

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ**

Άγγελος Αϊβαλιώτης¹, Γεώργιος Πανταζής¹,

¹ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ

e-mail: ang.aival@outlook.com

Περίληψη

Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για γρήγορες, οικονομικές και ασφαλείς μεταφορές τοποθετεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος τη χρήση του σιδηροδρόμου. Η κάλυψη των αναγκών αυτών πραγματοποιείται με την κατασκευή και την αναβάθμιση νέων και υφιστάμενων σιδηροδρομικών δικτύων. Ως αποτέλεσμα, ωθείται η αξιολόγηση παλιών και η πυροδότηση νέων μετρητικών τεχνολογιών στο χώρο της γεωδαισίας, η οποία συνδέεται τόσο με το κομμάτι της κατασκευής όσο και με της μελλοντικής συντήρησης των σιδηροδρομικών έργων. Οι ανάγκες για πιο γρήγορες και ακριβείς μετρήσεις επιτυγχάνονται με την εφαρμογή σύγχρονων τοπογραφικών μεθόδων.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η παρουσίαση, σύγκριση και αξιολόγηση τριών διαφορετικών γεωδαιτικών μεθόδων αποτύπωσης σιδηροτροχιών ως προς την ακρίβεια, το κόστος, το χρόνο και το βαθμό δυσκολίας στην εφαρμογή τους. Το ερώτημα που προκύπτει και διερευνάται, αφορά το αν και κατά πόσο αυτές οι νέες μέθοδοι είναι οικονομικά συμβατές με τον προϋπολογισμό και τις προδιαγραφές του εκάστοτε έργου. Συγκεκριμένα αναλύονται οι μέθοδοι του GRP, του συμβατικού τρόλεϊ και των γωνιών και παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των τριών αυτών διαφορετικών μεθόδων χάραξης και αποτύπωσης σιδηροτροχιών. Η συγκριτική αξιολόγηση των εξεταζόμενων μεθόδων, επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τους στην αποτύπωση σιδηροτροχιών σε τμήμα της Γραμμής 1 της ΣΤΑ.ΣΥ, στο χώρο εναπόθεσης συρμών του Θησείου. Τα συμπεράσματα ως την ακρίβεια, την ευχρηστία, το χρόνο, το κόστος αλλά και το ελάχιστο πλήθος ατόμων, παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων (πολυκριτηριακή ανάλυση).

Η καθημερινή εξέλιξη της τεχνολογίας προσφέρει τα απαραίτητα εφόδια για την μελλοντική κατασκευή σιδηροδρομικών έργων, τα οποία θα ανταγωνίζονται επιτυχώς ακόμα και τις αερομεταφορές. Προϋπόθεση ωστόσο αποτελεί η χρηματοδότηση και η περαιτέρω έρευνα στο χώρο της σιδηροδρομικής διότι τα δεδομένα και οι απαιτήσεις αλλάζουν διαρκώς. Θα μπορέσει ο σιδηρόδρομος να αποτελέσει έναν άξιο ανταγωνιστή στο χώρο των μεταφορών και να βρεθεί στις πρώτες θέσεις των προτιμήσεων;

Λέξεις-κλειδιά: Σιδηρόδρομος, τοπογραφία, χάραξη, αποτύπωση, μέθοδοι

Abstract

The ever-increasing demand for fast, economical and safe transport places the use of the railroad at the center of interest. These needs are met by the construction and upgrading of new and existing rail networks. As a result, the evaluation of the old and the launch of new metering technologies in the field of geodesy is being pushed, which is linked both to the part of construction and to the future maintenance of rail projects. The need for faster and more accurate measurements is achieved by applying modern topographic methods.

The purpose of this work is to present, compare and evaluate three different geodetic methods of rail tracking in terms of accuracy, cost, time and degree of difficulty in their application. The question that arises and is being investigated is whether and to what extent these new methods are economically compatible with the budget and specifications of each project. Specifically, the methods of GRP, conventional trolley and corners are analyzed and the characteristics of these three different methods of rail engraving and tracking are presented in detail. The comparative evaluation of the methods under consideration is achieved by applying them to the tracing of rails on a section of ΣΤΑ.ΣΥ Line 1, at Thissio's train depot. Conclusions about accuracy, usability, time, cost and minimum number of people are presented in the form of tables and diagrams (multicriteria analysis).

