

Χρίστος Πυργίδης

# Συστήματα Σιδηροδρομικών Μεταφορών

Υποδομή • Τροχαίο Υλικό • Εκμετάλλευση

2η έκδοση βελτιωμένη

ΕΚΔΟΣΕΙΣ  
**ΖΗΤΗ**



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

Επικοινωνία με το συγγραφέα Πυργίδη Χρίστο

Τηλ. 2310 995795

e-mail: pyrgidis@civil.auth.gr

Α.Π.Θ., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,

Τομέας Μεταφορών, Συγκοινωνιακής Υποδομής, Διαχείρισης Έργων και Ανάπτυξης,

Εργαστήριο Οδοποιίας, Πανεπιστημιούπολη ΑΠΘ, Τ.Κ. 541 24, Θεσσαλονίκη

Φωτογραφία εξωφύλλου: Αρτέμης Κλώνος

Προαστιακός Αθήνας - Κιάτου. Περιοχή Κακιά Σκάλα

ISBN 978-960-456-155-1

© Copyright: Πυργίδης Χ., Εκδόσεις Ζήτη, Απρίλιος 2009,

Διορθωμένη ανατύπωση: Μάρτιος 2012

2η έκδοση Δεκέμβριος 2015

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη και συγγραφέα κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

**Φωτοστοιχειοθεσία**

**Εκτύπωση**

**Βιβλιοδεσία**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18° χλμ Θεσσαλονίκης - Περαιάς

Τ.Θ. 4171 • Περαιά Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**www.ziti.gr**

**BIBΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:**

Αρμενοπούλου 27 - 546 35 Θεσσαλονίκη • Τηλ.: 2310-203.720 • Fax 2310-211.305

e-mail: sales@ziti.gr

**BIBΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ:**

Ασκληπιού 60 - Εξάρχεια 114 71, Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210-3816.650 • e-mail: sales@ziti.gr

**ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ:** www.ziti.gr

## Αντί Προλόγου

Το βιβλίο αυτό πραγματεύεται τα σιδηροδρομικά συστήματα μεταφορών, δηλαδή τα χερσαία μαζικά μέσα που κινούνται σε δικό τους διάδρομο κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας ως οδό μεταφοράς τη σιδηροδρομική γραμμή ήτοι δύο παράλληλες σιδηροτροχιές που εδράζονται σε ειδικά διαμορφωμένη υποδομή.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο υπεραστικός σιδηρόδρομος συμβατικών και υψηλών ταχυτήτων, ο προαστιακός σιδηρόδρομος και οι παραλλαγές του (περιαστικός, περιφερειακός), ο αστικός σιδηρόδρομος (μετρό, τραμ, ελαφρύ μετρό, monorail) και τα σιδηροδρομικά συστήματα μεγάλων κατά μήκος κλίσεων (οδοντωτός και καλωδιοκίνητος σιδηρόδρομος) που προορίζονται να συνδέσουν κοινινές περιοχές με μεγάλη υψομετρική διαφορά.

Ο σιδηρόδρομος ως σύστημα μεταφορών αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- τη σιδηροδρομική υποδομή,
- το τροχαίο υλικό και
- την εκμετάλλευση

οι οποίες ανήκουν σε τρία διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

Για να επιλυθούν προβλήματα σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας ενός σιδηροδρομικού συστήματος εμπλέκονται αναγκαστικά πολλές ειδικότητες επιστημόνων (πολιτικοί μηχανικοί, αρχιτέκτονες, τοπογράφοι, ηλεκτρολόγοι/μηχανολόγοι, οικονομολόγοι κλπ) με αποτέλεσμα να μπορεί κανείς να υποστηρίξει ότι η σιδηροδρομική επιστήμη, για να καλύψει όλο το μεγάλο εύρος της, πρέπει να ανατρέξει σε πολλές άλλες επιστήμες.

