με αποτέλεσμα η σκόπευσή του να γίνει με τη βοήθεια του Leica mini prism με ύψος στόχου 10 εκατοστών προς αποφυγή εισαγωγής αβεβαιοτήτων που οφείλονται σε

μεγάλο ύψος στόχου. Αυτό είναι δυνατόν αφού οι συντεταγμένες των γνωστών σημείων υπάρχουν ήδη σε ένα αρχείο στη μνήμη του γεωδαιτικού σταθμού.



Εικόνα 4.8: Διάταξη γνωστών σημείων για τον προσδιορισμό της ελεύθερης στάσης οργάνου [www.google.gr/maps]



Εικόνα 4.9: Στόχοι για την πύκνωση του δικτύου με τη μέθοδο της ελεύθερης στάσης

Μετά τη σκόπευση όλων των γνωστών σημείων πραγματοποιήθηκε επίλυση με τη MET για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων της ελεύθερης στάσης και του προσανατολισμού του σταθμού.

Στην πρώτη επίλυση (με 7 γνωστά σημεία) ελέγχοντας υψομετρικά τα σφάλματα εντοπίστηκε ο στόχος F1THMO, ο οποίος είχε σφάλμα υψομετρικά 1 cm, κάτι αναμενόμενο για τον συγκεκριμένο αφού ήταν χτυπημένος.

Επομένως αφήνοντας το υψόμετρο του συγκεκριμένου σημείου εκτός της επίλυσης επαναλήφθηκε η επίλυση με τους στόχους που είχαν

απομείνει και στη συνέχεια εκ νέου έλεγχος αν οι αποκλίσεις των στόχων ήταν ανεκτές και αν όχι επαναλαμβανόταν η παραπάνω διαδικασία.

Αφού τελείωσε ο υψομετρικός έλεγχος των στόχων, ξεκίνησε ο οριζοντιογραφικός έλεγχος με την αντίστοιχη διαδικασία. Τελικά, μετά από διάφορους συνδυασμούς και δοκιμές η επίλυση πραγματοποιήθηκε αφήνοντας εκτός το σημείο F1THMO και το υψόμετρο του F33PETH.

Από όλη αυτή τη διαδικασία οι διαφορές που εντοπίστηκαν στις συντεταγμένες της θέσης της ελεύθερης στάσης σε σχέση με την αρχική λύση ήταν αρκετά μικρές ($\approx 0.1\text{mm}$) εκτός από την περίπτωση που συμπεριλαμβανόταν στη λύση και το λάθος υψόμετρο του στόχου F33PETH όπου τότε η διαφορά στο υψόμετρο της στάσης ήταν 3 mm.

Στην αφαιρετική διαδικασία που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο πρέπει να δοθεί προσοχή:

- Πρώτον, εάν αφαιρεθούν από την επίλυση οι μισές υψομετρικές διαφορές (3 από τα 6) θα δώσει καλύτερη ακρίβεια προσδιορισμού του υψομέτρου της στάσης, κάτι που ωστόσο είναι πλασματικό και καθόλου αξιόπιστο. Άρα η αφαίρεση στοιχείων πρέπει να γίνεται με προσοχή και μέτρο.

- Δεύτερον, η εξαίρεση ενός ή περισσότερων σημείων από την επίλυση αλλάζει και τη γεωμετρία των στόχων στο χώρο η οποία επηρεάζει άμεσα την αξιοπιστία και την ακρίβεια της θέσης του οργάνου, τους βαθμούς ελευθερίας και το μαθηματικό μοντέλο της επίλυσης.

Τέλος, για τον έλεγχο της σταθερότητας του οργάνου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ελεύθερης στάσης μετριέται ένας στόχος (όσο το δυνατόν πιο μακρινός) ο οποίος θα δώσει ένα δx , δy , δH σε σχέση με τις συντεταγμένες του κατά την ίδρυση του δικτύου της γραμμής.

Με το πέρας των εργασιών μετριέται ξανά ο ίδιος στόχος δίνοντας ένα $\delta x'$, $\delta y'$, $\delta H'$, τα οποία πρέπει να συμπίπτουν με τα αρχικά δx , δy , δH .

Σε διαφορετική περίπτωση οι εργασίες πρέπει να εκτελεστούν από την αρχή γιατί αυτό σημαίνει ότι ο σταθμός έχει μετακινηθεί.

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί εμφανίζονται οι συντεταγμένες της ελεύθερης στάσης καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματά τους.

F171002B		
X	475128.7072 m	± 1.5 mm
Y	4203060.4400 m	± 1.5 mm
H	54.2817 m	± 1.3 mm
Προσανατολισμός		$\pm 15^{\text{cc}}$

Πίνακας 4.1: Συντεταγμένες ελεύθερης στάσης

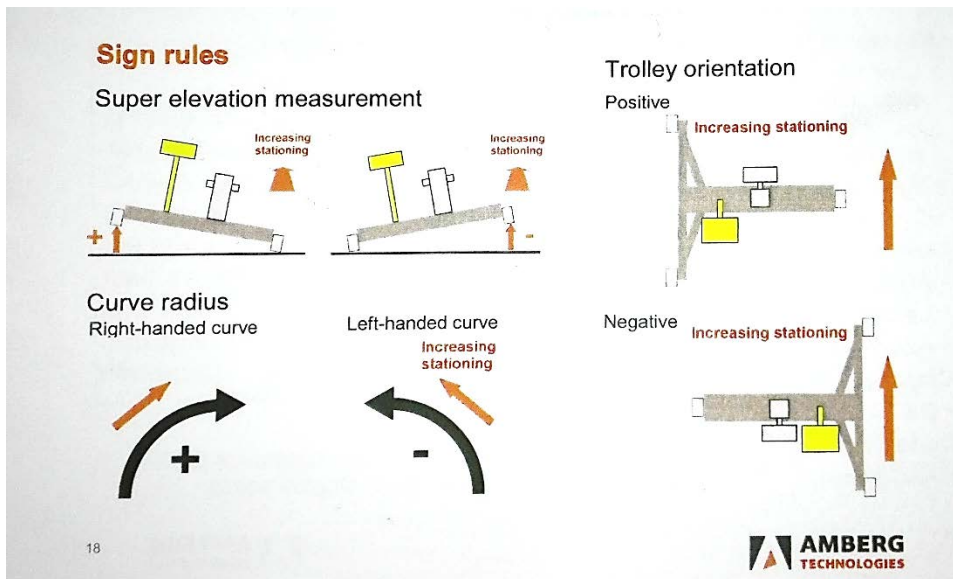
4.3 Μέθοδος GRP

Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση της γραμμής ήταν του GRP. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το GRP 1000 και επομένως αποτελείτο από:

- Την πλατφόρμα (trolley TGS FX) της οποίας η γεωμετρία είναι ορισμένη από το καλιμπράρισμα της εταιρείας
- Ένα κυκλικό πρίσμα τοποθετημένο στην κολώνα της πλατφόρμας
- Έναν H/Y heavy duty δηλαδή αδιάβροχο, αντι-κραδασμικό, με ανθεκτικό σκληρό δίσκο κτλ
- Ένα όργανο ασύρματης επικοινωνίας με τον γεωδαιτικό σταθμό
- Μία μπαταρία για την τροφοδότηση των αισθητήρων, του υπολογιστή και του πομποδέκτη

Οι ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν για την έναρξη των μετρήσεων ήταν οι ακόλουθες:

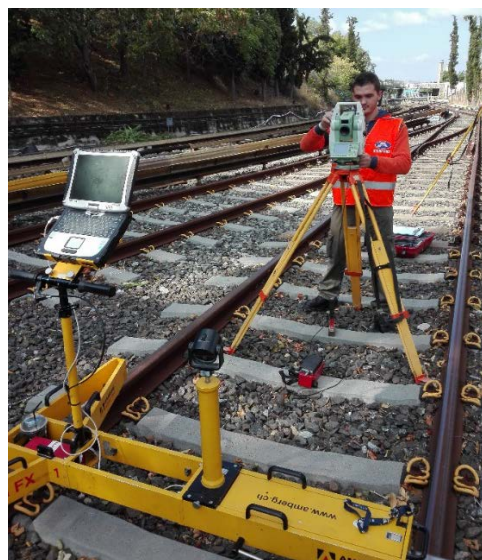
- Μεταφορά και συναρμολόγηση της πλατφόρμας του συστήματος GRP και τοποθέτηση του πρίσματος
- Σύνδεση μπαταρίας (στο sensor box)
- Σύνδεση του ασύρματου πομποδέκτη και της κεραίας του στην πλατφόρμα (στο sensor box)
- Σύνδεση του δεύτερου ασύρματου πομποδέκτη στο όργανο
- Σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην πλατφόρμα (στο sensor box)
- Εκκίνηση του υπολογιστή και του κατάλληλου λογισμικού
- Εκκίνηση αντίστοιχου λογισμικού στον γεωδαιτικό σταθμό
- Έλεγχος επικοινωνίας μεταξύ οργάνου και συστήματος GRP
- Τοποθέτηση του αμαξιδίου στη γραμμή
- Καλιμπράρισμα του αισθητήρα υπερύψωσης
- Ορισμός προσανατολισμού τρόλεϋ (negative – positive) ανάλογα με το αν η κίνηση του έχει ίδια ή αντίθετη κατεύθυνση από τη χλιομέτρηση της γραμμής (εικόνα 4.10). Στην προκειμένη περίπτωση το τρόλεϋ κινείται αντίθετα της χλιομέτρησης της Γραμμής 1, η οποία ξεκινάει από τον Πειραιά και καταλήγει στην Κηφισιά
- Πραγματοποίηση μετρήσεων (ανά τρεις στρωτήρες στην ευθυγραμμία και ανά δύο στο κυκλικό τόξο)



Εικόνα 4.10: Βασικές αρχές πλατφόρμας GRP [GRP System Training, version 2.0]

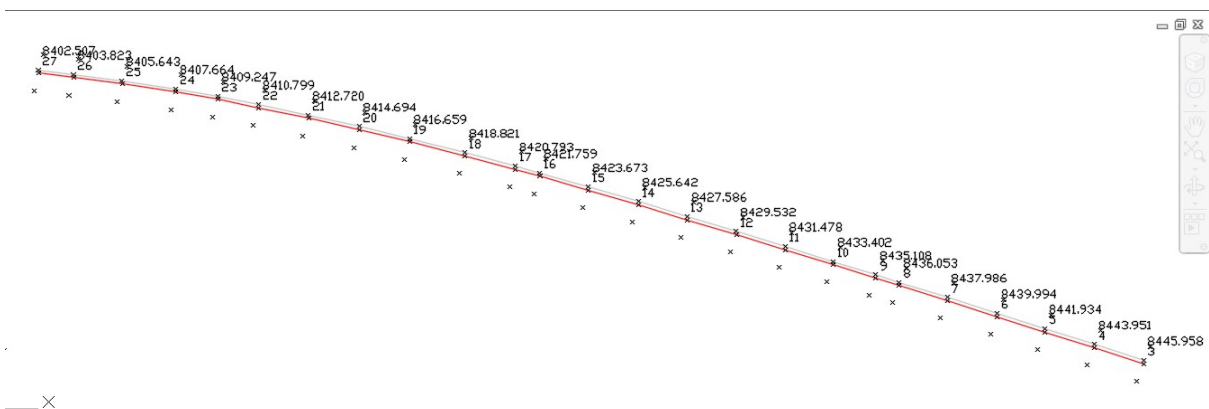
Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι η σκόπευση του πρίσματος από τον γεωδαιτικό σταθμό όργανο γίνεται αυτόματα με τη λειτουργία auto lock αλλά καθώς η πλατφόρμα του GRP πλησιάζει τον γεωδαιτικό σταθμό το πρίσμα φεύγει πιο εύκολα εκτός του παραθύρου auto lock του οργάνου οπότε και απαιτείται η παρέμβαση του μηχανικού στη σκόπευση.

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις από το όργανο καθώς πλησιάζει το GRP γίνονται έως ότου το τελευταίο πλησιάσει σε μία απόσταση της τάξεως των 2 μέτρων ώστε να αποφευχθεί η εισαγωγή σφαλμάτων λόγω μεγάλων κατακόρυφων γωνιών (εικόνα 4.11).



Εικόνα 4.11: Τελευταία (οριακή) θέση μέτρησης με το GRP για αποφυγή σφαλμάτων λόγω μεγάλων κατακόρυφων γωνιών

Συνολικά μετρήθηκαν 25 σημεία (εικόνα 4.12) ανά σιδηροτροχιά σε χρονικό διάστημα 40 λεπτών, χωρίς την ύπαρξη κάποιας δυσκολίας ή προβλήματος.



Εικόνα 4.12: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο GRP

4.4 Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ

Μετά τη μέθοδο του GRP εφαρμόστηκε η μέθοδος του συμβατικού τρόλεϋ, η αρχή της οποίας είναι ίδια με αυτή του GRP με ορισμένες, ωστόσο, διαφοροποιήσεις:

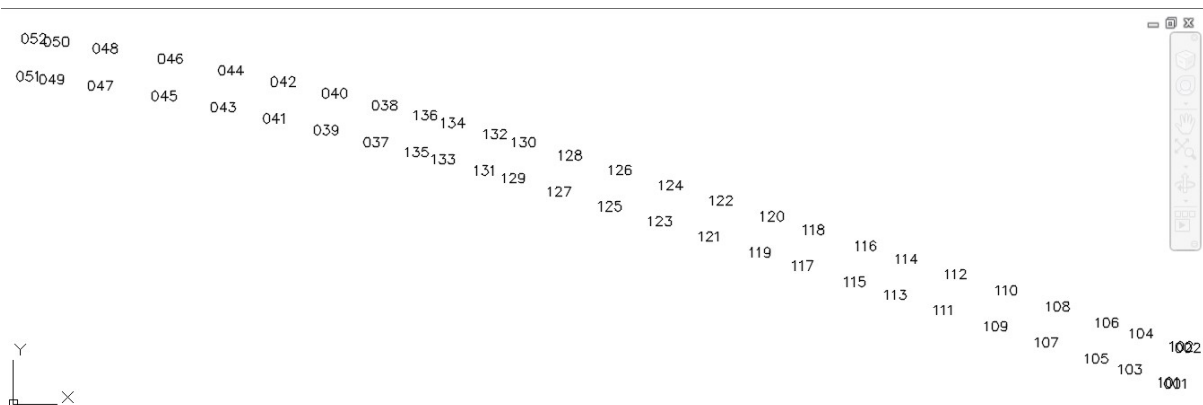
- Δεν υπάρχει ασύρματη σύζευξη και επικοινωνία οχήματος-οργάνου και επομένως οι μετρήσεις και οποιεσδήποτε παρατηρήσεις (πχ. συγκολλήσεις, αμφιδέσεις) πρέπει να γίνονται από τον παρατηρητή κατά τη μέτρηση από το όργανο
- Δεν υπάρχει ηλεκτρονικός υπολογιστής
- Η πληροφορία για το εύρος της γραμμής συλλέγεται από ξεχωριστό όργανο και όχι από το όχημα καθώς δε διαθέτει ενσωματωμένους κατάλληλους αισθητήρες
- Η πληροφορία για την υπερύψωση της γραμμής δύναται να συλλεχθεί τόσο από ξεχωριστό όργανο όσο και από το ίδιο το όχημα με τη βοήθεια των δύο ενσωματωμένων πρισμάτων που διαθέτει
- Η πάκτωση του αμαξιδίου στη γραμμή απαιτεί συνεχή προσοχή διότι δεν είναι τόσο σταθερή όσο του GRP
- Πραγματοποίηση μετρήσεων (ανά τρεις στρωτήρες στην ευθυγραμμία και ανά δύο στο κυκλικό τόξο)

Το τρόλεϋ (εικόνα 4.13) που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις είναι μία κατασκευή του κ. Άγγελου Ζέρβα.



Εικόνα 4.13: Συμβατικό τρόλεϋ και όργανα μέτρησης εύρους και υπερύψωσης γραμμής

Συνολικά μετρήθηκαν 27 σημεία (εικόνα 4.14) ανά σιδηροτροχιά και 27 ενδείξεις εύρους και υπερύψωσης από τα αντίστοιχα όργανα σε χρονικό διάστημα 55 λεπτών.



Εικόνα 4.14: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ

Με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ αντιμετωπίστηκε ένα πρόβλημα όσον αφορά την πάκτωση του στη γραμμή.

Εξαιτίας της κίνησης του από σημείο σε σημείο για τη λήψη μετρήσεων ένα εξάρτημα από το όχημα έφευγε από τη θέση του. Αυτό είχε αποτέλεσμα οι ρόδες να μην εφάπτονται στη σιδηροτροχιά.

Επειδή πρόκειται για ένα χονδροειδές λάθος απαιτούνταν συνεχώς προσοχή ώστε το εξάρτημα να παραμένει στη θέση του, ενώ στην πρώτη εμφάνιση της δυσλειτουργίας του τρόλεϋ χρειάστηκε να επαναληφθούν οι μετρήσεις σε τμήμα της γραμμής καθώς δεν παρατηρήθηκε ποτέ ακριβώς παρουσιάστηκε το πρόβλημα.

4.5 Μέθοδος γωνιάς

Η χρήση της μεθόδου της γωνιάς είναι από τις πιο εύκολες στην εφαρμογή και αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία έχουν αναπτυχθεί οι πιο σύγχρονες μέθοδοι.

Για την εφαρμογή της απαιτήθηκε μόνο η χρήση του οργάνου, της γωνιάς και ενός πρίσματος (mini prism), τοποθετημένο στη γωνιά (εικόνα 4.15).

Και σε αυτή την περίπτωση οι μετρήσεις έγιναν ανά τρεις στρωτήρες στην ευθυγραμμία και ανά δύο στο κυκλικό τόξο.

Η κύρια διαφορά με τις άλλες δύο μεθόδους είναι ότι η γεωμετρία της γραμμής προκύπτει από την απ' ευθείας σκόπευση των σιδηροτροχιών με τη βοήθεια της γωνιάς και όχι με βάση τη γνωστή γεωμετρία κάποιου αμαξιδίου. Παράλληλα, αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η μέτρηση του εύρους και της υπερύψωσης της γραμμής με κάποιο όργανο καθώς προκύπτει από τις συντεταγμένες των απέναντι σημείων των σιδηροτροχιών.

Για αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή τα σημεία που σκοπεύονται να είναι το ένα ακριβώς απέναντι από το άλλο ώστε να δίνουν τη σωστή πληροφορία.



Εικόνα 4.15: Μέτρηση με τη μέθοδο της γωνιάς

Συνολικά μετρήθηκαν 24 σημεία (εικόνα 4.16) στη σιδηροτροχιά αναφοράς και 26 σημεία στην άλλη ανά σιδηροτροχιά σε χρονικό διάστημα 40 λεπτών, χωρίς την ύπαρξη κάποιας δυσκολίας ή προβλήματος.



Εικόνα 4.16: Μετρημένα σημεία με τη μέθοδο της γωνιάς

4.6 Επεξεργασία μετρήσεων

Τη συλλογή των απαραίτητων μετρήσεων στο χώρο της Γραμμής 1 ακολούθησε η επεξεργασία τους σε διάφορα στάδια και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη γεωμετρία της γραμμής και την απόδοση της κάθε μεθόδου σε ακρίβεια, κόστος και χρόνο.

Το επίπεδο εμπιστοσύνης με το οποίο επιλέχθηκε να γίνουν όλοι οι υπολογισμοί είναι 68%.

Η επιλογή ενός τέτοιου επιπέδου εμπιστοσύνης αν και κοστίζει σε χρήματα είναι συνήθης για έργα που απαιτούν υψηλή ακρίβεια (ακόμη και <1mm) προσφέροντας μεγαλύτερη ασφάλεια και σιγουριά στις εργασίες. Για το λόγο λοιπόν ότι ο τομέας του σιδηροδρόμου πρέπει εκτός από ταχύτητα να εγγυάται και ασφάλεια στους επιβάτες, επιλέχθηκε η επεξεργασία των μετρήσεων να γίνει για το πιο αυστηρό επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλαδή 68%.

Αρχικά πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ακρίβειας με την οποία κάθε μέθοδος προσδιόρισε τις συντεταγμένες των σημείων των σιδηροτροχιών που αποτυπώθηκαν.

Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στις βασικές σχέσεις της γεωδαισία.