The day-to-day development of technology offers the necessary tools for the future construction of rail projects, which will compete successfully even in air transport. However, funding and further research in the field of rail are a prerequisite as data and requirements are constantly changing. Will the railway be a worthy competitor in the field of transport and be at the forefront of preference?

Keywords: Rail, Surveying, Plotting, Mapping, Methods

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Τμητικός – συλλεκτικός Τόμος στη μνήμη Ευαγγελίας Λάμπρου

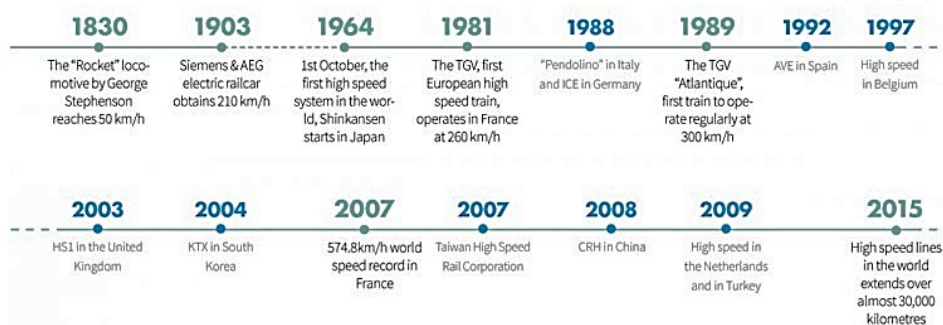
1. Εισαγωγή

1.1 Ιστορική αναδρομή

Μια πρόωμη μορφή των σημερινών σιδηροδρόμων φαίνεται να πρωτοεμφανίστηκε περί τον 16^ο αιώνα στην Ευρωπαϊκή ήπειρο για τις ανάγκες των ορυχείων με “κινητήρια” δύναμη να προέρχεται είτε από ανθρώπους είτε από άλογα. Η ατμοκίνητη κινητήρια μονάδα εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Ουαλία το 1804. Σειρά βελτιώσεων και διορθώσεων κατέστησε το σιδηρόδρομο βασικό μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων, αρχικά, και επιβατών, στη συνέχεια.

Ο 20^{ος} αιώνας στιγμάτισε τον χώρο του σιδηροδρόμου με την εμφάνιση των πρώτων ηλεκτροκίνητων και ντιζελοκίνητων κινητήριων μονάδων αλλά και το καίριο πλήγμα του τομέα από την εξάπλωση του ΙΧ και της αεροπολίας. Το πλήγμα όμως αυτό αποτέλεσε και το έναυσμα μίας νέας επανάστασης στο χώρο της σιδηροδρομικής, επιδιώκοντας τον ανταγωνισμό των αερομεταφορών με τη δημιουργία τρένων υψηλών προδιαγραφών άνεσης, ασφάλειας και ταχύτητας.

Ενδεικτικά, το 1964 τέθηκε σε λειτουργία η σιδηροδρομική γραμμή “Tokaido Shinkansen” με ταχύτητα λειτουργίας 210km/h. Έπειτα από την επιτυχημένη λειτουργία του δικτύου υψηλών ταχυτήτων “Shinkansen” και την ανάπτυξη νέων εξελιγμένων τεχνολογιών πολλές χώρες θέλησαν στα τέλη του 20^{ου} αιώνα να αποκτήσουν υπηρεσίες σιδηροδρομικών μεταφορών υψηλών ταχυτήτων (Ιταλία (1988), Γερμανία (1988), Ισπανία (1992), Βέλγιο (1997), Ηνωμένο Βασίλειο (2003), Ολλανδία (2009), Βόρεια Αμερική (2000), Κίνα (2003), Βόρεια Κορέα (2004), Ταϊβάν (2007), Τουρκία (2009), Ουζμπεκιστάν (2011)) (εικόνα 1)



Εικόνα 1. Χρονολογική εξέλιξη σιδηροδρόμων [<http://www.uic.org>]

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.