Η ανάγκη αυτή ήταν ιδιαίτερα επιτακτική μέχρι τα τελευταία τουλάχιστον χρόνια καθώς οι σιδηροδρομικοί οργανισμοί είχαν οι ίδιοι τον έλεγχο και τη διαχείριση και των τριών συνιστωσών του συστήματος. Σιδηροδρομική υποδομή, τροχαίο υλικό και εκμετάλλευση αποτελούσαν συνήθως τρεις διαφορετικές οργανωτικές μονάδες μέσα στον ίδιο τον οργανισμό, οι οποίες όμως έπρεπε να συνεργάζονται σε συνεχή βάση και αρμονικά τόσο σε επίπεδο λειτουργίας του συστήματος όσο και σε επίπεδο στρατηγικών επιλογών και πολιτικής επενδύσεων.

Το καθεστώς αυτό ήταν που διαφοροποιούσε ουσιαστικά τη διαχείριση ενός σιδηροδρομικού συστήματος από αυτή ενός οδικού, θαλάσσιου ή αεροπορικού.

Το μεγάλο εύρος της σιδηροδρομικής επιστήμης, οι πολλές κατηγορίες των σιδηροδρομικών συστημάτων αλλά και οι διαφορετικές ανάγκες και γνώσεις που απαιτούνται όταν σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε, λειτουργούμε ή συντηρούμε ένα σιδηροδρομικό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα τα άτομα που ασχολούνται με το σιδηρόδρομο να ειδικεύονται σε έναν μόνο ή σε λίγους τομείς. Ταυτόχρονα όμως είναι απαραίτητο τα άτομα αυτά να έχουν μια γενική εικόνα του όλου συστήματος.

Μέχρι πρόσφατα τεχνογνωσία γύρω από το σιδηρόδρομο είχαν κυρίως όσοι εργάζονταν σε σιδηροδρομικές επιχειρήσεις. Μάλιστα πολλά από τα στελέχη των επιχειρήσεων αυτών, άλλαξαν θέση εργασίας, ώστε να αποκτήσουν μια ευρύτερη θεώρηση και γνώση.

Τα τελευταία όμως χρόνια σε όλο τον κόσμο αλλά και ειδικότερα στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται στον τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών όλο και περισσότεροι (μελετητικές εταιρείες, κατασκευαστές, εταιρείες συμβούλων, μεταφορικές εταιρείες κλπ). Η τεχνογνωσία πρέπει να διαχέεται και αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (έντυπο υλικό, συνέδρια και ημερίδες, εκθέσεις, αναζήτηση στο διαδίκτυο, σπουδές κλπ).

Το βιβλίο αυτό προσπαθεί να βοηθήσει προς αυτή την κατεύθυνση. Να αποτελέσει δηλαδή μια πρόσθετη πηγή πληροφορίας για όσους ενδιαφέρονται να γνωρίσουν το σιδηρόδρομο ως σύστημα μεταφορών αλλά και για όσους ασχολούνται ήδη με αυτόν. Παράλληλα επιχειρεί να δώσει στους νέους μηχανικούς που διδάσκονται το μάθημα της σιδηροδρομικής τα βασικά εφόδια, ώστε να μπορέσουν να αντικρύσουν, με θετική σκέψη για περαιτέρω μελέτη, τα σιδηροδρομικά θέματα που ενδέχεται να τους ανατεθούν κατά τη διάρκεια της επαγγελματικής τους σταδιοδρομίας.

Ο συγγραφέας έχει γράψει στο παρελθόν και άλλο βιβλίο στον τομέα της σιδηροδρομικής. Το βιβλίο αυτό είχε τον τίτλο «Σχεδιασμός και κατασκευή σιδηροδρομικής υποδομής», εκδίδονταν από τον ίδιο εκδοτικό οίκο και διανέμονταν μέσω της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων του ΑΠΘ στους φοιτητές.