Τα δεδομένα με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί είναι:

- Η αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης της ελεύθερης στάσης
 $\sigma_{\chi\Sigma} = \pm 1.5 \text{ mm}$
 $\sigma_{\gamma\Sigma} = \pm 1.5 \text{ mm}$

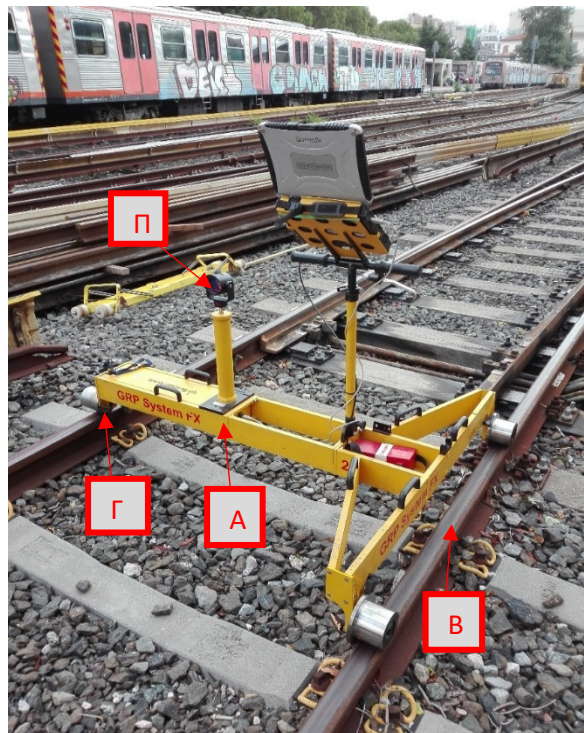
$$\sigma_{\text{H}\Sigma} = \pm 1.3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{azim}} = \pm 15^{\text{cc}}$$

- Η κατασκευαστική αβεβαιότητα του γεωδαιτικού σταθμού
Μέτρηση μηκών: $1 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$ (Για μήκη $\approx 45 \text{ m} \Rightarrow \pm 1 \text{ mm}$)
Μέτρηση διευθύνσεων: $\pm 1'' = 3^{\text{cc}}$ ($\sigma_{\beta} = \sqrt{2} * 3 = \pm 4^{\text{cc}}$)
- Η αβεβαιότητα τοποθέτησης των καταφώτων: $\approx \mu\text{m} \implies$
αμελητέες
- Η αβεβαιότητα της μεθόδου GRP
Gauge (Εύρος): $\pm 0.3 \text{ mm}$
Superelevation (Υπερύψωση): $\pm 0.5 \text{ mm}$
Inner accuracy (Εσωτερική ακρίβεια): $\pm 0.5 \text{ mm}$
- Οι αβεβαιότητες της μεθόδου του συμβατικού τρόλεϋ
Κατασκευαστική αβεβαιότητα οριζοντιογραφικά: $\pm 2 \text{ mm}$
Υψομετρική αβεβαιότητα (λόγω φθοράς τροχών): $\pm 1 \text{ mm}$
- Οι αβεβαιότητες της μεθόδου της γωνιάς
Κατασκευαστική αβεβαιότητα οριζοντιογραφικά: $\pm 1 \text{ mm}$
Υψομετρική αβεβαιότητα (λόγω φθοράς τροχών): $\pm 1 \text{ mm}$

✚ Μέθοδος GRP

Αρχικά για τη μέθοδο του GRP από τη στάση Σ του οργάνου σκοπεύεται το σημείο Π (πρίσμα) και στη συνέχεια μέσω της γνωστής γεωμετρίας του αμαξιδίου υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σιδηροτροχιών (σημεία B και Γ) και οι αντίστοιχες αβεβαιότητές τους (εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.17: Υπολογισμός αβεβαιότητας GRP

Σε πρώτο στάδιο γίνεται ο υπολογισμός της ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης οριζοντιογραφικά, όπου:

X_{Σ}, Y_{Σ} : οι συντεταγμένες του γεωδαιτικού σταθμού

$D_{\Sigma\Pi}$: το μήκος $\Sigma\Pi$

$S_{\Sigma\Pi}$: η οριζόντια απόσταση $\Sigma\Pi$

$\alpha_{\Sigma\Pi}$: η γωνία διεύθυνσης του ευθύγραμμου τμήματος $\Sigma\Pi$

$z_{\Sigma\Pi}$: η κατακόρυφη ζενίθια γωνία $\Sigma\Pi$

$$X_{\Pi} = X_{\Sigma} + S_{\Sigma\Pi} * \sin\alpha_{\Sigma\Pi} \text{ , με } S_{\Sigma\Pi} \approx 45\text{m και } \alpha_{\Sigma\Pi} \approx 120^{\circ} \quad (4.1)$$

$$\sigma_{X_{\Pi}} = \pm \sqrt{\sigma_{X_{\Sigma}}^2 + (\sin\alpha_{\Sigma\Pi})^2 * \sigma_{S_{\Sigma\Pi}}^2 + (S_{\Sigma\Pi} * \cos\alpha_{\Sigma\Pi})^2 * \left(\frac{\sigma_{\alpha_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.2)$$

$$S_{\Sigma\Pi} = D_{\Sigma\Pi} * \sin z_{\Sigma\Pi} \quad (4.3)$$

$$\sigma_{S_{\Sigma\Pi}} = \pm \sqrt{(\sin z_{\Sigma\Pi})^2 * \sigma_{D_{\Sigma\Pi}}^2 + (D_{\Sigma\Pi} * \cos z_{\Sigma\Pi})^2 * \left(\frac{\sigma_{z_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.4)$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{\Sigma\Pi} + 100^{\circ} \quad (4.5)$$

$$S_{AB} = \sqrt{AB'^2 - \Delta s'^2} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{S_{AB}} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2}(AB'^2 - \Delta s'^2) * 2 * AB'\right)^2 * \sigma_{AB'}^2 + \left(\frac{1}{2}(AB'^2 - \Delta s'^2) * 2 * \Delta s'\right)^2 * \sigma_{\Delta s'}^2} \quad (4.7)$$

$$X_B = X_A + S_{AB} * \sin\alpha_{AB} \quad (4.8)$$

$$\sigma_{X_B} = \sigma_{Y_B} = \pm \sqrt{\sigma_{X_A}^2 + (\sin\alpha_{AB})^2 * \sigma_{S_{AB}}^2 + (S_{AB} * \cos\alpha_{AB})^2 * \left(\frac{\sigma_{\alpha_{AB}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.9)$$

Τελικά:

$$\sigma_{X_B \text{ ΤΕΛΙΚΟ}} = \sigma_{X_B} + \sigma_{\text{ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ GRP}} = 0.0017 + 0.0005 = \pm 2.2 \text{ mm} \quad (4.10)$$

Όσον αφορά την υψομετρία εφαρμόζεται η σχέση της τριγωνομετρικής υψομετρίας και ο αντίστοιχος νόμος μετάδοσης σφαλμάτων:

$$H_{\Pi} = H_{\Sigma} + D_{\Sigma\Pi} * \cos z_{\Sigma\Pi} \quad (4.11)$$

Σημείωση: Ύψος οργάνου και ύψος στόχου δε συμμετέχουν καθώς το όργανο έχει τοποθετηθεί σε ελεύθερη στάση και άρα το σημείο που υλοποιείται είναι στην τυχαία τομή των αξόνων του οργάνου και το πρίσμα σκοπεύεται στο κέντρο που είναι και το σημείο που ενδιαφέρει.

$$\sigma_{\text{HAII}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_{\Sigma}}^2 + (\cos z_{\Sigma\Pi})^2 * \sigma_{D_{\Sigma\Pi}}^2 + (D_{\Sigma\Pi} * (-\sin z_{\Sigma\Pi}))^2 * \left(\frac{\sigma_{z_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{CC}}\right)^2} \quad (4.12)$$

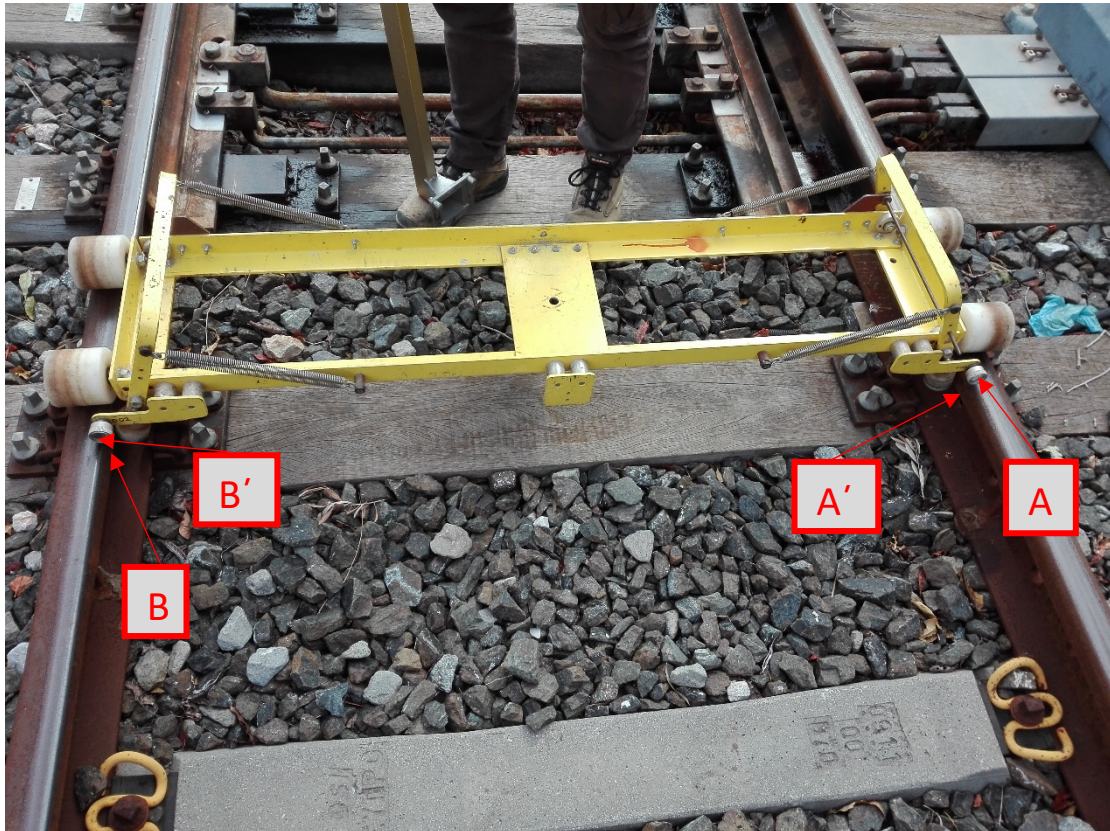
,ως z χρησιμοποιείται ένα $z_{\text{ΜΕΣΟ}}=110^{\circ}$, $D_{\Sigma\Pi} \approx 45\text{m}$, $\sigma_z = \sigma_{\beta} = \pm 4''$, $\sigma_{H_{\Sigma}} = \pm 0.0013\text{m}$ (από free station)

Τελικά:

$$\sigma_{\text{H.A.B. ΤΕΛΙΚΟ}} = \sigma_{\text{HII}} + \sigma_{\text{ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ GRP}} = 0.0013 + 0.0005 = \pm 1.8 \text{ mm} \quad (4.13)$$

✚ Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ

Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός της ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης οριζοντιογραφικά:



Εικόνα 4.18: Υπολογισμός αβεβαιότητας συμβατικού τρόλεϋ

$$\sigma_{\text{XA}} = \sigma_{\text{YA}} = \sigma_{\text{XB'}} = \sigma_{\text{YB'}} = \pm 1.7 \text{ mm} \quad (4.14)$$

$$\alpha_{\text{AB}} = \text{atan} \left(\frac{X_{\text{B'}} - X_{\text{A}}}{Y_{\text{B'}} - Y_{\text{A}}} \right) \quad (4.15)$$

$$\sigma_{ABrad} = \pm \frac{\sigma_{XA} \cdot \sqrt{2}}{S_{AB}} \quad (4.16)$$

$$S_{AB} = \sqrt{AB^2 - \Delta S^2} \quad (4.17)$$

$$\sigma_{SAB} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2}(AB^2 - \Delta S^2) \cdot 2 \cdot AB\right)^2 \cdot \sigma_{AB}^2 + \left(\frac{1}{2}(AB^2 - \Delta S^2) \cdot 2 \cdot \Delta S\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta S}^2} \quad (4.18)$$

$$X_B = X_A + S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \quad (4.19)$$

$$\sigma_{XB} = \sigma_{YB} = \pm \sqrt{\sigma_{XA}^2 + (\sin \alpha_{AB})^2 \cdot \sigma_{SAB}^2 + (S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB})^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{\alpha_{AB}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.20)$$

Τελικά:

$$\sigma_{XB_TEΛΙΚΟ} = \sigma_{XB} + \sigma_{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ_ΑΚΡΙΒΕΙΑ_ΤΡΟΛΕΥ} = 0.0003 + 0.002 = \pm 5 \text{ mm} \quad (4.21)$$

Όσον αφορά την υψομετρία εφαρμόζεται η σχέση της τριγωνομετρικής υψομετρίας και ο αντίστοιχος νόμος μετάδοσης σφαλμάτων:

$$H_{\Pi} = H_{\Sigma} + D_{\Sigma\Pi} \cdot \cos z_{\Sigma\Pi} \quad (4.20)$$

$$\sigma_{H\Pi} = \pm \sqrt{\sigma_{H_{\Sigma}}^2 + (\cos z_{\Sigma\Pi})^2 \cdot \sigma_{D_{\Sigma\Pi}}^2 + (D_{\Sigma\Pi} \cdot (-\sin z_{\Sigma\Pi}))^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{z_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.21)$$

Τελικά:

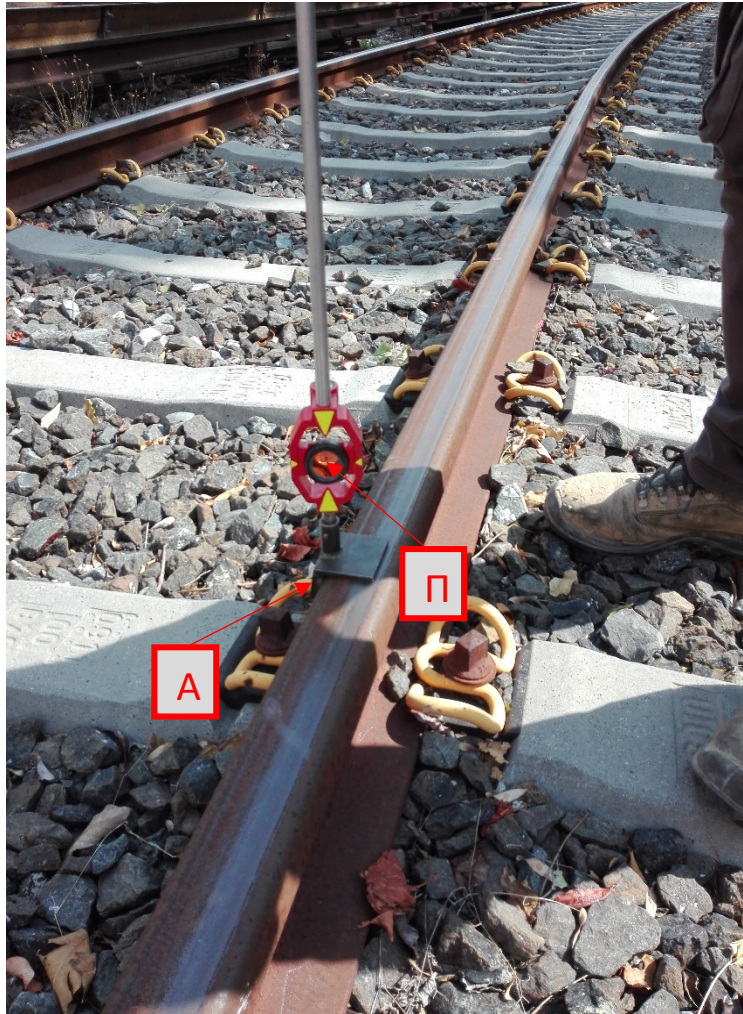
$$\sigma_{H_A'_TEΛΙΚΟ} = \sigma_{H\Pi} + \sigma_{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ_ΑΚΡΙΒΕΙΑ_ΤΡΟΛΕΥ} = 0.0013 + 0.001 = \pm 2.3 \text{ mm} \quad (4.22)$$

Μέθοδος γωνιάς

Αρχικά γίνεται ο υπολογισμός της ακρίβειας στον προσδιορισμό της θέσης οριζοντιογραφικά:

$$X_{\Pi} = X_A = X_{\Sigma} + S_{\Sigma\Pi} \cdot \sin \alpha_{\Sigma\Pi} \quad (4.23)$$

$$\sigma_{X\Pi} = \sigma_{X_A} = \sigma_{Y_A} = \pm \sqrt{\sigma_{X_{\Sigma}}^2 + (\sin \alpha_{\Sigma\Pi})^2 \cdot \sigma_{S_{\Sigma\Pi}}^2 + (S_{\Sigma\Pi} \cdot \cos \alpha_{\Sigma\Pi})^2 \cdot \left(\frac{\sigma_{\alpha_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{cc}}\right)^2} \quad (4.24)$$



Εικόνα 4.19: Υπολογισμός αβεβαιότητας μεθόδου γωνιάς

Τελικά:

$$\sigma_{\text{ΧΑ_ΤΕΛΙΚΟ}} = \sigma_{\text{ΧΑ}} + \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ_ΑΚΡΙΒΕΙΑ_ΓΩΝΙΑΣ}} = 0.0017 + 0.001 = \pm 2.7 \text{ mm} \quad (4.25)$$

Όσον αφορά την υψομετρία εφαρμόζεται η σχέση της τριγωνομετρικής υψομετρίας και ο αντίστοιχος νόμος μετάδοσης σφαλμάτων:

$$H_{\Pi} = H_{\Sigma} + D_{\Sigma\Pi} * \cos Z_{\Sigma\Pi} + Y_{\Sigma}, \text{ με } Y_{\Sigma} = 0.100\text{m} \quad (4.26)$$

$$\sigma_{H_{\Pi}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_{\Sigma}}^2 + (\cos Z_{\Sigma\Pi})^2 * \sigma_{D_{\Sigma\Pi}}^2 + (D_{\Sigma\Pi} * (-\sin Z_{\Sigma\Pi}))^2 * \left(\frac{\sigma_{Z_{\Sigma\Pi}}}{\rho_{CC}}\right)^2 + \sigma_{Y_{\Sigma}}^2} \quad (4.27)$$

Σημείωση: Το $\sigma_{Y_{\Sigma}}$ θεωρείται μηδενικό δεδομένου ότι προστίθεται 1mm κατασκευαστικής αβεβαιότητας στα υψόμετρα και περιέχεται σε αυτή και το $\sigma_{Y_{\Sigma}}$.

Τελικά:

$$\sigma_{\text{ΧΑ_ΤΕΛΙΚΟ}} = \sigma_{H_{\Pi}} + \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ_ΑΚΡΙΒΕΙΑ_ΤΡΟΛΕΥ}} = 0.0013 + 0.001 = \pm 2.3 \text{ mm} \quad (4.28)$$

Τελικά, η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά της κάθε μεθόδου παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2:

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΑΚΡΙΒΕΙΑ	
	Οριζοντιογραφικά	Υψομετρικά
GRP	± 2.2 mm	± 1.8 mm
YELLOW TROLLEY	± 5 mm	± 2.3 mm
ΓΩΝΙΑ	± 2.7 mm	± 2.3 mm

Πίνακας 4.2: Ακρίβειες μεθόδων στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων λεπτομερειών οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

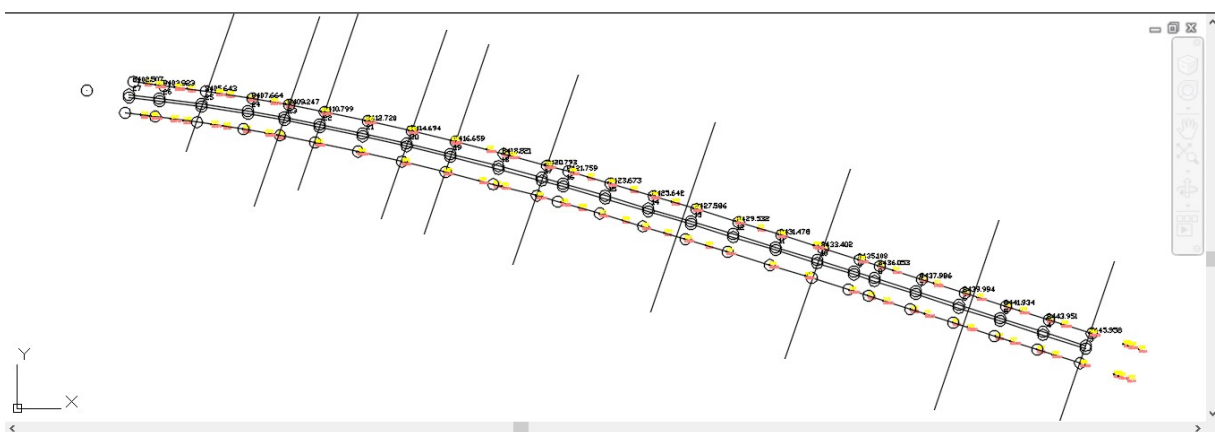
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΑΡΑΞΗΣ – ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

5.1 Σύγκριση μεθόδων με γραφικό τρόπο

Στο πρώτο στάδιο της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τριών μεθόδων αποτύπωσης με γραφικό τρόπο. Με τη βοήθεια του λογισμικού AutoCAD δημιουργούνται 10 εγκάρσιες τομές κατά μήκος του τμήματος της γραμμής και συγκρίνεται η κάθε μία από αυτές όπως προέκυψε με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους. Η σύγκριση έγινε τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά.