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.

1.2 Η τοπογραφία στο χώρο της σιδηροδρομικής

Ο έλεγχος της γεωμετρίας, όπως και η χάραξη, της γραμμής επιτυγχάνεται με τοπογραφικές μεθόδους οι οποίες ποικίλουν αναλόγως την απαιτούμενη ακρίβεια και την σημαντικότητα του δικτύου. Τα πιο συνηθισμένα αντικείμενα τοπογραφικών εργασιών στον τομέα της σιδηροδρομικής είναι οι επίγειες γεωδαιτικές μετρήσεις στα σημεία ενδιαφέροντος για την

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

κατασκευή της γραμμής, ο σχεδιασμός του γεωδαιτικού δικτύου, η ίδρυση, εγκατάσταση, μέτρηση και 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.

Ιστορικά, οι τοπογράφοι έχουν χρησιμοποιήσει γωνιές (rail shoes) (εικόνα 3), μπάρες εύρους γραμμής (gauge bars) και υπερύψωσης (εικόνα 2) ή άλλες μεθόδους για τη συλλογή μεμονωμένων στοιχείων κατά μήκος της τροχιάς, συχνά πραγματοποιώντας επιπρόσθετες μετρήσεις στο γραφείο για τον υπολογισμό θέσεων της σιδηροτροχιάς ή του άξονα βασισμένες στις μετρήσεις υπαίθρου. Νέες τεχνικές για τη συλλογή της απαραίτητης πληροφορίας αφορούν στη χρήση αμαξιδίων σιδηροτροχιάς σε συνδυασμό με γεωδαιτικούς σταθμούς (εικόνα 4, εικόνα 5)



Εικόνα 2. Μετρητής εύρους γραμμής (gauge bar) και μετρητής υπερύψωσης γραμμής (το όργανο που βρίσκεται πάνω από τον μετρητή εύρους) της εταιρίας Robel [www.robel.com]

2. Μεθοδολογίες

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 μέτρησης 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.

2.1 Συμβατική τοπογραφική μέθοδος με γωνιές

Η τοπογραφική μέθοδος χάραξης και αποτύπωσης με τη χρήση γωνιάς (εικόνα 3) είναι από τις πιο απλές. Η αρχή της βασίζεται στην 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 (σηματοποιούμενη γωνία $\approx 95^\circ$).

Έτσι λοιπόν αφού τοποθετηθεί η γωνιά (εικόνα 3) στην επιθυμητή θέση της κάθε σιδηροτροχιάς σκοπεύεται από το γεωδαιτικό σταθμό και λαμβάνεται η μέτρηση στον ανακλαστήρα που βρίσκεται ενσωματωμένος σε γνωστό ύψος πάνω από την γωνιά.

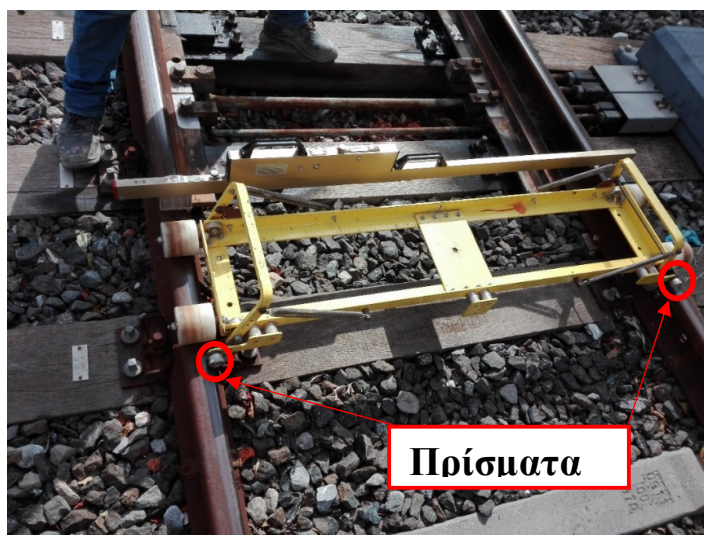
Η κατασκευή της γωνιάς είναι τέτοια ώστε ο ανακλαστήρας να βρίσκεται ακριβώς πάνω από την κεφαλή της σιδηροτροχιάς και πάνω στην ευθεία η οποία διέρχεται από το σημείο μέτρησης της οριζοντιογραφικής θέσης της τροχιάς, δηλαδή στο εσωτερικό της μέρος 14mm κάτω από την κεφαλή της.