Ο συγγραφέας αισθάνεται την υποχρέωση να ευχαριστήσει θερμά τον εκδοτικό οίκο ΖΗΤΗ για τη επιμέλεια του βιβλίου του και ειδικότερα τον Νίκο Ζήτη και

την Άννα Παναγοπούλου. Παράλληλα θα ήθελε να ευχαριστήσει τον Αρτέμη Κλώνο, επαγγελματία φωτογράφο, που παρήγαγε και επιμελήθηκε τις περισσότερες από τις φωτογραφίες του βιβλίου.

Τέλος θα ήθελε να ευχαριστήσει ιδιαίτερα την Ευαγγελία Κονταξή, πολιτικό μηχανικό – συγκοινωνιολόγο, για την ανάγνωση των κειμένων.

Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2015

# Περιεχόμενα

## Ενότητα Ι

### Η Τεχνική και οι Δυνατότητες του Σιδηροδρόμου

#### 1 Ο Σιδηρόδρομος ως Σύστημα Μεταφορών

1.1 Ορισμός και συνιστώσες του συστήματος .....	3
1.2 Η τεχνική του συστήματος .....	12
1.2.1 Περιγραφή του συστήματος .....	12
1.2.2 Θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας του συστήματος .....	15
1.2.3 Εύρος σιδηροδρομικής γραμμής .....	18
1.3 Κατηγορίες σιδηροδρομικών συστημάτων .....	23
1.4 Οι δυνατότητες του σιδηροδρόμου .....	34

#### 2 Ιστορική Εξέλιξη του Σιδηροδρόμου

2.1 Εξέλιξη της οδού μεταφοράς .....	44
2.2 Εξέλιξη του τροχαίου υλικού .....	46
2.3 Εξέλιξη των δικτύων .....	48

## Ενότητα II

### Η Έλξη στο Σιδηρόδρομο

#### 3 Ελκτικά Στοιχεία Συρμών

3.1 Αντιστάσεις συρμού .....	53
3.1.1 Συμβολισμοί – Ορισμοί .....	53
3.1.2 Υπολογισμός αντιστάσεων .....	54
3.1.2.1 Αντίσταση κίνησης .....	54
3.1.2.2 Αντίσταση γραμμής .....	57
3.1.2.3 Αντίσταση επιτάχυνσης .....	59
3.1.2.4 Συνολική αντίσταση .....	59
3.2 Ισχύς κινητήρων και δύναμη έλξης .....	60

3.3 Δύναμη πρόσφυσης.....	62
3.4 Συνθήκη έλξης συρμού.....	64

#### **4 Συστήματα Έλξης Συρμών**

4.1 Ατμοκίνηση.....	66
4.1.1 Ιστορική εξέλιξη.....	66
4.1.2 Κύρια μέρη ατμάμαξας.....	67
4.1.3 Αρχές λειτουργίας.....	69
4.1.4 Ταξινόμηση ατμαμαξών.....	69
4.2 Ντηζελοκίνηση.....	70
4.2.1 Ιστορική εξέλιξη.....	70
4.2.2 Κύρια μέρη ντηζελάμαξας.....	70
4.2.3 Τρόποι μετάδοσης κίνησης.....	71
4.3 Αεριοστροβιλοκίνηση.....	72
4.3.1 Ιστορική εξέλιξη.....	72
4.3.2 Αρχές λειτουργίας.....	73
4.4 Ηλεκτροκίνηση.....	73
4.4.1 Ιστορική εξέλιξη.....	73
4.4.2 Γενική περιγραφή συστημάτων ηλεκτρικής έλξης.....	74
4.4.3 Κύρια μέρη ηλεκτράμαξας.....	74
4.4.4 Ταξινόμηση ηλεκτραμαξών.....	74
4.5 Αυτοκινητάμαξες.....	76
4.6 Σύγκριση συστημάτων έλξης.....	77
4.6.1 Σύγκριση Ντηζελοκίνησης/Ατμοκίνησης.....	78
4.6.2 Σύγκριση Ηλεκτροκίνησης / Ντηζελοκίνησης.....	79
4.6.3 Σύγκριση Ντηζελοκίνησης/Αεριοστροβιλοκίνησης.....	81
4.6.4 Περιπτώσεις εφαρμογής ηλεκτροκίνησης.....	82