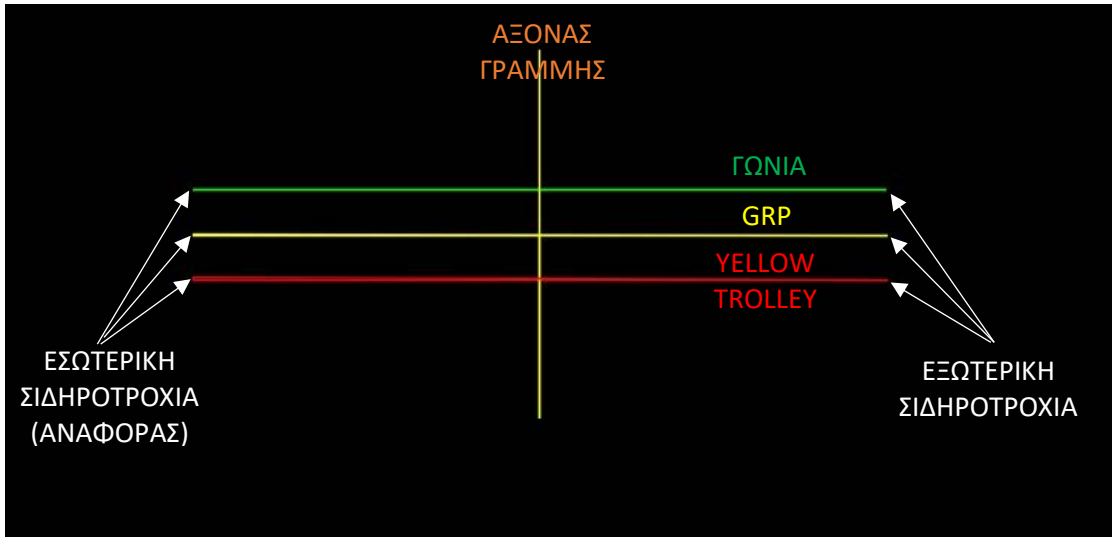
Τομές πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα χαρακτηριστικά σημεία της γραμμής (πχ. συγκολλήσεις, αμφιδέσεις) και σε ορισμένα άλλα σημεία που κρίθηκε αναγκαίο. Η απεικόνιση της γραμμής και των τομών που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στην εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1: Επιλογή θέσης τομών για τη γραφική σύγκριση των μεθόδων αποτύπωσης

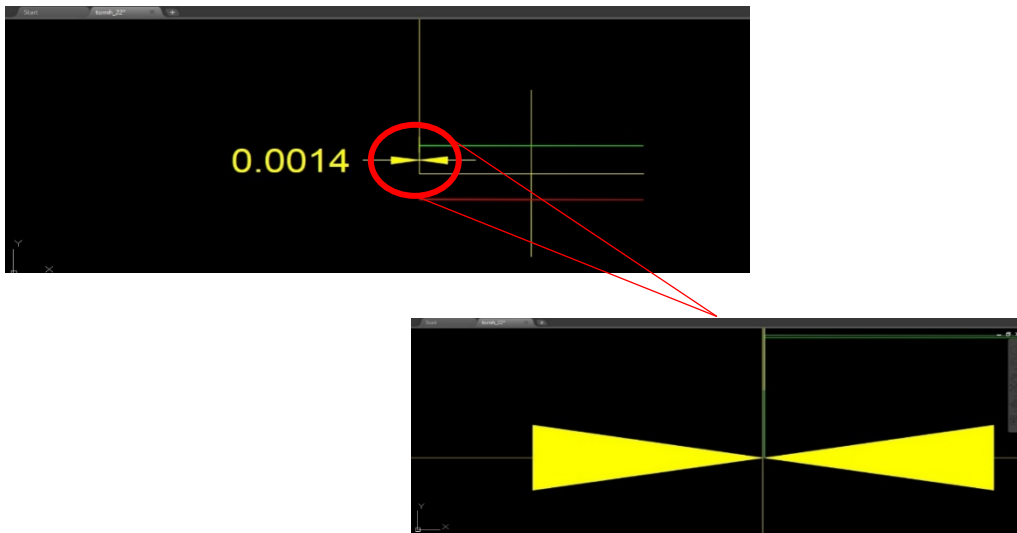
Στη συνέχεια έγινε καταγραφή των διαφορών που εντοπίστηκαν μεταξύ των τριών μεθόδων και ελέγχθηκε αν οι διαφορές αυτές είναι στατιστικά σημαντικές ή αν εμπίπτουν στο θόρυβο των μετρήσεων.

Ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας έγινε συγκρίνοντας τις διαφορές Δd στην οριζοντιογραφία και ΔH στην υψομετρία με τα αντίστοιχα σφάλματά τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 68% ($\sigma_{\Delta d} * Z_{68\%}$ και $\sigma_{\Delta H} * Z_{68\%}$, $Z_{68\%}=1$).



Εικόνα 5.2: Συγκριτική παρουσίαση τομών με τις 3 μεθόδους

Τα σφάλματα των διαφορών προκύπτουν ως εξής:

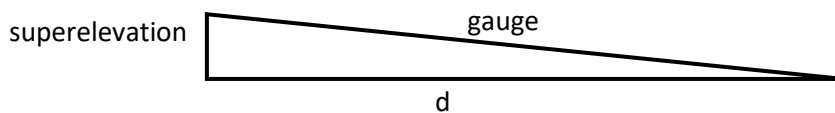


Εικόνα 5.3: Οριζοντιογραφικές διαφορές Δd μεταξύ των διαφορών μεθόδων στην ίδια τομή

Για την οριζοντιογραφία αν Δd είναι η διαφορά της ίδιας τομής μεταξύ δύο μεθόδων, έστω των μεθόδων GRP και YELLOW TROLLEY τότε:

$$\Delta d = d_{GRP} - d_{YELLOW_TROLLEY}$$

$$\sigma_{\Delta d} = \pm \sqrt{\sigma_{d_GRP}^2 + \sigma_{d_YELLOW_TROLLEY}^2}$$



,όπου $d = \pm \sqrt{gauge^2 - superelevation^2}$ και $\sigma_d = \pm \sqrt{\sigma_{gauge}^2 + \sigma_{superelevation}^2}$,με:

- gauge ένα μέσο εύρος γραμμής
- σ_{gauge} την αβεβαιότητα προσδιορισμού του εύρους
- superelevation μία μέση υπερύψωση των εξεταζόμενων τομών
- $\sigma_{superelevation}$ την αβεβαιότητα προσδιορισμού της υπερύψωσης

Για την υψομετρία αν ΔΗ είναι η διαφορά της ίδιας τομής μεταξύ δύο μεθόδων, έστω των μεθόδων GRP και YELLOW TROLLEY τότε:

$\Delta H = H_{GRP} - H_{YELLOW_TROLLEY}$ και $\sigma_{\Delta H} = \pm \sqrt{\sigma_{H_GRP}^2 + \sigma_{H_YELLOW_TROLLEY}^2}$, όπου:

- Η το υψόμετρο της της σιδηροτροχιάς αναφοράς

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1 και 5.2.

ΤΟ ΜΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΕΣ Δd (mm)					
		ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ					
		GRP - YELLOW TROLLEY		YELLOW TROLLEY - ΓΩΝΙΕΣ		GRP - ΓΩΝΙΕΣ	
A		+	0.4	+	0.6	+	1.0
B		-	0.1	+	1.1	+	1.0
Γ	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	+	0.1	+	0.3	+	0.4
Δ		+	1.2	-	2.8	-	1.4
Ε	ΑΜΦΙΔΕΤΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	+	0.7	+	0.5	+	1.2
Z		+	0.4	+	0.9	+	1.3
H		+	0.3	+	1.3	+	1.6
Θ		+	2.9	-	1.5	+	1.4
I	ΑΜΦΙΔΕΤΗΣ ΔΕΞΙΑ	+	7.2	-	6.5	+	0.4
K	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	+	2.0	-	2.7	-	0.7
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ d_{AVER}		+	1.5	-	1.8	+	1.0
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d_{MIN}		+	0.1	-	0.3	+	0.4
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d_{MAX}		+	7.2	+	6.5	+	1.6
$\sigma_{\Delta d}$		±	1.0	±	5.0	±	5.1
$\sigma_{\Delta d} * z$		±	1.0	+/-	5.0	±	5.1

Πίνακας 5.1: Σύγκριση των τριών μεθόδων οριζοντιογραφικά με γραφικό τρόπο

Για την διαπίστωση εάν οι οριζοντιογραφικές διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των 3 μεθόδων είναι στατιστικά σημαντικές ή όχι ελέγχεται η κάθε διαφορά Δd με το αντίστοιχο σφάλμα της επί το z που αντιστοιχεί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 68%. Επομένως για να θεωρηθεί κάποια από τις διαφορές στατιστικά σημαντική και άρα όχι μέσα στο

θόρυβο των μετρήσεων για επίπεδο εμπιστοσύνης $p=68\% \Rightarrow z=1$ θα πρέπει $\Delta d > \sigma_{\Delta d} * z_{68\%}$.

Η ανισότητα επαληθεύεται σε 5 περιπτώσεις, εκ των οποίων οι 4 εντοπίζονται στη σύγκριση του GRP με το YELLOW TROLLEY και άλλη μία στη σύγκριση YELLOW TROLLEY με ΓΩΝΙΑ (διάγραμμα 5.1).

Συγκεκριμένα στην τομή Δ η υπέρβαση της επιτρεπόμενης τιμής γίνεται για 0.2mm και επομένως δεν κρίνεται αναγκαίο να θεωρηθεί ως σημαντική διαφορά και να εξετασθεί.

Στην τομή Ι παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεθόδων GRP-YELLOW TROLLEY και YELLOW TROLLEY-ΓΩΝΙΑ. Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορές αυτές οφείλονται σε κάποιο σφάλμα κατά τη μέτρηση με το συμβατικό τρόλεϋ, καθώς μεταξύ των μεθόδων GRP-ΓΩΝΙΑ (διάγραμμα 5.1) δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά.

Επίσης στις τομές Θ και Κ παρουσιάζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των μεθόδων GRP και YELLOW TROLLEY αλλά όχι στην περίπτωση YELLOW TROLLEY-ΓΩΝΙΑ και GRP-ΓΩΝΙΑ. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι οι μέθοδοι GRP και YELLOW TROLLEY έχουν υψηλότερη ακρίβεια στη μέτρηση εύρους και επομένως μικρότερη ανοχή στον στατιστικό έλεγχο. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η σύγκριση των 3 μεθόδων αποτύπωσης σιδηροτροχιών δίνουν αποτελέσματα εντός του ορίου της αβεβαιότητας τους.

Επομένως υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ των τριών μεθόδων που υποδεικνύουν τη μέθοδο GRP πιο ευαίσθητη εξαιτίας της αυξημένης ακρίβειας που διαθέτει.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η συστηματικότητα του προσήμου που παρουσιάζεται στις περιπτώσεις του GRP-YELLOW TROLEY και GRP-ΓΩΝΙΕΣ. Και στις δύο περιπτώσεις το GRP βγάζει μεγαλύτερες τομές από τις άλλες δύο μεθόδους. Οι διαφορές αυτές αν και στατιστικώς ασήμαντες εκφράζουν την αυξημένη ακρίβεια της μεθόδου GRP σε σχέση με του YELLOW TROLEY και της ΓΩΝΙΑΣ.

Στη συνέχεια, όσον αφορά την υψομετρία, για τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ των 3 μεθόδων συγκρίνεται η κάθε διαφορά ΔΗ με το αντίστοιχο σφάλματος της πολλαπλασιασμένο με το z που αντιστοιχεί στο επίπεδο εμπιστοσύνης 68%.

Επομένως για $p=68\% \Rightarrow z_{68\%}=1$ για να θεωρηθεί κάποια από τις διαφορές στατιστικά σημαντική και αρά όχι μέσα στο θόρυβο των μετρήσεων θα πρέπει $\Delta H > \sigma_{\Delta H} * z$, όπου $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma_{H_{GRP}}^2 + \sigma_{H_{YELLOW TROLEY}}^2}$ για την περίπτωση σύγκρισης των μεθόδων GRP – YELLOW TROLEY.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2.

Η ανισότητα επαληθεύεται σε 4 περιπτώσεις, κάτι που σημαίνει πως οι μέθοδοι που εφαρμοστήκαν για την αποτύπωση (υψομετρικά) παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές που οφείλονται σε σφάλματα κατά τη μέτρηση.

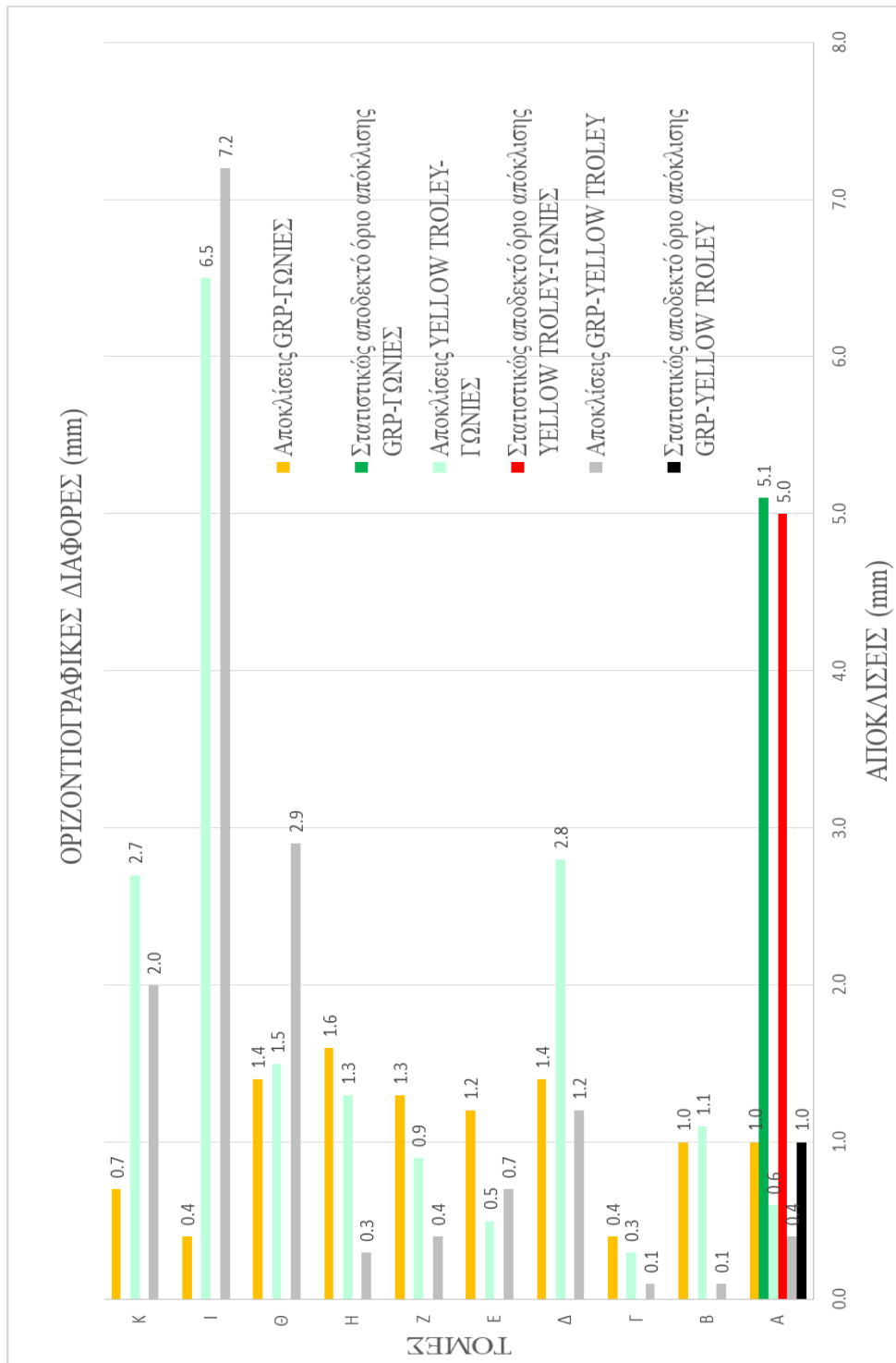
Ωστόσο επειδή στην μια εκ των περιπτώσεων (τομή Β) η διαφορά είναι 0.1 mm θεωρείται αμελητέα.

ΤΟΜΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΗ (mm)					
		ΥΨΟΜΕΤΡΑ					
		H _{GRP} - H _{YELLOW TROLEY}		H _{YELLOW TROLEY} - H _{ΓΩΝΙΕΣ}		H _{GRP} - H _{ΓΩΝΙΕΣ}	
A		+	4.6	-	1.8	+	2.8
B		+	2.7	+	0.3	+	3.0
Γ	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	+	4.4	-	0.6	+	3.8
Δ		+	2.4	+	0.3	+	2.7
Ε	ΑΜΦΙΔΕΤΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	+	2.6	-	0.1	+	2.5
Z		+	2.9	-	0.1	+	2.8
H		+	2.9	-	0.3	+	2.6
Θ		+	2.9	-	0.3	+	2.6
I	ΑΜΦΙΔΕΤΗΣ ΔΕΞΙΑ	+	1.5	+	1.1	+	2.6
K	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-	0.2	+	0.1	-	0.1
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ d _{AVER}		2.7		0.5		2.5	
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d _{MIN}		0.2		0.1		0.1	
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d _{MAX}		4.6		1.8		3.8	
σ _{ΔΗ}		+/-	2.9	+/-	3.3	+/-	2.9
σ _{ΔΗ} * z		+/-	2.9	+/-	3.3	+/-	2.9

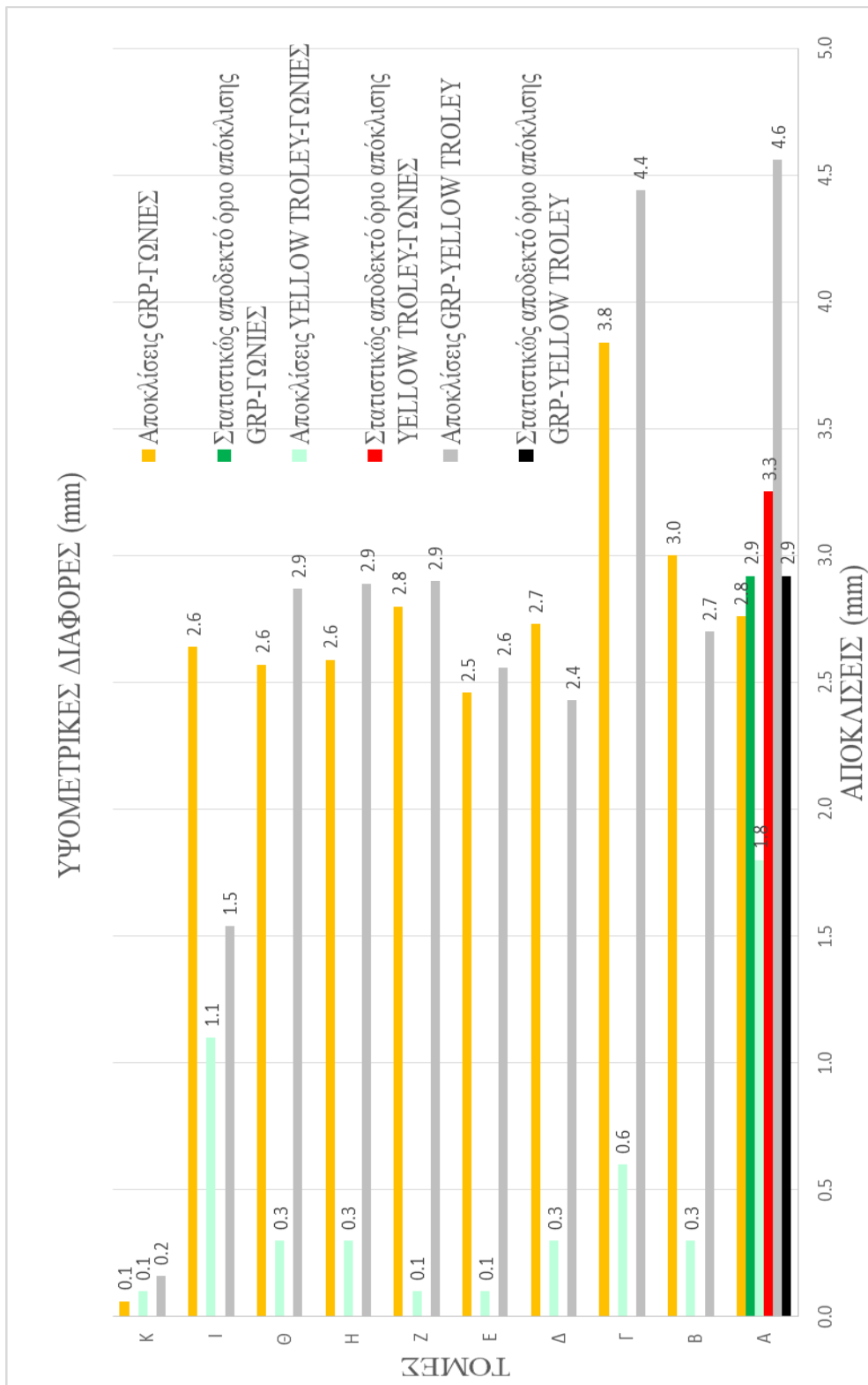
Πίνακας 5.2: Σύγκριση των τριών μεθόδων υψομετρικά με γραφικό τρόπο

Επομένως οι υπό εξέταση περιπτώσεις είναι 3. Παρατηρείται ότι οι 2 από αυτές εντοπίζονται στην ίδια τομή (τομή Γ) και μάλιστα φαίνεται η μέθοδος του GRP να εμφανίζει μεγαλύτερο υψόμετρο γραμμής από ότι οι άλλες δυο μέθοδοι. Αυτό ίσως οφείλεται σε κάποιο τυχαίο γεγονός που έγινε κατά τη μέτρηση του GRP (πχ. διέλευση συρμού κατά τη μέτρηση), όπως θεωρείται και στην τρίτη περίπτωση (τομή Α) που παρουσιάζεται κάτι ανάλογο. Επομένως δε φαίνεται οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων GRP, YELLOW TROLEY και ΓΩΝΙΩΝ να είναι στατιστικώς σημαντικές. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι παρουσιάζεται συστηματικότητα στις υψομετρικές διαφορές GRP-YELLOW TROLEY και GRP-ΓΩΝΙΕΣ (διάγραμμα 5.2) με το υψόμετρο που δίνει το GRP να είναι συστηματικά μεγαλύτερο από ότι των άλλων δυο μεθόδων, κάτι που ωστόσο βρίσκεται εντός των στατιστικά αποδεκτών ορίων.