Εικόνα 3. Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο των γωνιών

2.2 Τοπογραφική μέθοδος συμβατικού τρόλλεϋ

Στην περίπτωση της μεθόδου συμβατικού αμαξιδίου γραμμής (trolley) απαιτείται και η χρήση παρελκόμενων οργάνων για τη συλλογή όλης της απαραίτητης πληροφορίας που απαιτείται στο πλαίσιο των εργασιών. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η κατάλληλη πάκτωση του οχήματος πάνω στις σιδηροτροχιές (εικόνα 4). Το ένα μέρος του συνήθως είναι σταθερό ενώ το άλλο μέρος του είναι κινητό και με τη βοήθεια ελατηρίων προσαρτάται και πακτώνει πάνω στη γραμμή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί η επισφαλής πάκτωση του αμαξιδίου στη γραμμή καθώς υπάρχει ορισμένη αβεβαιότητα ως προς την καθετότητα και τη σταθερότητα του τρόλλεϋ στη γραμμή.



Εικόνα 4. Σύνολο οργάνων για την αποτύπωση γραμμής με τη μέθοδο του συμβατικού αμαξιδίου

2.3 Τοπογραφική μέθοδος πλατφόρμας GRP

Οι σχετικά νέες αυτές τεχνικές χρησιμοποιούν μετρήσεις βασισμένες σε συστήματα φορητών οχημάτων (trolleys) σιδηροτροχιάς, συνδυάζοντας την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στις επίγειες τοπογραφικές μεθόδους με τον μειωμένο χρόνο που απαιτείται για τη συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων.

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Αποτελούμενα από ένα μικρό όχημα το οποίο τοποθετείται στις σιδηροτροχιές και κινείται από έναν χειριστή, αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν (ενσωματωμένο ή μη) κλισίμετρο και αισθητήρα μέτρησης του πλάτους σιδηροτροχιών, εξοπλισμό τρισδιάστατου προσδιορισμού θέσης, μπαταρία και τον απαραίτητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό (εικόνα 5). 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.

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



Εικόνα 5. Αποτύπωση σιδηροτροχιών με τη μέθοδο του τρόλεϋ GRP της εταιρίας Amberg Rail Technologies

3. Εφαρμογή μεθόδων

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις με τις τρεις εξεταζόμενες μεθόδους αποτύπωσης (Γωνιά, Συμβατικό Τρόλεϋ, GRP) και ακολούθησε η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

3.1 Περιβάλλον μετρήσεων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για την αποτύπωση τμήματος της Γραμμής 1 της ΣΤΑΣΥ σε τμήμα δευτερεύουσας γραμμής στο χώρο εναπόθεσης συρμών στο Θησείο. Οι εργασίες της αποτύπωσης των σιδηροτροχιών πραγματοποιήθηκαν στις 2 Οκτωβρίου 2017 στο χώρο εναπόθεσης του σταθμού του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου στο Θησείο.

3.2 Αβεβαιότητες υπολογισμών

Τα δεδομένα με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί είναι:

- Η αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης της ελεύθερης στάσης από την οποία πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις:

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

$\sigma_{\chi\Sigma} = \pm 1.5 \text{ mm}$, $\sigma_{\gamma\Sigma} = \pm 1.5 \text{ mm}$, $\sigma_{\text{H}\Sigma} = \pm 1.3 \text{ mm}$, $\sigma_{\text{azim}} = \pm 15^{\circ}$