### **Ενότητα III**

#### **Αλληλεπίδραση Τροχού – Σιδηροτροχιάς**

#### **5 Μελέτη της Επιφάνειας Επαφής Τροχού – Σιδηροτροχιάς**

5.1 Βαθμοί ελευθερίας συμβατικού σιδηροδρομικού άξονα.....	85
5.2 Γεωμετρία της επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς.....	85
5.2.1 Υποθέσεις.....	85

5.2.2	Μαθηματική επίλυση .....	90
5.2.3	Η έννοια της ισοδύναμης κωνικότητας.....	91
5.2.3.1	Ορισμός .....	91
5.2.3.2	Υπολογισμός της ισοδύναμης κωνικότητας .....	92
5.3	Φαινόμενα επαφής τροχού - σιδηροτροχιάς.....	96
5.3.1	Διαμήκης και εγκάρσια ψευδο-ολίσθηση .....	96
5.3.1.1	Διαμήκης ψευδο-ολίσθηση .....	96
5.3.1.2	Εγκάρσια ψευδο-ολίσθηση .....	100
5.3.1.3	Spin .....	101
5.3.2	Γραμμική θεωρία του Kalker.....	102
5.3.3	Εφαρμογή της γραμμικής θεωρίας του Kalker.....	110
5.3.4	Μη γραμμική θεωρία της επαφής.....	111

## 6 Φορτία Ασκοούμενα επί της Σιδηροδρομικής Γραμμής

6.1	Ταξινόμηση φορτίων .....	113
6.2	Κατακόρυφα φορτία σιδηροδρομικής γραμμής .....	118
6.2.1	Στατικά κατακόρυφα φορτία.....	118
6.2.1.1	Φορτίο κατ' άξονα.....	118
6.2.1.2	Βάρος ανά τροχό.....	120
6.2.1.3	Ημερήσιο φορτίο κυκλοφορίας .....	120
6.2.2	Ημι-στατικά κατακόρυφα φορτία.....	123
6.2.2.1	Κατακόρυφο φορτίο τροχού λόγω πλευρικών ανέμων .....	123
6.2.2.2	Κατακόρυφο φορτίο τροχού λόγω παραμένουσας φυγόκεντρης δύναμης .....	124
6.2.3	Δυναμικά κατακόρυφα φορτία .....	125
6.2.3.1	Κατακόρυφο δυναμικό φορτίο τροχού .....	125
6.2.3.2	Συνολικό κατακόρυφο φορτίο τροχού.....	128
6.2.3.3	Κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού τροχού .....	128
6.2.3.4	Κατακόρυφο φορτίο σχεδιασμού γεφυρών .....	129
6.3	Εγκάρσια φορτία σιδηροδρομικής γραμμής .....	129
6.3.1	Δυνάμεις βαρύτητας.....	130
6.3.2	Δυνάμεις ψευδο-ολίσθησης.....	133
6.3.2.1	Κίνηση σε ευθυγραμμία.....	133
6.3.2.2	Κίνηση σε καμπύλες .....	135
6.3.3	Δύναμη πλευρικών ανέμων .....	138
6.3.4	Παραμένουσα φυγόκεντρη δύναμη .....	138
6.3.5	Δυνάμεις καθοδήγησης.....	140
6.3.6	Δυνάμεις λόγω ταλαντώσεων του οχήματος .....	141



6.3.7	Συνολική εγκάρσια δύναμη .....	141
6.4	Διαμήκεις δυνάμεις.....	144
6.4.1	Δυνάμεις θερμοκρασιακών μεταβολών .....	144
6.4.2	Δυνάμεις όδευσης σιδηροτροχιών .....	146
6.4.3	Δυνάμεις τροχοπέδησης – Δυνάμεις επιτάχυνσης .....	147
6.4.4	Δυνάμεις έλξης – Δυνάμεις πρόσφυσης.....	148
6.4.5	Δυνάμεις αμφίδεσης.....	148