Τέλος, οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων YELLOW TROLEY-ΓΩΝΙΕΣ (διάγραμμα 5.2) δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.



Διάγραμμα 5.1: Διάγραμμα οριζοντιογραφικών διαφορών των τριών μεθόδων

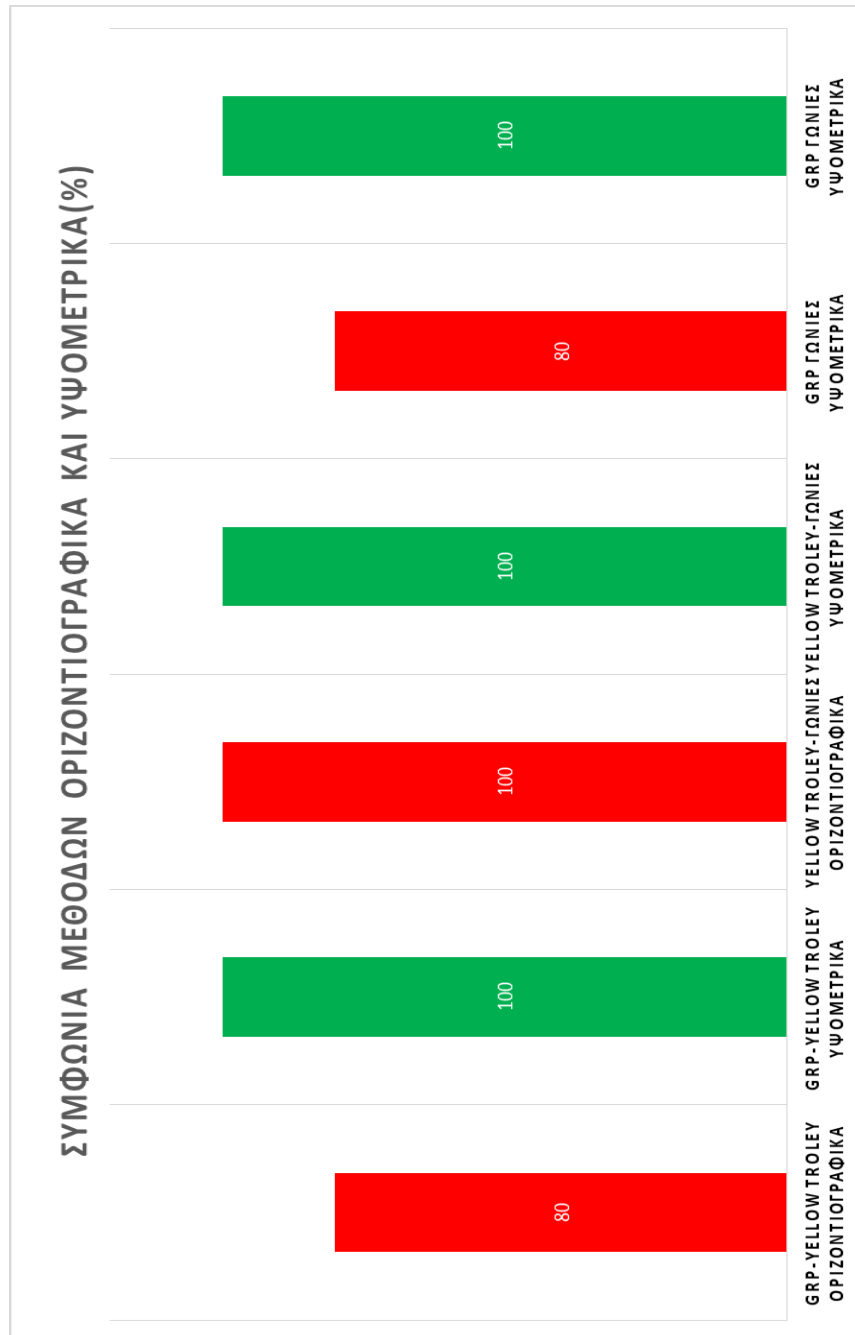


Διάγραμμα 5.2: Διάγραμμα υψομετρικών διαφορών των τριών μεθόδων

Αξίζει να τονισθεί ότι η οριζοντιογραφία και η υψομετρία της γραμμής δεν είναι απαραίτητο ότι συμπίπτουν με τα κατασκευαστικά διότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχουν μεγάλες φθορές της γραμμής και έλλειψη συντήρησης, καθώς δεν αποτελεί κυρία γραμμή κυκλοφορίας συρμών.

Ωστόσο αυτό που παρατίθεται παραπάνω είναι μια σύγκριση της αποτύπωσης με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους και όχι σύγκριση κατασκευαστικής (as built) και υφιστάμενης κατάστασης.

Στο διάγραμμα 5.3 εμφανίζεται το ποσοστό συμφωνίας των τριών μεθόδων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά:



Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα συμφωνίας μεθόδων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

5.2. Σύγκριση μεθόδων με αναλυτικό τρόπο

Στη συνέχεια, για την πιο αναλυτική και λεπτομερή σύγκριση των τριών μεθόδων χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτικός/μαθηματικός τρόπος. Για τη σύγκριση αυτή η γραμμή χωρίστηκε σε ευθύγραμμο τμήμα και κυκλικό τόξο (τόξο συναρμογής δεν υφίσταται καθώς πρόκειται για δευτερεύουσα γραμμή χαμηλών ταχυτήτων).

Για την ολοκληρωμένη σύγκριση των τριών μεθόδων κρίθηκε αναγκαίο να γίνει τόσο η προσαρμογή της καλύτερης ευθείας και κυκλικού τόξου συμπεριλαμβάνοντας σε κάθε περίπτωση τα σημεία που οδηγούν σε στατιστικώς αποδεκτή συναρμογή όσο και η προσαρμογή της καλύτερης ευθείας και κυκλικού τόξου χρησιμοποιώντας και στις τρεις μεθόδους ομόλογα σημεία.

Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη και αποκλείοντας τις περιοχές στις οποίες η γραμμή παρουσίαζε παραμορφώσεις και τις περιοχές που ανήκαν στο ευθύγραμμο τμήμα που έπονταν του εξεταζόμενου κυκλικού τόξου. Οι περιοχές που η γραμμή παρουσιάζει παραμορφώσεις θεωρήθηκε ότι βρίσκονται στις θέσεις όπου και στις τρεις μεθόδους τα σημεία δε δύναται να προσαρμοστούν σε κάποια καμπύλη.

Η στατιστική αποδοχή ενός σημείου προκύπτει από τη σύγκριση του υπολοίπου που εμφανίζει το σημείο από την καλύτερη ευθεία ή κυκλικό τόξο με το σφάλμα του αντίστοιχου υπολοίπου, από τον πίνακα μεταβλητοτήτων-συμμεταβλητοτήτων των υπολοίπων της συνόρθωσης.



Εικόνα 5.4: Τμήμα σιδηροτροχιάς που μελετήθηκε
[www.google.gr/maps]

Σε πρώτο στάδιο, για κάθε μέθοδο και κάθε σιδηροτροχιά έγινε προσπάθεια προσαρμογής της καλύτερης ευθείας και του καλύτερου τόξου

που την περιγράφει. Η προσαρμογή υλοποιήθηκε με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων και συγκεκριμένα με τη γενική μέθοδο συνόρθωσης.

Παρατηρήσεις αποτέλεσαν τα μετρημένα σημεία λεπτομερειών (x,y) της γραμμής, το πλήθος των οποίων σε κάθε περίπτωση διέφερε. Τα σημεία που τελικά συμμετείχαν σε κάθε προσαρμογή καθορίστηκαν κατόπιν δοκιμών και ελέγχων της στατιστικής σημαντικότητας των υπολοίπων τους.

Σε κάθε περίπτωση απαιτήθηκε να αφαιρεθεί διαφορετικό πλήθος σημείων έτσι ώστε η ευθεία και το κυκλικό τόξο που προσαρμόσθηκε να είναι απαλλαγμένο από σημεία που για κάποιο λόγο επηρέαζαν τη γεωμετρία τους.

Κάποιοι πιθανοί λόγοι στους οποίους μπορεί να οφείλεται κάτι τέτοιο είναι:

- Το σημείο να μην ανήκει στην ευθυγραμμία ή την καμπύλη που γίνεται προσπάθεια να ενταχθούν
- Να έχει αστοχήσει η μέτρηση στα σημεία αυτά
- Να οφείλεται στην πραγματική φθορά της γραμμής

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής για κάθε σιδηροτροχιά ήταν μία εξίσωση ευθείας και μία εξίσωση κυκλικού τόξου.

$$y = ax + b \quad (5.1)$$

$$(x - x_K)^2 + (y - y_K)^2 = R^2 \quad (5.2)$$

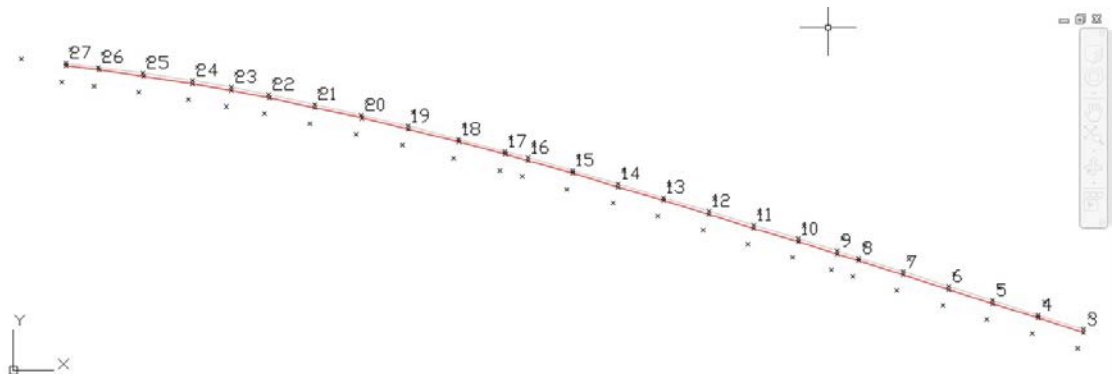
Για τον έλεγχο ύπαρξης στατιστικής σημαντικότητας μεταξύ των τριών μεθόδων όσον αφορά την γεωμετρία της γραμμής συγκρίνονται οι συντελεστές a και b στην ευθυγραμμία και τα μεγέθη x_K , y_K , R στο κυκλικό τόξο. Επίσης για κάθε περίπτωση γίνεται παράθεση του τυπικού σφάλματος της μονάδας βάρους σ_0 .

Αρχικά, για τη σιδηροτροχιά αναφοράς (χαρακτηρίζεται η εσωτερική σιδηροτροχιά της καμπύλης), δηλαδή της σιδηροτροχιάς που βρίσκεται στα δεξιά κατά τη διαδρομή Πειραιάς-Κηφισιά προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

❖ Μέθοδος GRP

Στην περίπτωση του GRP η τελική λύση περιελάμβανε 8 σημεία (εικόνα 5.4) στην ευθυγραμμία (από το 3 έως το 10) και 10 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 14 έως το 23).

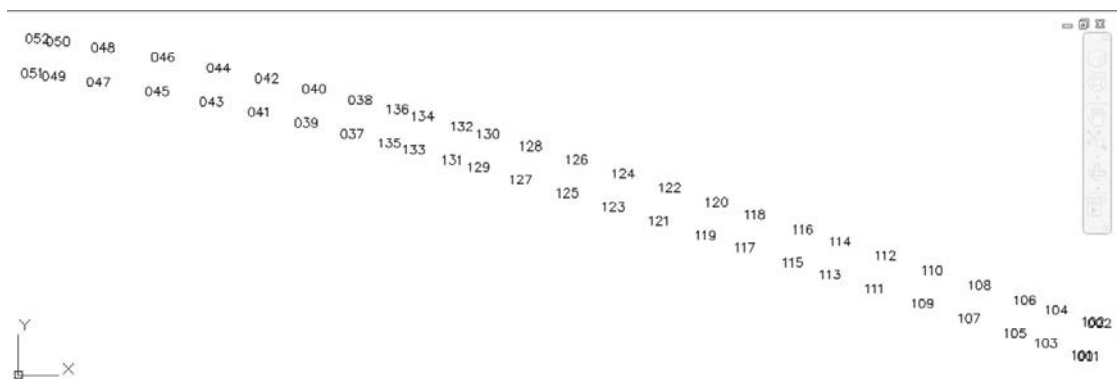
Τα σημεία από το 9 έως το 13 και από το 24 έως το 27 αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.



Εικόνα 5.5: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο του GRP

❖ Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ (Yellow trolley)

Στην περίπτωση του συμβατικού τρόλεϋ η τελική λύση περιελάμβανε 9 σημεία (εικόνα 5.5) στην ευθυγραμμία (από το 001 έως το 115) και 11 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 125 έως το 045). Τα υπόλοιπα σημεία αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.



Εικόνα 5.6: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ

❖ Μέθοδος γωνιάς (Miniprism)

Στην περίπτωση της γωνιάς η τελική λύση περιελάμβανε 9 σημεία (εικόνα 5.6) στην ευθυγραμμία (από το 202 έως το 219) και 10 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 225 έως το 244).

Τα σημεία 222, 244, 245, 248 και 249 αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.



Εικόνα 5.7: Σημεία αποτύπωσης με τη μέθοδο της γωνιάς

Στη συνέχεια, για την άλλη σιδηροτροχιά, δηλαδή τη σιδηροτροχιά που βρίσκεται στα αριστερά κατά τη διαδρομή Πειραιάς-Κηφισιά προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

❖ Μέθοδος GRP

Στην περίπτωση του GRP η τελική λύση περιελάμβανε 8 σημεία (εικόνα 5.4) στην ευθυγραμμία (από το 3 έως το 10) και 11 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 14 έως το 24). Τα σημεία από το 9 έως το 13 και από το 25 έως το 27 αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.

❖ Μέθοδος συμβατικού τρόλεϋ (Yellow trolley)

Στην περίπτωση του συμβατικού τρόλεϋ η τελική λύση περιελάμβανε 9 σημεία (εικόνα 5.5) στην ευθυγραμμία (από το 002 έως το 116) και 12 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 124 έως το 046). Τα υπόλοιπα σημεία αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.

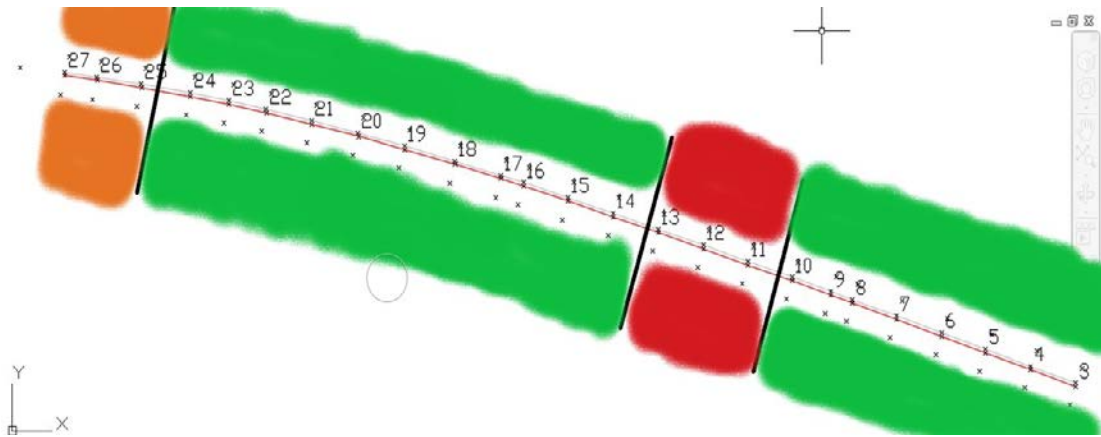
❖ Μέθοδος γωνιάς (Miniprism)

Στην περίπτωση της γωνιάς η τελική λύση περιελάμβανε 11 σημεία (εικόνα 5.6) στην ευθυγραμμία (από το 201 έως το 220) και 10 σημεία στο κυκλικό τόξο (από το 223 έως το 242). Τα σημεία 221, 243, 246, 247 και 250 αφαιρέθηκαν από την προσαρμογή κατά την αφαιρετική διαδικασία.

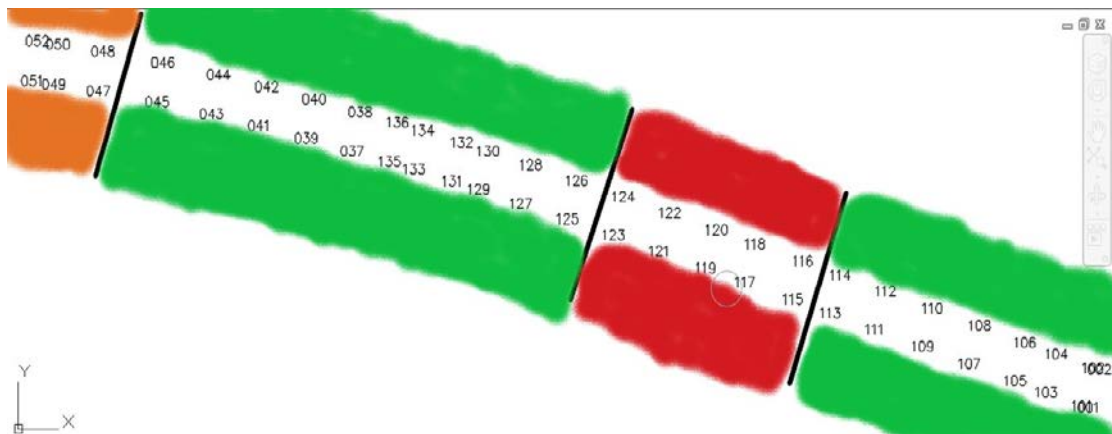
Στις εικόνες που ακολουθούν (εικόνες 5.8, 5.9 και 5.10) τα πράσινα τμήματα υποδηλώνουν τα σημεία που συμμετείχαν επιτυχώς στην προσαρμογή της ευθείας και του κυκλικού τόξου, ενώ τα κόκκινα και τα πορτοκαλί τμήματα υποδηλώνουν σημεία που παραλήφθηκαν από αυτή τη διαδικασία.

Πιο αναλυτικά, από την μελέτη και των τριών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήθηκε ότι το πορτοκαλί τμήμα περιέχει σημεία που δεν ανήκουν στο κυκλικό τόξο αλλά στην ευθυγραμμία που έπεται.

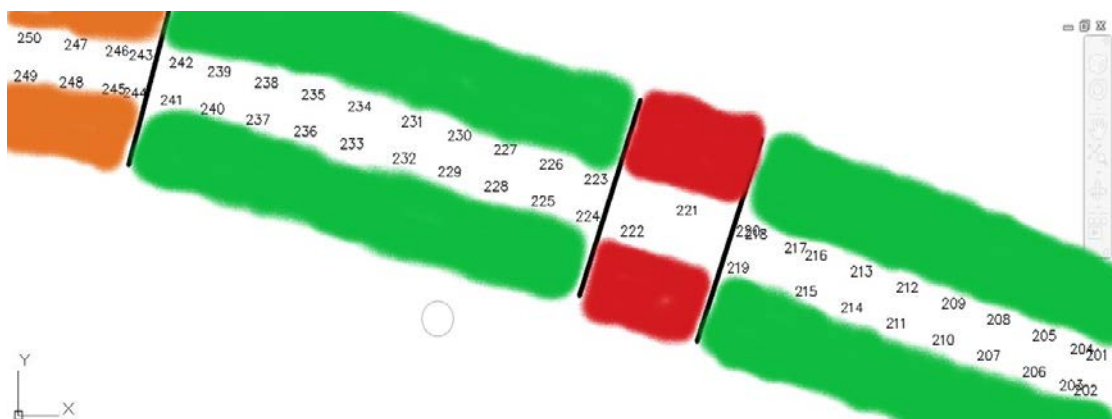
Το κόκκινο τμήμα περιέχει σημεία τα οποία θεωρητικά ανήκουν είτε στην ευθυγραμμία είτε στο κυκλικό τόξο καθώς οι δευτερεύουσες γραμμές δεν διαθέτουν καμπύλη συναρμογής.