- Η κατασκευαστική αβεβαιότητα του γεωδαιτικού σταθμού
Μέτρηση μηκών: $1 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$ (Για μήκη $\approx 45 \text{ m} \pm 1 \text{ mm}$)
Μέτρηση διευθύνσεων: $\pm 1'' = 3^{\circ}$ ($\sigma_{\beta} = \sqrt{2} * 3 = \pm 4^{\circ}$)
- Η αβεβαιότητα τοποθέτησης των ανακλαστήρων: $\approx \mu\text{m}$ 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): $\pm 1 \text{ mm}$

Τελικά, η ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων οριζοντιογραφικά και υψομετρικά της κάθε μεθόδου παρουσιάζεται στον πίνακα 1:

Πίνακας 1. Ακρίβειες μεθόδων στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των σημείων λεπτομερειών οριζοντιογραφικά και υψομετρικά

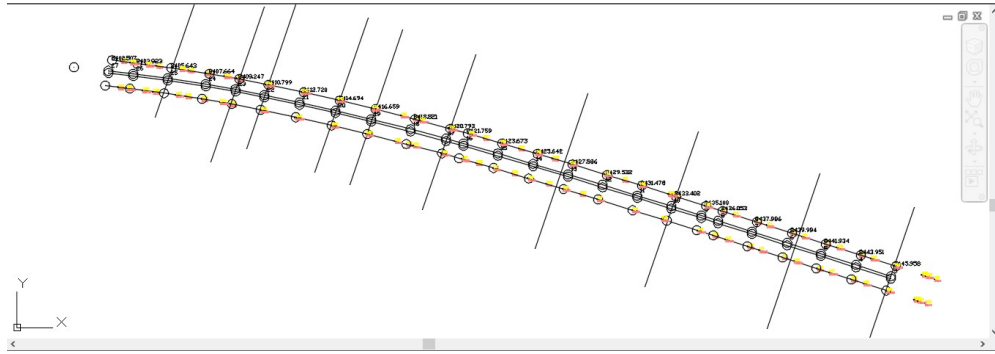
ΜΕΘΟΔΟΣ	ΑΚΡΙΒΕΙΑ	
	Οριζοντιογραφικά	Υψομετρικά
GRP	$\pm 2.2 \text{ mm}$	$\pm 1.8 \text{ mm}$
YELLOW TROLLEY	$\pm 5 \text{ mm}$	$\pm 2.3 \text{ mm}$
ΓΩΝΙΑ	$\pm 2.7 \text{ mm}$	$\pm 2.3 \text{ mm}$

3.3 Αξιολόγηση – σύγκριση μεθόδων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αξιολόγηση και σύγκριση των εν λόγω μεθόδων σε 3 κατευθύνσεις:

- 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 6.
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.

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ



Εικόνα 6. Επιλογή θέσης τομών για τη γραφική σύγκριση των μεθόδων αποτύπωσης

- Με αναλυτικό τρόπο

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 επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψη και αποκλείοντας τις περιοχές στις οποίες η γραμμή παρουσιάζει παραμορφώσεις και τις περιοχές που ανήκουν 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.

- 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 συγκέντρωσή τους σε έναν πίνακα και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Επίσης πραγματοποιείται στατιστικός έλεγχος συμφωνίας των μεθόδων για επίπεδο εμπιστοσύνης 68%.

4. Συμπεράσματα

Εκτελώντας τις διαδικασίες μετρήσεων για κάθε μία από τις τρεις μεθόδους ξεχωριστά και έχοντας εξοικειωθεί με τη χρήση τους στο πεδίο, παρουσιάζεται ο συγκεντρωτικός πίνακας 2 και το διάγραμμα αράχνης (figure 1) για τη σύγκριση των τριών μεθόδων ως προς:

- Ακρίβεια
- Ευαισθησία στην επίδραση εξωτερικών παραγόντων
- Ευχρηστία
- Χρόνο

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

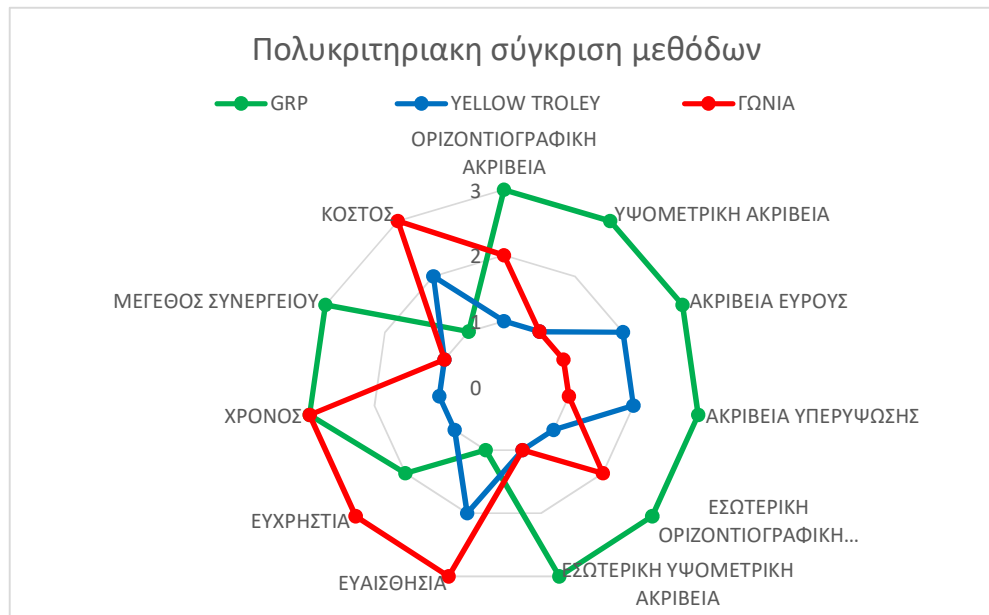
- Κόστος
- Ελάχιστο πλήθος ατόμων

Το πράσινο χρώμα στον πίνακα 2 υποδηλώνει ότι μία μέθοδος πλεονεκτεί στο συγκεκριμένο πεδίο έναντι των άλλων δύο ενώ το κόκκινο ότι μειονεκτεί. Το πορτοκαλί δηλώνει ενδιάμεση κατάσταση.

Πίνακας 2 Ταξινόμηση των μεθόδων αποτύπωσης - χάραξης ως προς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά για την επιλογή τους

		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 (ευρώ)	90100	26550	25450	

Στο διάγραμμα 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 1. Πολυκριτηριακή σύγκριση των τριών μεθόδων

Από τα παραπάνω συνάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ
ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Τμητικός – συλλεκτικός Τόμος στη μνήμη Ευαγγελίας Λάμπρου

Η μέθοδος του GRP είναι η πιο ακριβής και αξιόπιστη, 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.

Η μέθοδος του Συμβατικού Τρόλου έχει σχεδόν τη διπλάσια αβεβαιότητα σε σύγκριση με το GRP. Επίσης παρουσιάζει μια σχετική αστάθεια στην πάκτωσή του πάνω στη γραμμή και απαιτείται η διενέργεια μικροβελτιώσεων. Επίσης ένα μειονέκτημα της μεθόδου που την καθιστά ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη είναι 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.

Η μέθοδος της γωνιάς έχει την ιδιαιτερότητα ότι 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 πάει 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 στυλεό με το κατάφωτο και την παρατηρητικότητα του στο να ενημερώνει εγκαίρως τον παρατηρητή για την ύπαρξη κολλήσεων, αμφιδέσεων κτλ.

Επομένως, οι μέθοδοι του **συμβατικού τρόλου** και της **γωνιάς** 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 αυτές μεθόδους εάν πραγματοποιούνταν οι μικροβελτιώσεις στο αμαξίδιο του συμβατικού τρόλου 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 τρόλου ή της γωνιάς.

Καταλήγοντας, εξάγεται το συμπέρασμα ότι όλες οι μέθοδοι που εξετάστηκαν είναι λειτουργικές, αλλά η επιλογή μίας εξ αυτών εξαρτάται από την ζητούμενη εργασία. 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.

Βιβλιογραφία

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

Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

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
Λυμπερης Κ., *Σιδηροδρομική θεωρία και εφαρμογές*, Αθήνα 2011, Εκδόσεις Συμμετρία
Λυμπερης 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
Άγγελος Αϊβαλιώτης, Γεώργιος Πανταζής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΣΑΤΜ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