## Ενότητα IV

### Εσχάρα Γραμμής

## 7 Σιδηροτροχιές

7.1	Σκοπιμότητα.....	151
7.2	Ιστορική εξέλιξη – Είδη διατομής .....	151
7.3	Μέρη σιδηροτροχιάς .....	155
7.4	Βασικά χαρακτηριστικά των σιδηροτροχιών και τυπικές διατομές .....	158
7.5	Τύποι σιδηροτροχιών και επιλογή διατομής .....	158
7.6	Αστοχίες σιδηροτροχιών .....	162
7.7	Σύνδεση διαδοχικών σιδηροτροχιών .....	167
7.7.1	Είδη σύνδεσης.....	167
7.7.2	Η τεχνική της αμφίδεσης .....	169
7.7.3	Η τεχνική της συνεχούς συγκόλλησης .....	170
7.7.3.1	Κατάσταση θερμικής και στατικής ισορροπίας συνεχώς συγκολλημένης σιδηροτροχιάς .....	170
7.7.3.2	Μεταβολή του μήκους στη ζώνη εκτόνωσης.....	173
7.7.4	Τοποθέτηση συνεχώς συγκολλημένων σιδηροτροχιών .....	174
7.8	Μέθοδοι συγκόλλησης σιδηροτροχιών.....	177
7.9	Ποιότητες χάλυβα σιδηροτροχιών – Σιδηροτροχιές με πέγμα.....	179
7.9.1	Κανονιστικά κείμενα .....	179
7.9.2	Σύγκριση ποιοτήτων χάλυβα .....	181
7.9.3	Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της ποιότητας χάλυβα των σιδηροτροχιών.....	182

## 8 Στρωτήρες

8.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα.....	184
-----	----------------------------	-----

8.2	Ιστορική εξέλιξη – Είδη στρωτήρων.....	184
8.3	Εύλινοι Στρωτήρες.....	189
8.3.1	Υλικό κατασκευής .....	189
8.3.2	Διαστάσεις .....	189
8.3.3	Διάρκεια ζωής – Κατεργασία .....	190
8.3.4	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	191
8.4	Μεταλλικοί στρωτήρες.....	192
8.4.1	Γενικά χαρακτηριστικά .....	192
8.4.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	194
8.5	Στρωτήρες σκυροδέματος .....	195
8.5.1	Διμερείς στρωτήρες.....	195
8.5.1.1	Γενικά στοιχεία.....	195
8.5.1.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	196
8.5.2	Προεντεταμένοι ολόσωμοι στρωτήρες .....	197
8.5.2.1	Γενικά χαρακτηριστικά .....	197
8.5.2.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	197
8.6	Φόρτιση στρωτήρων.....	198
8.6.1	Κατακόρυφες δυνάμεις ασκούμενες επί των στρωτήρων .....	198
8.6.2	Ροπές ασκούμενες επί των στρωτήρων.....	200
8.6.3	Αναπτυσσόμενες τάσεις επί των στρωτήρων.....	202
8.7	Απόσταση μεταξύ στρωτήρων .....	202
8.8	Κατανομή του αξονικού φορτίου στους στρωτήρες .....	203

## 9 Σύνδεσμοι

9.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα.....	204
9.2	Ιδιότητες των συνδέσμων.....	204
9.3	Εξαρτήματα συνδέσμων.....	205
9.4	Ταξινόμηση συνδέσμων.....	207
9.5	Άκαμπτοι σύνδεσμοι.....	209
9.5.1	Ήλοι.....	210
9.5.2	Τιρφόνια.....	210
9.6	Ημιελαστικοί Σύνδεσμοι .....	212
9.6.1	Κοχλίες.....	212
9.6.2	Ελαστικά Καρφιά.....	212
9.7	Ελαστικοί Σύνδεσμοι.....	213
9.7.1	Σύνδεσμοι μορφής ελάσματος.....	213
9.7.2	Σύνδεσμοι ελατηριωτής μορφής .....	214