Εικόνα 5.8: Προσαρμογή στατιστικώς αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο του GRP



Εικόνα 5.9: Προσαρμογή στατιστικώς αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο του YELLOW TROLLEY



Εικόνα 5.10: Προσαρμογή στατιστικώς αποδεκτής ευθείας και κυκλικού τόξου από τη μέθοδο της ΓΩΝΙΑΣ

Ωστόσο πρακτικά τα σημεία αυτά δεν προσαρμόστηκαν επιτυχώς ούτε στην ευθυγραμμία ούτε στο κυκλικό τόξο. Το γεγονός αυτό έχει τρεις πιθανές αιτίες:

- Σημεία που ανήκουν στην ευθυγραμμία γίνεται προσπάθεια να προσαρμοστούν σε κυκλικό τόξο και το αντίστροφο
- Το συγκεκριμένο τμήμα της γραμμής έχει υποστεί φθορά με την πάροδο του χρόνου και τη διέλευση μεγάλων φορτίων
- Οι μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στο συγκεκριμένο σημείο έχουν αστοχήσει

Από τις παραπάνω αιτίες η πρώτη απορρίπτεται διότι τα σημεία αυτά έγιναν προσπάθεια να ενταχθούν είτε στην ευθυγραμμία είτε στο κυκλικό τόξο με ποικίλους συνδυασμούς χωρίς όμως επιτυχία.

Η τρίτη κατά σειρά αιτία αρχικά δεν απορρίφθηκε, ωστόσο το γεγονός ότι προκύπτει το ίδιο ζήτημα και με τις τρεις μεθόδους μέτρησης σημαίνει πως δεν οφείλεται σε αστοχία μέτρησης κάποιας μεθόδου.

Επομένως συμπεραίνεται ότι το πιθανό είναι η γραμμή να παρουσιάζει φθορά και γεωμετρική παραμόρφωση στη συγκεκριμένη θέση.

Κάτι τέτοιο εξηγείται από την χαμηλή προτεραιότητα συντήρησης και τις αυξημένες ανοχές αποκλίσεων που έχει η γραμμή εξαιτίας του δευτερεύοντος ρόλου της καθώς και από τη θέση που βρίσκεται το "ελαττωματικό" τμήμα, όντας στη μετάβαση κυκλικού τόξου και ευθυγραμμίας και επομένως θέσης που δέχεται μεγάλη καταπόνηση από τους συρμούς.

Αυτό που πρέπει να σχολιασθεί σχετικά με τις εικόνες 5.8, 5.9, 5.10 είναι το ότι το πορτοκαλί τμήμα είναι παρόμοιο και στις τρεις περιπτώσεις ενώ το κόκκινο διαφέρει κατά περίπτωση.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της μεθόδου του συμβατικού τρόλεϋ (yellow trolley) με την οποία το κόκκινο τμήμα προέκυψε μεγαλύτερο από ότι με τις άλλες δύο μεθόδους. Αυτό μπορεί να οφείλεται ακόμα και σε κάποια εσφαλμένη μέτρηση με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ επηρεάζοντας έτσι και τη διαδικασία της προσαρμογής.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω προσαρμογών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 5.3 και 5.4.

Παρατηρείται ότι τα σ_0 σε κάθε διαδικασία ξεχωριστά είναι πολύ μεγάλα σε σύγκριση με τις θεωρητικές ακρίβειες των μεθόδων. Αυτό συνεπάγεται την αδυναμία μαθηματικής προσαρμογής της γραμμής σε ευθεία ή κυκλικό τόξο και συμπεραίνεται πως η γραμμή είναι παραμορφωμένη.

Ωστόσο με αυτό τον τρόπο παρόλο που αξιολογείται η κάθε μέθοδος ως προς την προσαρμογή των μετρημένων σημείων σε ευθύγραμμο τμήμα και κυκλικό τόξο δεν δύναται να εξαχθούν συμπεράσματα για την ορθότητα των μεθόδων.

ΤΡΟΧΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
		GRP	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΛΕΥ (YELLOW TROLLEY)	ΓΩΝΙΑ (MINIPRISM)
Ευθύγραμμο τμήμα	Σημεία	(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)	(001, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115)	(202, 203, 206, 207, 210, 211, 214, 215, 219)
	σ^{\wedge}_o (mm)	5	4	7
	a	-0.317844692	-0.3189	-0.3185
	σ_a	0.000435915	0.0003	0.0005
	b (m)	4354079.54	4354569.14	4354367.96
	σ_b (m)	0.03	0.02	0.03
Κυκλικό τόξο	Σημεία	(14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23)	(125, 127, 129, 131, 133, 135, 037, 039, 041, 043, 045)	(225, 228, 229, 232, 233, 236, 237, 240, 241, 244)
	σ^{\wedge}_o (mm)	3	4	4
	χ_k (m)	475105.2	475106.4	475104.9
	$\sigma_{\chi k}$ (m)	0.5	0.6	0.6
	γ_k (m)	4202894	4202899	4202893
	$\sigma_{\gamma k}$ (m)	2	3	2
	R (m)	167	162	168
	σ_R (m)	2	3	3

Πίνακας 5.3: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς αναφοράς

ΤΡΟΧΙΑ ΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
		GRP	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΛΕΥ (YELLOW TROLLEY)	ΓΩΝΙΑ (MINIPRISM)
Ευθύγραμμο τμήμα	Σημεία	(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)	(002, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116)	(201, 204, 205, 208, 209, 212, 213, 216, 217, 218, 220)
	σ^{\wedge}_o (mm)	4	4	6
	a (m)	-0.3178	-0.3186	-0.3181
	σ_a (m)	0.0003	0.0003	0.0003
	b (m)	4354071.96	4354417.30	4354202.61
	σ_b (m)	0.02	0.02	0.02
Κυκλικό τόξο	Σημεία	(14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)	(124, 126, 128, 130, 132, 134, 136, 038, 040, 042, 044, 046)	(223, 226, 227, 230, 231, 234, 235, 238, 239, 242)
	σ^{\wedge}_o (mm)	9	3	3
	χ_k (m)	475108	475106.4	475104.5
	$\sigma_{\chi k}$ (m)	1	0.5	0.4
	γ_k (m)	4202904	4202899	4202892
	$\sigma_{\gamma k}$ (m)	4	2	2
	R (m)	159	163	171
	σ_R (m)	4	2	2

Πίνακας 5.4: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς μη αναφοράς

Επομένως εξάγονται συμπεράσματα τόσο για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της γραμμής όσο και για τη μετρητική αποτελεσματικότητα κάθε μεθόδου, δηλαδή πόσα από τα σημεία που μετρήθηκαν τελικά συμμετείχαν στην προσαρμογή της ευθείας και του κυκλικού τόξου.

Η διαδικασία για την αξιολόγηση κάθε μίας μεθόδου γίνεται από το σφάλμα της μονάδας βάρους σ_0 και τα υπόλοιπα u των σημείων.

Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των μεθόδων. Η σύγκριση γίνεται αξιολογώντας την μεταβολή του σ_0 για κάθε συνόρθωση σε σχέση με τα αποτελέσματα του πρώτου σταδίου και με βάση το πλήθος των σημείων που χρειάστηκε να αφαιρεθούν σε κάθε περίπτωση ώστε να προκύψει στατιστικώς αποδεκτή προσαρμογή.

Συγκεκριμένα στη μέθοδο του GRP είχε αφαιρεθεί το σημείο 24 από τη σιδηροτροχιά αναφοράς με υπόλοιπο 2.4 mm κατά x και 12.9 mm κατά y σε σύνολο 38 σημείων. Στη μέθοδο του YELLOW TROLEY είχαν αφαιρεθεί τα σημεία 117, 118, 119 και 120 σε σύνολο 44 σημείων. Τα υπόλοιπα των σημείων ήταν αντίστοιχα 9.9 mm κατά x και 3.1 mm κατά y για το 117, 6 mm κατά x και 1.7 mm κατά y για το 118, 4.4mm κατά x και 13.8mm κατά y για το 119 και 4.5mm κατά x και 14.2mm κατά y για το 120. Στην μέθοδο της γωνιάς δεν είχαν αφαιρεθεί σημεία.

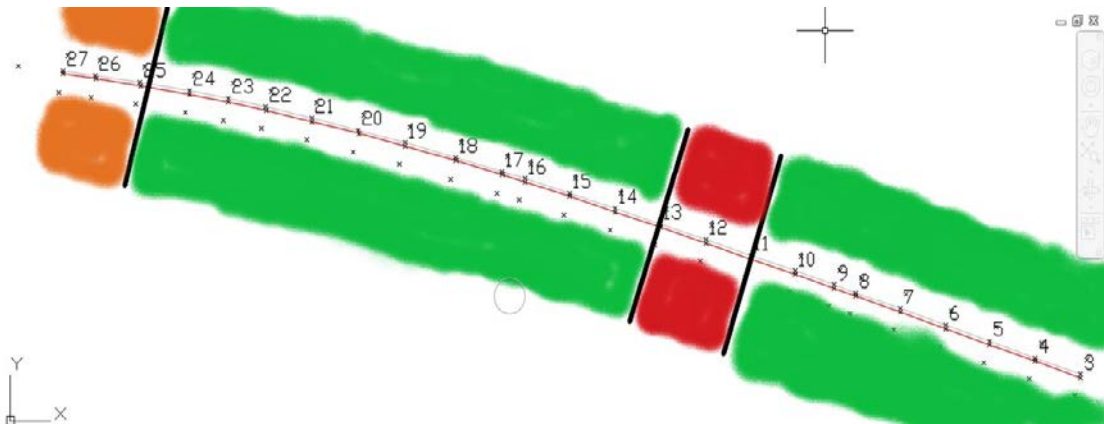
Σε αυτό το στάδιο γίνεται προσπάθεια προσαρμογής των μετρημένων σημείων στην ιδανική γεωμετρία μίας ευθείας και ενός κυκλικού τόξου σε κάθε μία περίπτωση των τριών μεθόδων.

Στα σημεία που αυτό δε δύναται να συμβεί, δηλαδή στα σημεία με τα μεγαλύτερα υπόλοιπα, υποδεικνύεται η ύπαρξη παραμόρφωσης της γραμμής.

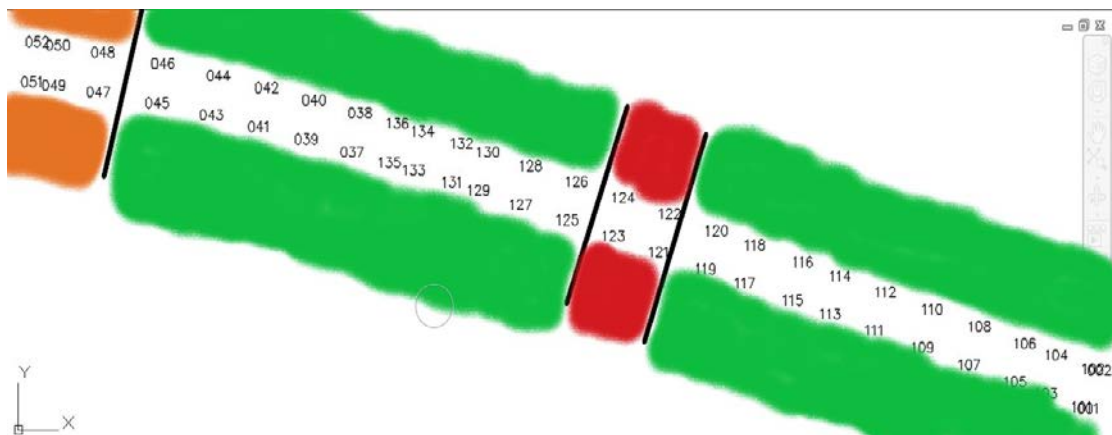
Για την απόκλιση της πιθανότητας μελέτης τμήματος της γραμμής με υφιστάμενη παραμόρφωση των σιδηροτροχιών αποφασίστηκε να αποκλειστεί το τμήμα που ορίζεται από την κόκκινη περιοχή της μεθόδου των γωνιών του πρώτου σταδίου (εικόνες 5.11, 5.12, 5.13).

Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή καθώς ήταν η μικρότερη των τριών μεθόδων, και επομένως μία περιοχή στην οποία υπάρχει συμφωνία παραμόρφωσης της γραμμής από τις 3 μεθόδους σε ποσοστό 100%.

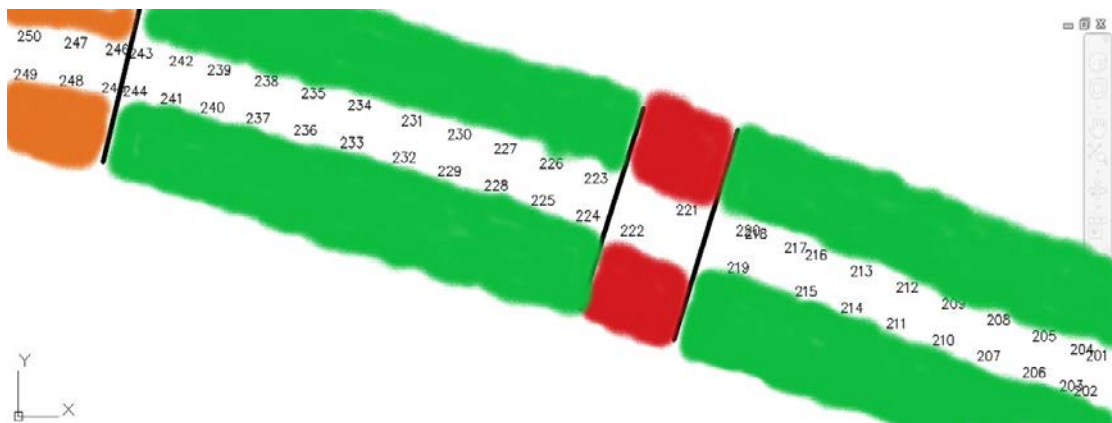
Τα αποτελέσματα των παραπάνω προσαρμογών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 5.5 και 5.6.



Εικόνα 5.11: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο του GRP



Εικόνα 5.12: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο του YELLOW TROLEY



Εικόνα 5.13: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου στα ομόλογα σημεία με τη μέθοδο της ΓΩΝΙΑΣ

ΤΡΟΧΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
		GRP	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΛΕΥ (YELLOW TROLLEY)	ΓΩΝΙΑ (MINIPRISM)
Ευθύγραμμο τμήμα	Σημεία	(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)	(001, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119)	(202, 203, 206, 207, 210, 211, 214, 215, 219)
	σ^{\wedge}_o (mm)	5	8	7
	a	-0.317844692	-0.3177	-0.3185
	σ_a	0.000435915	0.0005	0.0005
	b (m)	4354079.54	4354010.82	4354367.96
	σ_b (m)	0.03	0.03	0.03
Κυκλικό τόξο	Σημεία	(14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)	(125, 127, 129, 131, 133, 135, 037, 039, 041, 043, 045)	(225, 228, 229, 232, 233, 236, 237, 240, 241, 244)
	σ^{\wedge}_o (mm)	8	4	9
	χ_k (m)	475107.4	475106.4	475107.0
	$\sigma_{\chi k}$ (m)	1.0	0.6	1.0
	γ_k (m)	4202903	4202899	4202901
	$\sigma_{\gamma k}$ (m)	4	3	4
	R (m)	158	162	160
	σ_R (m)	4	3	4

Πίνακας 5.5: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου με τη χρήση ομόλογων σημείων σιδηροτροχιάς αναφοράς

ΤΡΟΧΙΑ ΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
		GRP	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΡΟΛΕΥ (YELLOW TROLLEY)	ΓΩΝΙΑ (MINIPRISM)
Ευθύγραμμο τμήμα	Σημεία	(3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)	(002, 102, 104, 106, 108, 110, 112, 114, 116, 118, 120)	(201, 204, 205, 208, 209, 212, 213, 216, 217, 218, 220)
	σ^{\wedge}_o (mm)	4	8	6
	a	-0.3178	-0.3174	-0.3181
	σ_a	0.0003	0.0005	0.0003
	b (m)	4354071.96	4353890.12	4354202.61
	σ_b (m)	0.02	0.03	0.02
Κυκλικό τόξο	Σημεία	(14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24)	(126, 128, 130, 132, 134, 136, 038, 040, 042, 044, 046)	(223, 226, 227, 230, 231, 234, 235, 238, 239, 242)
	σ^{\wedge}_o (mm)	9	6	10
	χ_k (m)	475108	475105.2	475107.2
	$\sigma_{\chi k}$ (m)	1	0.7	1.1
	γ_k (m)	4202904	4202894	4202902
	$\sigma_{\gamma k}$ (m)	4	3	4
	R (m)	159	169	160
	σ_R (m)	4	3	5

Πίνακας 5.6: Προσαρμογή βέλτιστης ευθείας και κυκλικού τόξου με τη χρήση ομόλογων σημείων σιδηροτροχιάς μη αναφοράς

Παρατηρείται ότι σε αυτή την περίπτωση τα σ_0 είναι πολύ μεγαλύτερα σε σχέση με τα αντίστοιχα του προηγούμενου σταδίου. Αυτό συμβαίνει διότι ορισμένα σημεία που συμπεριλήφθηκαν στις προσαρμογές είχαν μεγάλα υπόλοιπα. Τα μεγάλα υπόλοιπα οφείλονται είτε σε εσφαλμένες μετρήσεις είτε σε πραγματική παραμόρφωση της γραμμής, κάτι που δε γίνεται να διευκρινιστεί χωρίς την ύπαρξη των κατασκευαστικών σχεδίων της γραμμής. Ειδικότερα όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια μίας μεθόδου τόσο μεγαλύτερη είναι και η μεταβολή του σ_0 όταν εισάγονται μετρήσεις με μεγάλα υπόλοιπα.

Επίσης για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων παρατίθενται και οι πίνακες 5.7, 5.8 στους οποίους παρουσιάζεται εάν οι διαφορές μεταξύ των συντελεστών ευθείας και κυκλικού τόξου των τριών μεθόδων είναι στατιστικά σημαντικές ή όχι.

ΤΡΟΧΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
Ευθύγραμμο τμήμα		GRP - YELLOW TROLLEY	YELLOW TROLLEY - ΓΩΝΙΑ	GRP - ΓΩΝΙΑ
	Δa	0.0001	-0.0008	-0.0006
	$\sigma_{\Delta a}$	0.0006	0.0007	0.0006
	Δb	-68.7193	357.1334	288.4141
	$\sigma_{\Delta b}$	0.0435	0.0464	0.0445
Κυκλικό τόξο		GRP - YELLOW TROLLEY	YELLOW TROLLEY - ΓΩΝΙΑ	GRP - ΓΩΝΙΑ
	$\Delta \chi_K$	-1.0572	0.6094	-0.4479
	$\sigma_{\Delta \chi_K}$	1.1540	1.1550	1.3689
	$\Delta \gamma_K$	-4.0937	2.0212	-2.0724
	$\sigma_{\Delta \gamma_K}$	4.7153	4.6778	5.5863
	ΔR	4.1727	-2.1060	2.0668
$\sigma_{\Delta R}$	4.8213	4.8142	5.7218	

Πίνακας 5.7: Έλεγχος συντελεστών ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς αναφοράς

Στον πίνακα 5.7 παρατηρείται ότι καμία διαφορά (εκτός του συντελεστή β ο οποίος δεν εξετάζεται) μεταξύ των συντελεστών δεν είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό σημαίνει πως και στις τρεις εξεταζόμενες μεθόδους προσαρμόζεται η ίδια ευθεία και το ίδιο κυκλικό τόξο στη σιδηροτροχιά αναφοράς του τμήματος της γραμμής που μελετάται.

Αντίστοιχα για τη σιδηροτροχιά μη αναφοράς στον πίνακα 5.8 παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των συντελεστών α των ευθειών δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Αντίθετα οι διαφορές των συντελεστών του κυκλικού τόξου στις οποίες εμπλέκεται η μέθοδος του YELLOW TROLLEY είναι στατιστικά σημαντικές. Αυτό υποδηλώνει κάποια

εσφαλμένη μέτρηση του YELLOW TROLLEY στο τμήμα του κυκλικού τόξου.

ΤΡΟΧΙΑ ΜΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ				
Ευθύγραμμο τμήμα		GRP - YELLOW TROLLEY	YELLOW TROLLEY - ΓΩΝΙΑ	GRP - ΓΩΝΙΑ
	Δα	0.0004	-0.0007	-0.0003
	σ _{Δα}	0.0006	0.0006	0.0005
	Δb	-181.8351	312.4826	130.6475
	σ _{Δb}	0.0385	0.0392	0.0326
Κυκλικό τόξο		GRP - YELLOW TROLLEY	YELLOW TROLLEY - ΓΩΝΙΑ	GRP - ΓΩΝΙΑ
	Δx _κ	-2.4611	2.0085	-0.4526
	σ _{Δxκ}	1.2545	1.2958	1.5340
	Δy _κ	-9.7582	7.9029	-1.8554
	σ _{Δyκ}	5.0815	5.2125	6.2484
	ΔR	9.9748	-8.1499	1.8249
	σ _{ΔR}	5.1324	5.3666	6.3495

Πίνακας 5.8: Έλεγχος συντελεστών ευθείας και κυκλικού τόξου σιδηροτροχιάς μη αναφοράς

Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι εάν υπήρχαν τα κατασκευαστικά σχέδια της υπό μελέτης γραμμής θα ήταν δυνατή τόσο η αξιολόγηση της ορθότητας κάθε μεθόδου όσο και η αξιολόγηση της γεωμετρίας της γραμμής ως προς την εξωτερική της γεωμετρία (όπως θέση γραμμής, συντελεστές ευθείας και κυκλικού τόξου).

5.2.4 Σύγκριση μεθόδων ως προς το εύρος και την υπερύψωση

Σε αυτό το στάδιο και αφού έχει προηγηθεί η γραφική και αναλυτική σύγκριση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση των σιδηροτροχιών, ακολουθεί μία ακόμη σύγκριση των μεθόδων. Αυτή τη φορά όχι ως προς τις συντεταγμένες των σημείων που αποτυπώθηκαν αλλά ως προς το εύρος και την υπερύψωση της γραμμής.

Έπειτα από την καταγραφή των μετρήσεων του εύρους και της υπερύψωσης με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους ακολουθεί η συγκέντρωση τους σε έναν πίνακα και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης πραγματοποιείται στατιστικός έλεγχος συμφωνίας των μεθόδων για επίπεδο εμπιστοσύνης 68%. Στη συνέχεια παρατίθενται τρεις πίνακες στους οποίους παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις του εύρους και αντίστοιχα της υπερύψωσης όπως προέκυψαν από κάθε μία μέθοδο, η αντίστοιχη ακρίβεια που επιτυγχάνεται με την κάθε μέθοδο καθώς και η απόκλιση από το θεωρητικές τιμές της γραμμής.

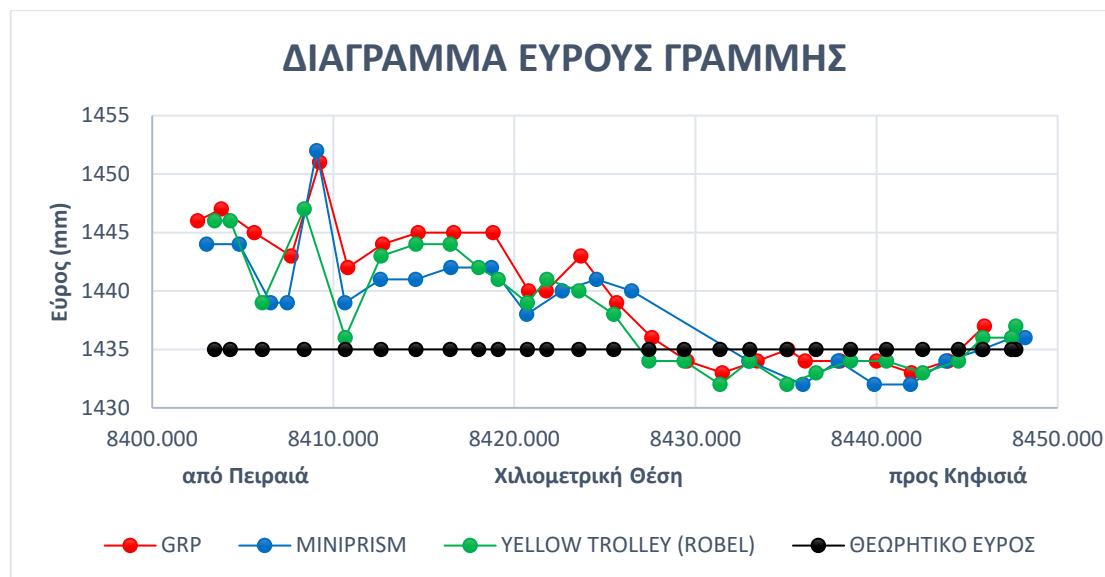
5.2.4.1 Εύρος γραμμής

Αρχικά, γίνεται σύγκριση των μεθόδων ως προς το εύρος της γραμμής, όπως έχει προκύψει από κάθε μία από αυτές (πίνακας 5.9). Η ακρίβεια μέτρησης του εύρους στην περίπτωση του GRP είναι από κατασκευής ± 0.3 mm και στην περίπτωση του συμβατικού τρόλεϋ ± 1 mm (με το όργανο μέτρησης εύρους Robel). Όσον αφορά την περίπτωση της γωνιάς το εύρος υπολογίζεται μέσω των συντεταγμένων των σημείων εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής και η αντίστοιχη ακρίβεια (5mm) από το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στις κατάλληλες σχέσεις.

Από τον πίνακα 5.9 εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μέθοδος του GRP έχει τη μικρότερη αβεβαιότητα στη μέτρηση του εύρους γραμμής (μόλις 0.3 mm)
- Οι αποκλίσεις θεωρητικού και υφιστάμενου εύρους με τη μέθοδο του GRP είναι της τάξεως των 3.5 mm ενώ με τις άλλες δύο μεθόδους της τάξεως των 4.5 mm

Η οπτικοποίηση του πίνακα 5.9 παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.4, το οποίο εκφράζει τις αποκλίσεις του εύρους γραμμής όπως μετρήθηκε με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους σε σχέση με το θεωρητικό /κατασκευαστικό εύρος της γραμμής (1435mm):



Διάγραμμα 5.4: Διάγραμμα εύρους γραμμής με τις τρεις μεθόδους και σύγκριση με το θεωρητικό εύρος

GRP				YELLOW TROLEY				ΓΩΝΙΑ			
ΤΟΜΗ	ΧΘ (m)	Εύρος (m)	Απόκλιση από το θεωρητικό εύρος (mm)	ΤΟΜΗ	ΧΘ(m)	Εύρος από robel (m)	Απόκλιση από το θεωρητικό εύρος (mm)	ΤΟΜΗ	ΧΘ(m)	Εύρος (m)	Απόκλιση από το θεωρητικό εύρος (mm)
3	8445.958	1.437	2	01 02	8447.696	1.437	2	201 202	8448.201	1.436	1
4	8443.952	1.434	-1	101 102	8447.467	1.436	1	203 204	8447.493	1.436	1
5	8441.934	1.433	-2	103 104	8445.868	1.436	1	205 206	8445.823	1.435	
6	8439.994	1.434	-1	105 106	8444.534	1.434	-1	207 208	8443.829	1.434	-1
7	8437.986	1.434	-1	107 108	8442.555	1.433	-2	209 210	8441.875	1.432	-3
8	8436.053	1.434	-1	109 110	8440.557	1.434	-1	211 212	8439.880	1.432	-3
9	8435.108	1.435	0	111 112	8438.566	1.434	-1	213 214	8437.888	1.434	-1
10	8433.402	1.434	-1	113 114	8436.656	1.433	-2	215 216	8435.935	1.432	-3
11	8431.478	1.433	-2	115 116	8435.049	1.432	-3	219 220	8432.946	1.434	-1
12	8429.532	1.434	-1	117 118	8432.997	1.434	-1	223 224	8426.487	1.440	5
13	8427.586	1.436	1	119 120	8431.353	1.432	-3	225 226	8424.535	1.441	6
14	8425.642	1.439	4	121 122	8429.382	1.434	-1	227 228	8422.650	1.440	5
15	8423.673	1.443	8	123 124	8427.431	1.434	-1	229 230	8420.679	1.438	3
16	8421.759	1.440	5	125 126	8425.496	1.438	3	231 232	8418.739	1.442	7
17	8420.793	1.440	5	127 128	8423.562	1.440	5	233 234	8416.484	1.442	7
18	8418.821	1.445	10	129 130	8421.798	1.441	6	235 236	8414.549	1.441	6
19	8416.659	1.445	10	131 132	8420.712	1.439	4	237 238	8412.595	1.441	6
20	8414.694	1.445	10	133 134	8419.103	1.441	6	239 240	8410.641	1.439	4
21	8412.720	1.444	9	135 136	8418.024	1.442	7	241 242	8409.082	1.452	17
22	8410.799	1.442	7	37 38	8416.463	1.444	9	243 244	8407.458	1.439	4
23	8409.247	1.451	16	39 40	8414.568	1.444	9	245 246	8406.546	1.439	4
24	8407.664	1.443	8	41 42	8412.638	1.443	8	247 248	8404.810	1.444	9
25	8405.643	1.445	10	43 44	8410.662	1.436	1	249 250	8402.998	1.444	9
26	8403.823	1.447	12	45 46	8408.402	1.447	12	-	-	-	-
27	8402.507	1.446	11	47 48	8406.082	1.439	4	-	-	-	-
-	-	-	-	49 50	8404.315	1.446	11	-	-	-	-
-	-	-	-	51 52	8403.449	1.446	11	-	-	-	-

Πίνακας 5.9: Μετρήσεις εύρους με το GRP, το YELLOW TROLEY και τις ΓΩΝΙΕΣ

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο στατιστικός έλεγχος συμφωνίας των τριών μεθόδων. Πρέπει να σημειωθεί ότι, επειδή οι μετρήσεις με την κάθε μέθοδο δεν έγιναν ακριβώς στα ίδια σημεία. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των μετρήσεων (κυρίως στην ευθυγραμμία) ανά 0.5m χιλιομετρικής θέσης έτσι ώστε να είναι δυνατή η παράλληλη παράθεση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, κάνοντας την παραδοχή ότι το εύρος δε μεταβάλλεται στο μισό αυτό μέτρο και δεδομένου ότι η επιτρεπόμενη μεταβολή του εύρους από στρωτήρα σε στρωτήρα δεν ξεπερνάει τα 2 mm. Η ομαδοποίηση έγινε με προσοχή κυρίως όσον αφορά το κυκλικό τόξο καθώς σε αυτό το τμήμα οι μεταβολές του εύρους είναι πολύ πιθανές. Ο στατιστικός έλεγχος βρίσκεται στον πίνακα 5.10 που ακολουθεί.

ΧΘ (m)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΥΡΟΥΣ Δε (mm) (απόλυτη τιμή)			
		GRP - YELLOW TROLEY	YELLOW TROLEY - ΓΩΝΙΕΣ	GRP - ΓΩΝΙΕΣ	
8447.500	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ/ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-	0	-	
8445.000		1	0	2	
8444.000		0	0	0	
8442.000		0	1	1	
8440.000		0	2	2	
8438.000		0	0	1	
8435.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ	3	0	3	
8433.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	0	0	0	
8431.000		1	-	-	
8429.500		0	-	-	
8427.000		2	-	-	
8425.000		1	3	1	
8422.000		1	1	0	
8421.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ	1	1	2	
8419.000	ΑΜΦΙΔΕΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	3	0	3	
8417.000		1	2	3	
8415.000		1	3	3	
8413.000		1	2	3	
8411.000		6	3	3	
8409.000	ΑΜΦΙΔΕΣΗ ΔΕΞΙΑ	1	5	1	
8407.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-	0	-	
8405.000		1	2	3	
8403.000		0	2	3	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ d_{AVER}		1	1	2	
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d_{MIN}		0	0	0	
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d_{MAX}		6	5	3	
σ_{Δε} (mm)		± 1	± 5	± 5	
σ_{Δε} * z (mm)		± 1	± 5	± 5	

Πίνακας 5.10: Στατιστικός έλεγχος συμφωνίας μεθόδων ως προς το εύρος

Όσον αφορά το στατιστικό έλεγχο συμφωνίας των τριών μεθόδων παρατηρείται ότι οι μόνες μετρήσεις που φαίνεται να «διαφωνούν» εντοπίζονται στη σύγκριση της μεθόδου GRP με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεου. Ωστόσο το γεγονός ότι δεν παρουσιάζεται διαφωνία μεταξύ της γωνιάς και του GRP ή του συμβατικού τρόλεου στα ίδια σημεία δεν επιτρέπει να θεωρηθεί με βεβαιότητα ότι η αστοχία οφείλεται στη μέθοδο του GRP ή του συμβατικού τρόλεου.

Πιο αναλυτικά:

- Χιλιομετρική θέση 8435.000
Εντοπίζεται μια διαφορά 3 χιλιοστών μεταξύ GRP-YELLOW TROLEY και GRP-ΓΩΝΙΕΣ, και απόλυτη συμφωνία μεταξύ YELLOW TROLEY-ΓΩΝΙΕΣ, κάτι που υποδεικνύει αλλά δεν αποδεικνύει αστοχία μέτρησης με τη μέθοδο του GRP, μιας και η διαφορά μεταξύ GRP-ΓΩΝΙΕΣ δεν είναι στατιστικά σημαντική.
- Χιλιομετρική θέση 8427.000
Δε δύναται να γίνει κάποιος σχολιασμός καθώς δεν υπάρχει ομόλογη μέτρηση με τη μέθοδο των γωνιών.
- Χιλιομετρική θέση 8419.000
Είναι ακριβώς σα την πρώτη περίπτωση που αναλύθηκε παραπάνω.
- Χιλιομετρική θέση 8411.000
Εντοπίζεται μια διαφορά 6 χιλιοστών μεταξύ GRP-YELLOW TROLEY και μια διαφορά 3 χιλιοστών μεταξύ YELLOW TROLEY-ΓΩΝΙΕΣ και GRP-ΓΩΝΙΕΣ. Ο συνδυασμός αυτός υποδεικνύει πιθανότητα «αστοχίας» στη μέτρηση είτε με τη μέθοδο του GRP είτε με του YELLOW TROLEY.

5.2.4.2 Υπερύψωση γραμμής

Η αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και έπειτα από την καταγραφή των μετρήσεων της υπερύψωσης με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους (πίνακας 5.11).

Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι επειδή πρόκειται για γραμμή εναπόθεσης συρμών (δευτερεύουσα γραμμή) και όχι κύρια γραμμή η υπερύψωση ορίζεται να είναι μηδενική και οι ταχύτητες έως 5 km/h.

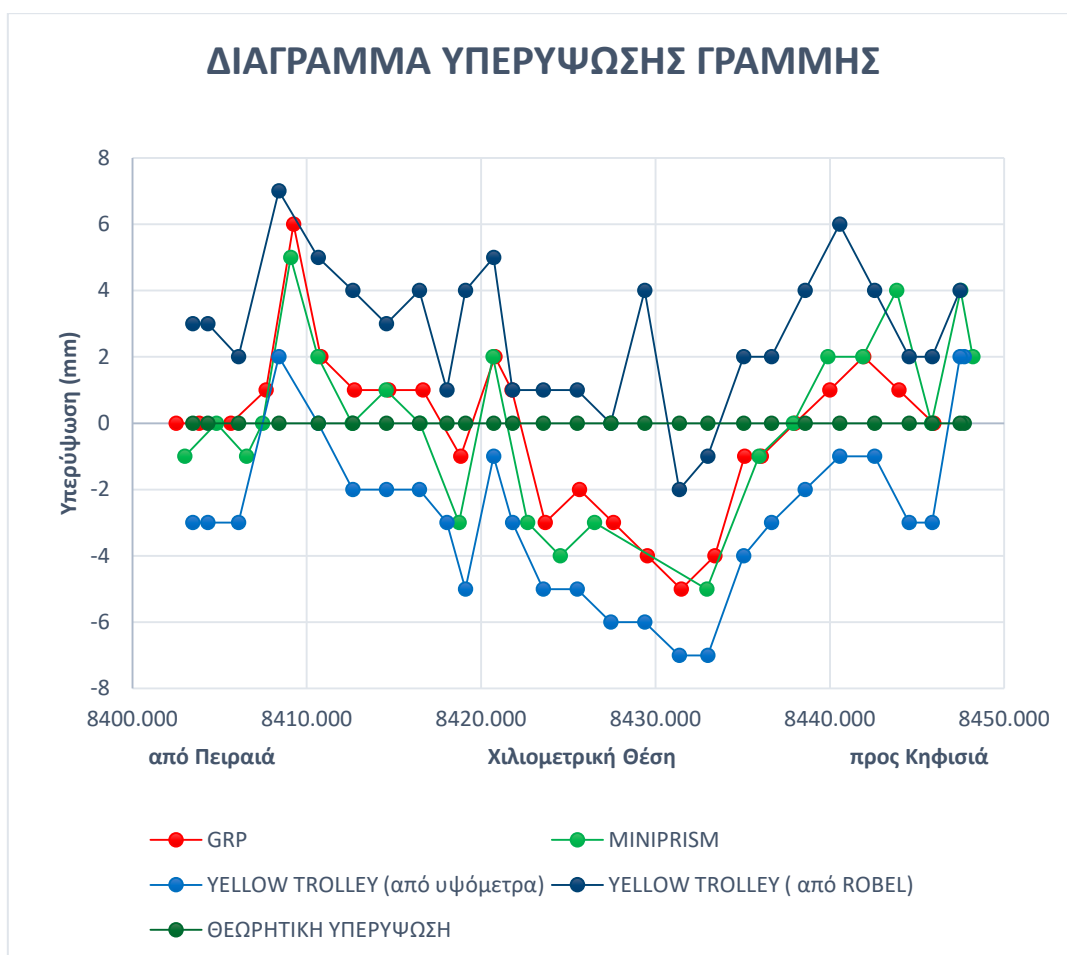
Η ακρίβεια μέτρησης της υπερύψωσης στην περίπτωση του GRP είναι από κατασκευής ± 0.5 mm.

Στην περίπτωση του συμβατικού τρόλεου η ακρίβεια είναι ± 3 mm (και ± 1 mm με το όργανο μέτρησης υπερύψωσης Robel). Σχετικά με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεου η υπερύψωση υπολογίζεται είτε μέσω της υψομετρικής διαφοράς των δύο ενσωματωμένων πρισμάτων είτε με τη βοήθεια ξεχωριστού οργάνου μέτρησης υπερύψωσης (π.χ. Robel).

Ωστόσο πρέπει να τονιστεί ότι κανονικά η υπερύψωση με τη χρήση της μεθόδου του συμβατικού τρόλεου προκύπτει από τα πρίσματα που διαθέτει και όχι με το όργανο υπερύψωσης, καθώς πρόκειται για μια ξεχωριστή μέθοδο μέτρησης της υπερύψωσης και δεν αποτελεί κομμάτι του συμβατικού τρόλεου (κάτι που δεν είναι εφικτό στη μέτρηση του εύρους την οποία τη δανείζεται από το ειδικό όργανο μέτρησης του εύρους της γραμμής).

Τέλος, όσον αφορά την περίπτωση της γωνιάς η υπερύψωση υπολογίζεται μέσω των υψομέτρων των σημείων εκατέρωθεν του άξονα της γραμμής και η αντίστοιχη ακρίβεια ($\pm 3\text{mm}$) από το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στην αντίστοιχη σχέση.

Η οπτικοποίηση του πίνακα 5.11 παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.5, το οποίο εκφράζει τις αποκλίσεις της υπερύψωσης όπως μετρήθηκε με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους σε σχέση με τη θεωρητική /κατασκευαστική υπερύψωση της γραμμής, η οποία προβλέπεται να είναι μηδενική εξαιτίας της κατηγορίας της γραμμής.



Διάγραμμα 5.5: Διάγραμμα υπερύψωσης γραμμής με τις τρεις μεθόδους και σύγκριση με τη θεωρητική υπερύψωση

GRP				YELLOW TROLEY				Υπερύψωση από ROBEL (mm)	Απόκλιση από τη θεωρητική υπερύψωση (mm)	ΓΩΝΙΕΣ			
TOMH	ΧΘ (m)	Υπερύψωση (mm)	Απόκλιση από τη θεωρητική υπερύψωση (mm)	TOMH	ΧΘ (m)	Υπερύψωση από υψόμετρα πρισμάτων (mm)	Απόκλιση από τη θεωρητική υπερύψωση (mm)			TOMH	ΧΘ (m)	Υπερύψωση (mm)	Απόκλιση από τη θεωρητική υπερύψωση (mm)
3	8445.958	0	0	01 02	8447.696	2	2	4	4	201 202	8448.201	2	2
4	8443.952	1	1	101 102	8447.467	2	2	4	4	203 204	8447.493	4	4
5	8441.934	2	2	103 104	8445.868	-3	-3	2	2	205 206	8445.823	0	0
6	8439.994	1	1	105 106	8444.534	-3	-3	2	2	207 208	8443.829	4	4
7	8437.986	0	0	107 108	8442.555	-1	-1	4	4	209 210	8441.875	2	2
8	8436.053	-1	-1	109 110	8440.557	-1	-1	6	6	211 212	8439.880	2	2
9	8435.108	-1	-1	111 112	8438.566	-2	-2	4	4	213 214	8437.888	0	0
10	8433.402	-4	-4	113 114	8436.656	-3	-3	2	2	215 216	8435.935	-1	-1
11	8431.478	-5	-5	115 116	8435.049	-4	-4	2	2	219 220	8432.946	-5	-5
12	8429.532	-4	-4	117 118	8432.997	-7	-7	-1	-1	223 224	8426.487	-3	-3
13	8427.586	-3	-3	119 120	8431.353	-7	-7	-2	-2	225 226	8424.535	-4	-4
14	8425.642	-2	-2	121 122	8429.382	-6	-6	4	4	227 228	8422.650	-3	-3
15	8423.673	-3	-3	123 124	8427.431	-6	-6	0	0	229 230	8420.679	2	2
16	8421.759	1	1	125 126	8425.496	-5	-5	1	1	231 232	8418.739	-3	-3
17	8420.793	2	2	127 128	8423.562	-5	-5	1	1	233 234	8416.484	0	0
18	8418.821	-1	-1	129 130	8421.798	-3	-3	1	1	235 236	8414.549	1	1
19	8416.659	1	1	131 132	8420.712	-1	-1	5	5	237 238	8412.595	0	0
20	8414.694	1	1	133 134	8419.103	-5	-5	4	4	239 240	8410.641	2	2
21	8412.720	1	1	135 136	8418.024	-3	-3	1	1	241 242	8409.082	5	5
22	8410.799	2	2	37 38	8416.463	-2	-2	4	4	243 244	8407.458	0	0
23	8409.247	6	6	39 40	8414.568	-2	-2	3	3	245 246	8406.546	-1	-1
24	8407.664	1	1	41 42	8412.638	-2	-2	4	4	247 248	8404.810	0	0
25	8405.643	0	0	43 44	8410.662	0	0	5	5	249 250	8402.998	-1	-1
26	8403.823	0	0	45 46	8408.402	2	2	7	7	-	-	-	-
27	8402.507	0	0	47 48	8406.082	-3	-3	2	2	-	-	-	-
-	-	-	-	49 50	8404.315	-3	-3	3	3	-	-	-	-
-	-	-	-	51 52	8403.449	-3	-3	3	3	-	-	-	-

Πίνακας 5.11: Μετρήσεις υπερύψωσης με το GRP, το YELLOW TROLEY και τις ΓΩΝΙΕΣ

Από τον πίνακα 5.11 εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μέθοδος του GRP έχει τη μικρότερη αβεβαιότητα στη μέτρηση της υπερύψωσης (μόλις 0.5 mm)
- Οι αποκλίσεις θεωρητικού και υφιστάμενου εύρους με τη μέθοδο του GRP είναι της τάξεως των 1.5 mm ενώ με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλευ και των γωνιών της τάξεως των 3 και 2 mm αντίστοιχα.

Στο τελευταίο βήμα πραγματοποιείται ο στατιστικός έλεγχος συμφωνίας (πίνακας 5.12) των τριών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙ ΚΗ ΘΕΣΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣ ΕΙΣ	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΠΕΡΥΨΩΣΗΣ Δh (mm)					
		GRP - YELLOW TROLEY	GRP - ROBEL	YELLOW TROLEY - ΓΩΝΙΕΣ	ROBEL - ΓΩΝΙΕΣ	GRP - ΓΩΝΙΕΣ	ROBEL - YELLOW TROLEY
8447.500	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ/ΑΡΙΣΤ ΕΡΑ	-	-	1	0	-	2
8445.000		-4	2	3	-2	-1	5
8444.000		-4	1	7	2	3	5
8442.000		-3	2	4	-2	0	5
8440.000		-3	5	3	-4	0	7
8438.000		-2	4	2	-4	0	6
8435.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ	-2	3	3	-3	0	6
8433.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-4	3	2	-4	-1	6
8431.000		-2	3	-	-	-	-
8429.500		-1	6	-	-	-	-
8427.000		-2	3	-	-	-	-
8425.000		-2	3	1	-5	-2	6
8422.000		-3	0	0	-4	-3	4
8421.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΞΙΑ	-3	3	2	-3	0	6
8419.000	ΑΜΦΙΔΕΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-1	2	0	-4	0	4
8417.000		-3	3	2	-4	-1	6
8415.000		-3	2	3	-2	0	5
8413.000		-2	3	2	-4	-1	6
8411.000		-3	3	2	-3	0	5
8409.000	ΑΜΦΙΔΕΣΗ ΔΕΞΙΑ	-4	1	3	-2	-1	5
8407.000	ΚΟΛΛΗΣΗ ΑΡΙΣΤΕΡΑ	-	-	2	-3	-	5
8405.000		-3	3	3	-3	0	6
8403.000		-3	3	3	-4	-1	6
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ d _{AVER}		-3	3	2	-3	0	5
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d _{MIN}		-4	0	0	-5	-3	2
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ d _{MAX}		-1	6	7	2	3	7
σ _{Δε}		± 3	± 1	± 4	± 3	± 3	± 3
σ _{Δε} * z		± 3	± 1	± 4	± 3	± 3	± 3

Πίνακας 5.12: Στατιστικός έλεγχος συμφωνίας μεθόδων ως προς την υπερύψωση

Σχετικά με τον πίνακα 5.12 πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και στην περίπτωση του εύρους γραμμής έτσι και στην υπερύψωση οι μετρήσεις με την κάθε μέθοδο δεν έγιναν ακριβώς στα ίδια σημεία.

Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε η ομαδοποίηση των μετρήσεων που έγινε και στην περίπτωση του εύρους έτσι ώστε να είναι δυνατή η παράλληλη παράθεση και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η ομαδοποίηση έγινε με προσοχή κυρίως όσον αφορά το κυκλικό τόξο καθώς σε αυτό το τμήμα οι μεταβολές της υπερύψωσης είναι πιο συχνές.

Όσον αφορά το στατιστικό έλεγχο συμφωνίας των τριών μεθόδων παρατηρείται ότι οι μόνες μετρήσεις που φαίνεται να «διαφωνούν» εντοπίζονται στη σύγκριση της μεθόδου GRP με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ. Ωστόσο το γεγονός ότι δεν παρουσιάζεται διαφωνία μεταξύ του GRP και των γωνιών στα ίδια σημεία δεν είναι δυνατό να θεωρηθεί με βεβαιότητα ότι η αστοχία οφείλεται στη μέθοδο του GRP ή του συμβατικού τρόλεϋ. Πιο αναλυτικά:

- Χιλιομετρική θέση 8445.000
Εντοπίζεται μια διαφορά 4 χιλιοστών μεταξύ GRP-YELLOW TROLEY και στατιστική συμφωνία μεταξύ YELLOW TROLEY-ΓΩΝΙΕΣ και GRP-ΓΩΝΙΕΣ, κάτι που υποδεικνύει αλλά δεν αποδεικνύει αστοχία μέτρησης με τη μέθοδο του GRP.
- Χιλιομετρική θέση 8444.000
Εντοπίζεται μια διαφορά 4 και 7 χιλιοστών μεταξύ GRP-YELLOW TROLEY και YELLOW TROLEY-ΓΩΝΙΕΣ αντίστοιχα και στατιστική συμφωνία μεταξύ GRP-ΓΩΝΙΕΣ, κάτι που υποδεικνύει αστοχία μέτρησης της μεθόδου YELLOW TROLEY.
- Χιλιομετρική θέση 8433.000 και 8409.000
Είναι ακριβώς σε την πρώτη περίπτωση που αναλύθηκε παραπάνω
- Τέλος, αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι οι περισσότερες διαφορές μεταξύ των μεθόδων GRP, YELLOW TROLEY και ΓΩΝΙΕΣ και της μεθόδου με τη χρήση του οργάνου ROBEL είναι στατιστικά σημαντικές, κάτι το οποίο δείχνει ότι υπάρχει κάποιο πιθανόν συστηματικό σφάλμα στη μέτρηση της υπερύψωσης με τη συσκευή ROBEL.

5.3 Σφάλματα γραμμής

Με τον όρο «σφάλμα γραμμής» νοείται η απόκλιση που παρουσιάζει η «πραγματική» γεωμετρική θέση των σιδηροτροχιών από τη θέση που αντιστοιχεί στην «ιδανική» τοποθέτησή τους επί της επιδομής. Σαν «ιδανική» τοποθέτηση θεωρείται αυτή για την οποία το «σφάλμα γραμμής» είναι μηδενικό. *[ΠΙΕΤΕΠ, 2004]*

Έτσι, είναι αναγκαίο, κατά πρώτο λόγο, η γραμμή να κατασκευάζεται με όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα. Θα πρέπει η κατασκευή να γίνεται προσεκτικά και να ακολουθεί όσο γίνεται πιστότερα την μελέτη εφαρμογής.

Επιπλέον, υπό την επίδραση των φορτίων η γεωμετρία της γραμμής χειροτερεύει. Αυτό οδηγεί στην αυξημένη ανάγκη για εργασίες βελτίωσης της ποιότητας της γραμμής, τη λήψη προσωρινών μέτρων μείωσης της ταχύτητας διέλευσης και αυξημένες εργασίες συντήρησης προκειμένου να εξαιρεθούν κατά το δυνατόν τα σφάλματα της γραμμής.

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στους τύπους σφαλμάτων γραμμής οι οποίοι απαντώνται στο σιδηρόδρομο και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Οι κυριότεροι τύποι σφαλμάτων γραμμής με βάση τους ορισμούς της UIC (Παγκόσμιος Οργανισμός Σιδηροδρόμων) είναι:

1. Το κατά μήκος υψομετρικό σφάλμα NL, το οποίο αναφέρεται για κάθε μια σιδηροτροχιά και οφείλεται κυρίως στις καθιζήσεις της υποδομής. Καθορίζει (μαζί με το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα) το κόστος συντήρησης και μετράται σε mm.

2. Το εγκάρσιο υψομετρικό σφάλμα NT ή σφάλμα υπερύψωσης που ορίζεται στις μεν καμπύλες ως η διαφορά ανάμεσα στη θεωρητική τιμή της κανονικής υπερύψωσης και στην πραγματική της τιμή, στις δε ευθυγραμμίες ως η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δυο σιδηροτροχιών, και μετράται σε mm.

3. Η απόκλιση του εύρους γραμμής DE από τις τιμές που προδιαγράφει ο κανονισμός επιδομής γραμμής ενός δικτύου και η οποία εξαρτάται κυρίως από τις εγκάρσιες δυνάμεις που ασκούνται επί της γραμμής και από την αποτελεσματικότητα των συνδέσμων και μετράται σε mm.

4. Η στρεβλότητα G της γραμμής. Στην ευθυγραμμία καθώς και στο κυκλικό τμήμα της καμπύλης (όπου η κανονική υπερύψωση είναι σταθερή), τέσσερα (4) σημεία της γραμμής που ανήκουν σε δύο εγκάρσιες τομές στις θέσεις δύο στρωτήρων, πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Η στρεβλότητα ορίζεται ως η απόκλιση ενός σημείου από το επίπεδο που ορίζουν τα άλλα τρία. Μετράται σε mm/m.

5. Όδευση της γραμμής, καλείται η κατά μήκος της γραμμής μετακίνηση των σιδηροτροχιών λόγω των οριζοντίων δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την κυκλοφορία των συρμών. Μετράται σε mm.

6. Στρέβλωση της γραμμής καλείται ο λυγισμός των σιδηροτροχιών κατά την εγκάρσια διεύθυνση (Σχήμα 3.10). Μετράται σε mm.

Η γεωμετρία μίας σιδηροδρομικής γραμμής πρέπει να είναι συγκεκριμένη με αυστηρά όρια αποκλίσεων από τις κατασκευαστικές τιμές. Για να γίνει αυτό απαιτείται συχνός έλεγχος της γραμμής για τυχόν αλλοιώσεις και διόρθωση αυτών προτού φτάσουν σε κρίσιμο στάδιο για

την ασφάλεια των μετακινήσεων. Τα προβλήματα που μπορεί να εμφανισθούν στη γραμμή είναι τα εξής: [ΕΔΙΣΥ Α.Ε., 2009]

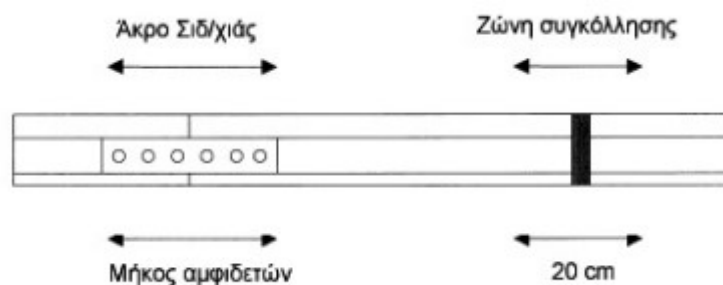
- Φθορά: η σιδηροτροχιά δεν έχει ρηγματωθεί ούτε έχει σπάσει αλλά παρουσιάζει σφάλματα και φθορές κυρίως στην επιφάνεια κύλισης
- Ρηγματώση: η σιδηροτροχιά έχει εμφανίσει ένα ή περισσότερα κενά/ρωγμές, σε οποιοδήποτε σημείο της εγκάρσια στη διατομή της ή κατά μήκος που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση σχετικά γρήγορα
- Θραύση: η σιδηροτροχιά είτε έχει χωριστεί σε δύο ή περισσότερα κομμάτια είτε έχει αποσπαστεί τμήμα μετάλλου που προκαλεί κενό μήκους μεγαλύτερου των 50mm και βάθους μεγαλύτερου των 10mm στην επιφάνεια κύλισης.

Τα προβλήματα των σιδηροτροχιών μπορεί να βρίσκονται στα άκρα αυτών, στο ενδιάμεσο μήκος της ράβδου, ή στην ζώνη της συγκόλλησης (εικόνα 5.14).

Άκρο της σιδηροτροχιάς ονομάζεται το τμήμα της σιδηροτροχιάς που αντιστοιχεί στο μήκος των αμφιδετών.

Ενδιάμεσο τμήμα ονομάζονται όλα τα μέρη της σιδηροτροχιάς που βρίσκονται εκτός των άκρων ή των ζωνών των συγκολλήσεων.

Ζώνη συγκόλλησης ονομάζεται η ζώνη μήκους 10 cm εκατέρωθεν του άξονα της συγκόλλησης των σιδηροτροχιών, δηλαδή συνολικά 20 cm. Όλα τα σφάλματα που εμφανίζονται μέσα σε αυτή τη ζώνη, κατατάσσονται σαν σφάλματα της συγκόλλησης. [ΕΔΙΣΥ Α.Ε., 2009]



Εικόνα 5.14: Ζώνη συγκόλλησης και άκρα σιδηροτροχιάς

[ΕΔΙΣΥ Α.Ε., 2009]

5.4 Αξιολόγηση γεωμετρίας γραμμής

Η αξιολόγηση της υφιστάμενης γεωμετρίας της γραμμής γίνεται συγκρίνοντας τις θεωρητικές τιμές εύρους και υπερύψωσης της γραμμής με τις μετρήσεις που προέκυψαν από τη χρήση της μεθόδου GRP, καθώς κρίθηκε η πιο αξιόπιστη και η πιο ακριβής από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.

Η γραμμή που εξετάζεται ανήκει στην κατηγορία των δευτερευουσών γραμμών και συγκεκριμένα πρόκειται για γραμμές εναπόθεσης.

Σύμφωνα με πληροφορίες που αντλήθηκαν από την κ. Πατεράκη Χρυσή – Μαρκέλλα, τμηματάρχης επιδομής Γραμμής 1 του τομέας συντήρησης σιδηροδρομικής επιδομής & εργαζομένης ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Α.Ε., η κατασκευαστική υπερύψωση της γραμμής ορίζεται στα 0mm και οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι έως 5 km/h.

Στον πίνακα 5.9 αναγράφεται το εύρος της γραμμής όπως αποτυπώθηκε με τη μέθοδο του GRP, η ακρίβεια προσδιορισμού του, η χιλιομετρική θέση στην οποία μετρήθηκε καθώς και η απόκλιση του από το θεωρητικό εύρος των 1435mm.

Με βάση τον πίνακα 5.9 παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις του εύρους γραμμής από την επιτρεπόμενη τιμή είναι σχετικά μικρές στην ευθυγραμμία (μέχρι 2 mm) ενώ αυξάνονται στο καμπύλο τμήμα φτάνοντας ακόμη και τα 12 mm. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εντοπίζονται στα σημεία μετάβασης από το κυκλικό τόξο στην ευθυγραμμία και αντίστροφα (σημεία 13~16 και 23~26) καθώς και τη μέση του κυκλικού τόξου (σημεία 23~26), εξαιτίας των αυξημένων δυνάμεων που αναπτύσσονται στις θέσεις αυτές.



Εικόνα 5.15:Θλάση γραμμής από την τοποθέτηση αμφοιδέτη

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι ο έλεγχος της γεωμετρίας της γραμμής και με τις άλλες μεθόδους δίνει τα ίδια αποτελέσματα (ελαφρώς διαφορετικής ωστόσο τάξης μεγέθους). Επομένως τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη σύγκριση με τη μέθοδο του GRP για την αξιολόγηση της γραμμής επαληθεύονται και με τις άλλες δύο μεθόδους.

Κατά όμοιο τρόπο πραγματοποιείται και η αξιολόγηση της γραμμής ως προς την υπερύψωση. Στον πίνακα 5.11 αναγράφεται η υπερύψωση της γραμμής όπως αποτυπώθηκε με τη μέθοδο του GRP, η ακρίβεια προσδιορισμού της, η χιλιομετρική θέση στην οποία μετρήθηκε καθώς και η απόκλιση της από τη θεωρητική τιμή των 0 mm, μιας και η κατηγορία της γραμμής (γραμμή εναπόθεσης) δεν απαιτεί την ύπαρξη υπερύψωσης, με ταχύτητες που δεν υπερβαίνουν τα 5 km/h.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις της υπερύψωσης από τη θεωρητική τιμή είναι αρκετά μικρές χωρίς να παρουσιάζουν συστηματικότητα ως προς το πρόσημο και το μέγεθος. Συγκεκριμένα, στην ευθυγραμμία φτάνουν μέχρι τα 5mm ενώ στο καμπύλο τμήμα δεν υπερβαίνουν τα 3 mm με μόνη εξαίρεση τη χιλιομετρική θέση 8409.247 στην οποία σημειώνεται απόκλιση 6 mm. Στη χιλιομετρική θέση 8433.000 υπάρχει μία αριστερή κόλληση η οποία φαίνεται να επηρεάζει την υπερύψωση χαμηλώνοντας την εσωτερική σιδηροτροχιά γύρω από τη θέση αυτή.

Η μόνη συστηματικότητα που εμφανίζεται και αξίζει να αναφερθεί είναι στο κυκλικό τόξο όπου η υπερύψωση έχει θετικές τιμές υποδεικνύοντας υπερύψωση της εσωτερικής σιδηροτροχιάς σε σχέση με την εξωτερική. Αυτό πιθανόν εξηγείται από την αυξημένη καταπόνηση της εξωτερικής σιδηροτροχιάς από τους συρμούς εξαιτίας της κατασκευαστικής μηδενικής υπερύψωσης σε συνδυασμό με την επιβάρυνση της τροχιάς εξαιτίας της φυγόκεντρου δύναμης των συρμών. Σε αυτό το σημείο να τονισθεί ότι ο έλεγχος της γεωμετρίας της γραμμής και με τις άλλες μεθόδους δίνει τα ίδια αποτελέσματα (ελαφρώς διαφορετικής τάξης μεγέθους). Επομένως τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη σύγκριση με τη μέθοδο του GRP για την αξιολόγηση της γραμμής επαληθεύονται και με τις δύο άλλες μεθόδους. Η μέθοδος του συμβατικού τρόλεϋ φαίνεται να εμφανίζει συστηματικότητα -2 με -3 χιλιοστά ως προς τις άλλες δύο μεθόδους ενώ το όργανο της εταιρίας ROBEL συστηματικότητα +3 με +4 χιλιοστά.

Δυστυχώς δεν υπάρχουν καθορισμένες επιτρεπτές αποκλίσεις των γεωμετρικών στοιχείων των γραμμών αντίστοιχης κατηγορίας στον ΗΣΑΠ και επομένως δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί εάν απαιτούνται διορθωτικά μέτρα και άμεση συντήρηση της γραμμής ή εάν οι αποκλίσεις αυτές κυμαίνονται σε επιτρεπτά και μη ανησυχητικά πλαίσια. Το μόνο που υπάρχει και παρατίθεται στη συνέχεια είναι όρια αποκλίσεων εύρους,

υπερύψωσης, οριζοντιογραφικής και υψομετρικής θέσης γραμμής από τα κατασκευαστικά σχέδια βάση των Προσωρινών Εθνικών Τεχνικών Προδιαγραφών που εκδόθηκαν το 2004 από το ΥΠΕΧΩΔΕ, με βάση τις οποίες εναρμονίζονται οι κανονισμοί του ΗΣΑΠ καθώς και οι κανονισμοί του ΟΣΕ το 2011. Πέρα από αυτά παρατίθενται και τα επιτρεπόμενα όρια αποκλίσεων των αντίστοιχων μεγεθών στην περίπτωση σταθερής επιδομής [Rail.One, 2009].

Στον πίνακα 5.13 αναφέρονται τα όρια των αποκλίσεων αυτών:

		Επιτρεπόμενες αποκλίσεις (mm)	
		Σταθερή επιδομή	Σκυρογραμμή*
Εσωτερική Γεωμετρία	Εύρος (gauge)	2	-2 έως 10 (-5 έως 25)
	Υπερύψωση (superelevation)	2	7 (18)
Εξωτερική Γεωμετρία	Οριζοντιογραφικά	10	6 (15)
	Υψομετρικά	10	5 (10)

Πίνακας 5.13: Επιτρεπόμενες γεωμετρικές αποκλίσεις σιδηροτροχιών στην περίπτωση σκυρογραμμής και σταθερής επιδομής

*Στην περίπτωση της σκυρογραμμής τα όρια που παρατίθενται στον πίνακα αναφέρονται σε ταχύτητες άνω των 200 km/h και σε παρένθεση σε ταχύτητες κάτω των 60 km/h για γραμμές κατηγορίας E1 (όριο επαγρύπνησης). Τα όρια ποικίλουν αναλόγως τις επιτρεπόμενες ταχύτητες σε κάθε γραμμή και το επίπεδο κατάστασης της γραμμής (επαγρύπνησης E1, παρέμβασης E2 και άμεσης κινητοποίησης E3), ακόμα και αναλόγως του είδους του στρωτήρα, στην περίπτωση των αποκλίσεων του εύρους.

Με βάση τον πίνακα 5.13 είναι προφανές ότι τα όρια των γεωμετρικών αποκλίσεων στην περίπτωση της σταθερής επιδομής είναι πολύ αυστηρότερα από αυτά τη σκυρογραμμής, κάτι το αναμενόμενο σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Επίσης είναι προφανές ότι οι επιδιωκόμενες ακρίβειες ακόμα και κάτω του 1mm στις μετρήσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ζητούμενες. Αυτό έως ένα σημείο είναι λογικό καθώς πάντα η αβεβαιότητα μίας μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον η μισή της ζητούμενης ώστε με την επίδραση διαφόρων σφαλμάτων και παραγόντων τελικά να μην ξεπεραστεί η απαιτούμενη ακρίβεια.

Ωστόσο στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι στη σταθερή επιδομή και πόσο μάλλον στη σκυρογραμμή η απαιτούμενη ακρίβεια είναι

πολλαπλάσια της επιδιωκόμενης. Αυτό εντοπίζεται κυρίως στην περίπτωση του GRP, το οποίο προφανώς έχει σχεδιαστεί και για χώρες που διαθέτουν δίκτυα υψηλών ταχυτήτων και οι προδιαγραφές κατασκευής της επιδομής είναι σαφώς αυστηρότερες.

5.5 Χρόνος

Για κάθε μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση των σιδηροτροχιών απαιτήθηκε ένα χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο ετοιμάστηκε ο εξοπλισμός και πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις.

Αρχικά, για την περίπτωση του GRP απαιτήθηκαν 20 λεπτά της ώρας για την προετοιμασία και την αποτύπωση της γραμμής. Με τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ χρειάστηκαν 40 λεπτά και τέλος με τη μέθοδο της γωνιάς απαιτήθηκαν 35 λεπτά.

Να σημειωθεί ότι οι χρόνοι που αναφέρονται παραπάνω αφορούν τις μετρήσεις στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνοντας και πιθανές καθυστερήσεις και όχι τους χρόνους εργασίας κάποιου εξειδικευμένου τοπογραφικού συνεργείου.

ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΘΕ ΜΕΘΟΔΟΥ			
	GRP	YELLOW TROLEY	ΓΩΝΙΕΣ
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ	20'	15'	5'
ΜΕΤΡΗΣΗ	20'	40'	35'
ΣΥΝΟΛΟ	40'	55'	40'

Πίνακας 5.14: Απαιτούμενος χρόνος αποτύπωσης με τις 3 μεθόδους

Ενδεικτικά, ανάγοντας το χρόνο που απαιτείται από κάθε μέθοδο στη μία ώρα διαπιστώνεται ότι με τη μέθοδο του

- του GRP αποτυπώνονται έως και 150m/h (250 m/h από ένα έμπειρο συνεργείο)
- του συμβατικού τρόλεϋ έως και 80m/h (150 m/h από ένα έμπειρο συνεργείο) και
- της γωνιάς έως και 100 m/h (200 m/h από ένα έμπειρο συνεργείο).\

5.6 Κόστος

Κάθε μία από τις τρεις μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην αποτύπωση των σιδηροτροχιών απαιτούν ένα κόστος αγοράς ή ενοικίασης του απαραίτητου γεωδαιτικού εξοπλισμού. Έτσι λοιπόν παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το κόστος κάθε μίας μεθόδου καθώς και του γεωδαιτικού σταθμού που είναι κοινός και για τις τρεις μεθόδους:

ΑΓΟΡΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ			
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	GRP	YELLOW TROLLEY	ΓΩΝΙΕΣ
LEICA TCRA 1201+	25000 €	25000 €	25000 €
ΤΡΙΠΟΔΑΣ	100 €	100 €	100 €
MINIPRISM+ΣΤΥΛΕΟΣ			300 €
GRP 1000	65000 €		
YELLOW TROLEY		1200 €	
ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ROBEL		250 €	
ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΥΠΕΡΥΨΩΣΗΣ ROBEL		300 €	
ΓΩΝΙΑ (ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ)			50 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)	90100	26550	25450

Πίνακας 5.15: Κόστος εξοπλισμού των 3 μεθόδων

Από την παράθεση του πίνακα 5.15 εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πιο οικονομική μέθοδος είναι της γωνιάς ενώ η πιο δαπανηρή αυτή του GRP.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Έχοντας εκτελέσει τις διαδικασίες μετρήσεων για κάθε μία από τις τρεις μεθόδους ξεχωριστά και έχοντας εξοικειωθεί με τη χρήση τους στο πεδίο, παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας 6.1 και το διάγραμμα αράχνης 6.1 για τη σύγκριση των τριών μεθόδων ως προς:

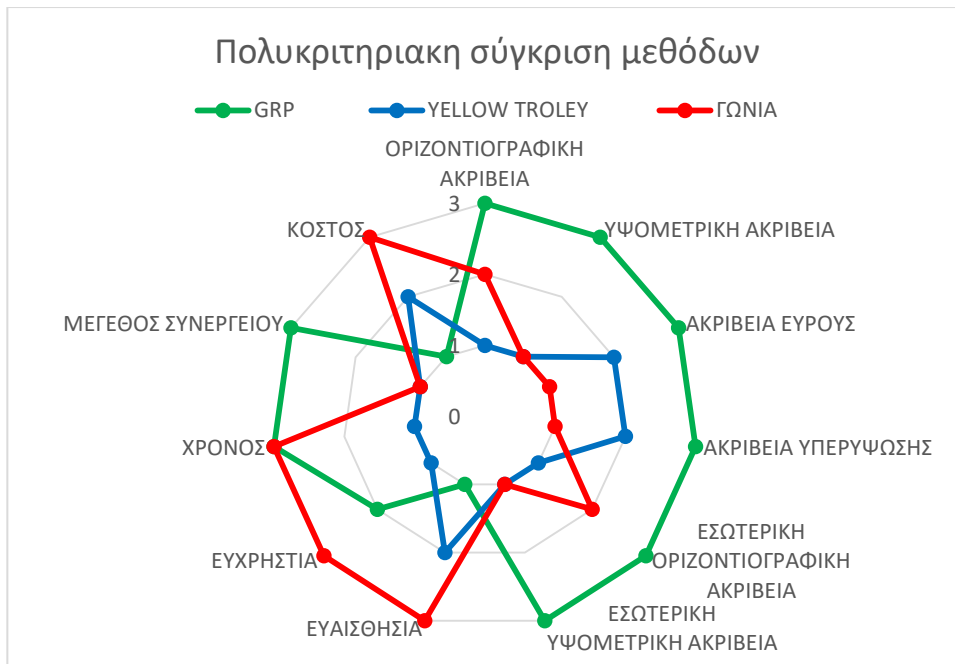
- Ακρίβεια
- Ευαισθησία στην επίδραση εξωτερικών παραγόντων
- Ευχρηστία
- Χρόνο
- Κόστος
- Ελάχιστο πλήθος ατόμων

Το πράσινο χρώμα στον πίνακα 6.1 υποδηλώνει ότι μία μέθοδος πλεονεκτεί στο συγκεκριμένο πεδίο έναντι των άλλων δύο ενώ το κόκκινο ότι μειονεκτεί. Το πορτοκαλί δηλώνει ενδιάμεση κατάσταση.

		GRP	YELLOW TROLEY	ΓΩΝΙΑ
ΑΚΡΙΒΕΙΑ (mm)	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ (X,Y)	2.2	5	2.7
	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ (H)	1.8	2.3	2.3
	ΕΥΡΟΣ	0.3	1	5
	ΥΠΕΡΥΨΩΣΗ	0.5	1	3
	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ			
	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΑ	0.5	2	1
	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ	0.5	1	1
	ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ	√√	√√	√
	ΕΥΧΡΗΣΤΙΑ	√√	√√√	√
	ΧΡΟΝΟΣ	40'	55'	40'
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΑΤΟΜΩΝ		1	2	2
ΚΟΣΤΟΣ		90100	26550	25450

Πίνακας 6.1: Ταξινόμηση των μεθόδων αποτύπωσης - χάραξης ως προς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά για την επιλογή τους

Στο διάγραμμα 6.1 ακολουθεί η πολυκριτηριακή σύγκριση των εξεταζόμενων μεθόδων ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά τους, με βαθμολόγηση από το 1(κακό) μέχρι το 3(πολύ καλό).



Διάγραμμα 6.1: Πολυκριτηριακή σύγκριση των τριών μεθόδων

Από τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι η μέθοδος του GRP είναι η πιο ακριβής και αξιόπιστη μέθοδος, η οποία ωστόσο παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε εξωγενείς παράγοντες γι' αυτό και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου των μετρήσεων όσο και στην ποιότητα του εδάφους.

Επομένως χρησιμοποιείται για εργασίες με απαιτήσεις υψηλής ακριβείας (πχ εργασίες σταθερής υποδομής) καθώς η χρήση του σε συμβατικές εργασίες (πχ εργασίες έρματος) είναι ασύμφορη και άσκοπη.

Όσον αφορά τη μέθοδο του συμβατικού τρόλεϋ έχει σχεδόν τη διπλάσια αβεβαιότητα σε σύγκριση με το GRP. Επίσης παρουσιάζει μια σχετική αστάθεια στην πάκτωση του πάνω στη γραμμή και απαιτεί τη διενέργεια μικροβελτιώσεων για την αποφυγή "ξεκουμπώματος από τις σιδηροτροχιές).

Επίσης ένα μειονέκτημα της μεθόδου που την καθιστά ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη είναι το ότι τα όργανα μέτρησης εύρους και υπερύψωσης δεν είναι ενσωματωμένα στο αμαξίδιο με αποτέλεσμα αφενός να απαιτείται περισσότερος χρόνος κατά τη μέτρηση και αφετέρου το εύρος και η υπερύψωση που μετριοούνται κάθε φορά να μην αντιστοιχούν ακριβώς στην τομή που αποτυπώνεται αλλά σε μία παράλληλη της σε απόσταση περίπου 0.5m.

Σχετικά με τη μέθοδο της γωνιάς, η αποτύπωση των σημείων λεπτομερειών γίνεται κατευθείαν χωρίς τη μεσολάβηση κάποιας κατασκευής (πχ αμαξίδιο γραμμής). Αυτό από τη μία σημαίνει πως αποφεύγεται η εισαγωγή επιπρόσθετων σφαλμάτων οριζοντιογραφικά και

υψομετρικά (πλησιάζουν αρκετά τις ακρίβειες του GRP) εξαιτίας κάποιου αμαξιδίου αλλά δεν παύει να εισάγεται το κατασκευαστικό σφάλμα της γωνιάς η οποία είναι κατασκευασμένη σε τόρνο ορισμένης ακρίβειας. Από την άλλη το μειονέκτημα της μεθόδου στην ακρίβεια εντοπίζεται στην ακρίβεια προσδιορισμού του εύρους και της υπερύψωσης τα οποία δε μετριοούνται άμεσα (όπως στις άλλες δύο μεθόδους) αλλά προκύπτουν από τις συντεταγμένες των απέναντι σημείων.

Τέλος κάτι που αποδείχθηκε μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου των γωνιών είναι το γεγονός ότι η μέτρηση των ομόλογων σημείων (απέναντι σημείων) των σιδηροτροχιών στηρίζεται στην προσοχή και την ικανότητα του ατόμου που κρατάει το στυλέο με το κατάφωτο και την παρατηρητικότητα του στο να ενημερώνει εγκαίρως τον παρατηρητή για την ύπαρξη κολλήσεων, αμφιδέσεων κτλ.

Οι δύο τελευταίες μέθοδοι δεν ενδείκνυνται για εργασίες σταθερής επιδομής εξαιτίας της μειωμένης ακρίβειας που προσφέρουν. Ωστόσο είναι πολύ χρήσιμες για εργασίες σε γραμμές έρματος όπου οι ανοχές είναι μεγαλύτερες.

Για την επιλογή ανάμεσα στις δύο μεθόδους εάν πραγματοποιούνταν οι μικροβελτιώσεις στο αμαξίδιο του συμβατικού τρόλεϋ η μέθοδος αυτή θα ήταν σαφώς καλύτερη επιλογή τόσο σε ακρίβεια, χρόνο, κόστος όσο και σε ευχρηστία.

Για εργασίες σταθερής επιδομής απαιτείται ακρίβεια καλύτερη ακόμη και του 1 mm και επομένως δεν είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του συμβατικού τρόλεϋ ή της γωνιάς.

Καταλήγοντας, εξάγεται το συμπέρασμα ότι όλες οι μέθοδοι που εξετάστηκαν είναι λειτουργικές που ωστόσο χρησιμοποιούνται αναλόγως την εργασία που ζητείται. Κάθε μία από τις μεθόδους αυτές προσφέρουν διαφορετική ακρίβεια και αξιοπιστία στα μετρούμενα στοιχεία και σαφώς διαφέρουν ως προς το χρόνο και το κόστος του τοπογραφικού εξοπλισμού.

Έτσι λοιπόν, αρμοδιότητα του τοπογράφου μηχανικού είναι να κρίνει τι εξοπλισμό και τι μεθοδολογία θα χρησιμοποιήσει στο έργο που του ανατέθηκε ώστε να επιτευχθούν οι ζητούμενες ακρίβειες, μέσα στο διαθέσιμο χρονικό περιθώριο με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Στο τμήμα της γραμμής που ελέγχθηκε στην εργασία αυτή δυστυχώς δεν ήταν διαθέσιμα τα κατασκευαστικά σχέδια και επομένως δεν κατέσται δυνατόν να γίνει σύγκριση ώστε να διαπιστωθούν οι φθορές ή να φανεί αν κάποια μέθοδος δίνει λάθος αποτελέσματα. Έτσι είναι απαραίτητο όταν πραγματοποιείται μελέτη τμήματος γραμμής να υπάρχουν τα κατασκευαστικά σχέδια ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της υφιστάμενης γεωμετρίας της γραμμής και η αξιολόγηση της ορθότητας των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

Επίσης προτείνεται οι εξεταζόμενες μέθοδοι να εφαρμοστούν τόσο σε εργασίες αποτύπωσης όσο και χάραξης γραμμής για την εξαγωγή μιας ολοκληρωμένης εικόνας στην αξιολόγηση και τη σύγκριση των μεθόδων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ, *Θεωρία σφαλμάτων & συννορθώσεις I*, Αθήνα 2009, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Σημειώσεις
- Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ, *Θεωρία σφαλμάτων & συννορθώσεις II*, Αθήνα 2009, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Σημειώσεις
- Αλαμάνος Γ., *Σύγκριση σιδηροδρομικής γραμμής με οδική χάραξη, Διπλωματική εργασία*, 2017
- Αντωνίου Κ., Σπυροπούλου Ι., *Σημειώσεις, Αθήνα 2017*, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, ΑΤΜ
- ΕΔΙΣΥ Α.Ε., *Σφάλματα σιδηροτροχιών (ανίχνευση - αντιμετώπιση)*, 2009
- ΕΔΙΣΥ Α.Ε., *Γεωδαιτική υποδομή – Εξασφάλιση γραμμής*, 2009
- ΕΔΙΣΥ Α.Ε., *Κατασκευή σταθερής επιδομής*, 2009
- Ζέρβας Άγγελος, *Επικεφαλής Τοπογράφος Μηχανικός ΑΚΤΩΡ ΑΤΕ, Προσωπικές συζητήσεις*, 2018
- Ζουλούμης Γ., Θεοδώρου Π., 2003
- Καμπέρος Κώστας, *επιβλέπων μηχανικός ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε., Προσωπικές συζητήσεις* 2017
- Καλτσούνης Α., Βυθούλκας Π., Αθήνα 2009, *Σημειώσεις*, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής ΑΤΜ
- Κυριαζόπουλος Σταύρος, *επικεφαλής τοπογράφος μηχανικός ΜΕΤΚΑ Α.Ε., Προσωπικές συζητήσεις* 2017
- Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, Αθήνα 2010, Εκδόσεις Ζήτη
- Λυμπέρης Κ., *Σιδηροδρομική θεωρία και εφαρμογές*, Αθήνα 2011, Εκδόσεις Συμμετρία
- Λυμπέρης Κ., *Οδηγίες Για Την Χάραξη Γραμμής Των ΗΣΑΠ*, Αθήνα 2005, EURAILING
- ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε. , *Φάκελος Έργου* , Αθήνα 2016, Γενική Διεύθυνση Ανάπτυξης Και Προγραμματισμού
- ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε. , *Όρια σφαλμάτων γραμμής* , Αθήνα 2011, Γενική Διεύθυνση Υποδομής
- ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε. , *Συντήρηση της επιδομής της γραμμής – Γενικές αρχές Όρια σφαλμάτων γραμμής* , Αθήνα 2011, Γενική Διεύθυνση Υποδομής
- Πατεράκη Χρυσή – Μαρκέλλα, *Τμηματάρχης Επιδομής Γραμμής 1 ΣΤΑΣΥ, Προσωπικές συζητήσεις*, 2018
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, 2006, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
- Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, *Γενικές Διατάξεις Στρώσεις Γραμμής – Όρια Σφαλμάτων Γραμμής – Τυπικές Διατομές*, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. 2004
- Φώλας Α., *Έδραση σιδηροδρομικής γραμμής σε πλάκα σκυροδέματος*, Θεσσαλονίκη 2009, Διπλωματική εργασία
- Rahmat Ali, Nasiruddin Su, Numan Nazir, *Engineering surveys and construction of new lines*, Peshawar 2012, Sarhad University Of Science & Information Technology
- Amberg Technologies AG, *GRP System Training - GRP 1000, GRP 3000 (version 2.0)*

- Amberg technologies AG, *Innovative surveying solutions for rail works*, Switzerland 2017
- Amberg technologies AG, The <<all in one>> railway surveying solution, Switzerland 2007
- Amberg technologies AG, *Amberg Slab Track GRP 1000*, Switzerland 2017
- Amberg technologies AG, *The comprehensive solution for railway surveying*, Switzerland 2016
- Bitterer L., *The Technology Of An Analytic Design For Spatial Track Renewal*, Zilina 1996, WIT Press
- Braun J., Stoner M., *Geodetic Measurement Of Longitudinal Displacements Of The Railway Bridge*, Prague 2014, Czech Technical University
- Dickey J., *Railway Infrastructure: Advances in rail measurement*, 2013
- Dennig D., Bureick J κ.α., *Comprehensive and Highly Accurate Measurements of Crane Runways, Profiles and Fastenings*, 2017
- Gratz M., *Work instructions for track system Rheda 2000*, Berlin 2009, RAIL.ONE GmbH
- Knittel S., Kowalski M., *First Experiences with use of Short Temporary Rails in a Slab High Speed Project*, RTR magazine, 2008]
- Kuhlmann H., *Alignment of rails on slab track with robotic tacheometers*, Stuttgart 2000
- Marjetič A., Kregar K. κ.α., *An Alternative Approach to Control Measurements of Crane Rails*, 2012
- Rhomberg Rail S.A., *Track Surveying System HERGIE*, Austria 2001
- Strach M., Kampczyk A., *SURVEYS OF GEOMETRY OF RAIL TRACK FACILITIES AND RAILWAY TRACKS IN THE INFRASTRUCTURE OF RAIL TRANSPORT*, Krakow 2011
- Weiß, Christian, *ESAP Metro Athens – Surveying Slab Track (RHEDA 2000)*, Berlin 2009, ANGERMEIER

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.inforail-ose.gr>(τελευταία πρόσβαση 26.4.2018)
2. <http://en.cnki.com.cn>(τελευταία πρόσβαση 8.2.2018)
3. <http://ieeexplore.ieee.org> (τελευταία πρόσβαση 13.11.2017)
4. <http://www.ambergtechnologies.ch> (τελευταία πρόσβαση 26.4.2018)
5. <https://www.itic-insure.com> (τελευταία πρόσβαση 3.12.2017)
6. <http://www.tsa-uk.org.uk> (τελευταία πρόσβαση 3.12.2017)
7. <http://www.murphysurveys.co.uk> (τελευταία πρόσβαση 3.12.2017)
8. <https://www.geospatialworld.net/article/railway-infrastructure-advances-in-rail-measurement/> (τελευταία πρόσβαση 15.2.2018)
9. <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/5/1118/htm> (τελευταία πρόσβαση 3.10.2017)
10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3386720/> (τελευταία πρόσβαση 18.12.2017)
11. <https://www.slideshare.net/NasirUddin8/engineering-surveys-and-construction-of-new-lines-16311117> (τελευταία πρόσβαση 18.12.2017)
12. <http://portal.survey.ntua.gr> (τελευταία πρόσβαση 4.1.2018)
13. www.uic.org, 2015 (τελευταία πρόσβαση 25.12.2017)
14. <http://rhomborg-sersa.com> (τελευταία πρόσβαση 7.3.2018)