## 10 Σχηματισμοί και Όργανα Γραμμής

10.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα .....	215
10.2	Όργανα ή συσκευές γραμμής .....	218
10.2.1	Αλλαγές .....	218
10.2.2	Διασταύρωση .....	224
10.2.3	Διάβαση .....	229
10.3	Συγκρότηση σχηματισμών γραμμής.....	231
10.3.1	Διακλάδωση γραμμών .....	231
10.3.2	Διασταυρώσεις γραμμών .....	234
10.3.3	Διασταύρωση – Αλλαγή.....	235
10.3.4	Συνδέσεις παραλλήλων γραμμών.....	236
10.4	Συμπεριφορά σιδηροδρομικών οχημάτων στις περιοχές σχηματισμών γραμμής – Προβλήματα .....	238
10.4.1	Συμπεριφορά στις αλλαγές γραμμής.....	239
10.4.2	Συμπεριφορά στις διασταυρώσεις .....	239
10.4.3	Προβλήματα στις περιοχές των σχηματισμών γραμμής .....	240
10.4.3.1	Εκτροχιασμοί.....	240
10.4.3.2	Δυναμική άνεση επιβατών- Θόρυβος κύλισης .....	241

## Ενότητα V

### Έδραση – Υποδομή Γραμμής

## 11 Έδραση με Έρμα

11.1	Ορισμός.....	245
11.2	Σκοπιμότητα της συμβατικής έδρασης.....	247
11.2.1	Ο ρόλος του έρματος.....	247
11.2.2	Ο ρόλος του υποστρώματος του έρματος.....	247
11.3	Χαρακτηριστικά του έρματος.....	248
11.3.1	Ιδιότητες και γενικά χαρακτηριστικά .....	248
11.3.2	Υλικά – Διαστάσεις.....	249
11.3.3	Ποιότητα του έρματος .....	250
11.4	Χαρακτηριστικά του υποστρώματος του έρματος.....	253
11.4.1	Ιδιότητες και γενικά χαρακτηριστικά .....	253
11.4.2	Υλικά – Διαστάσεις.....	253
11.4.3	Μηχανικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος του έρματος .....	254

11.5	Στρώσεις και τοποθέτηση έδρασης .....	254
11.6	Συνεισφορά του έρματος στην εγκάρσια αντίσταση της γραμμής.....	256

## **12 Έδραση χωρίς Έρμα**

12.1	Έδραση από πλάκα σκυροδέματος (Σταθερή επιδομή) .....	259
12.1.1	Συγκρότηση της Σταθερής Επιδομής και ιστορική εξέλιξη του συστήματος .....	259
12.1.2	Ταξινόμηση συστημάτων ΣΕ .....	262
12.1.3	Σύγκριση Σταθερής Επιδομής – Συμβατικής Έδρασης.....	264
12.2	Έδραση από ασφαλικό σκυρόδεμα .....	269

## **13 Υποδομή της Γραμμής**

13.1	Ορισμός .....	271
13.2	Σκοπιμότητα της υποδομής .....	271
13.3	Ταξινόμηση της υποδομής ως προς τη φέρουσα ικανότητά της.....	272
13.4	Στρώσεις της υποδομής και τοποθέτηση.....	273
13.5	Μέθοδοι βελτίωσης της μηχανικής αντοχής της υποδομής .....	274

## **14 Διαστασιολόγηση των Στρώσεων της Έδρασης και της Υποδομής**

14.1	Διαστασιολόγηση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.....	277
14.2	Διαστασιολόγηση με βάση τη θεωρία του Boussinesq.....	279
14.3	Διαστασιολόγηση με εμπειρικές μεθόδους.....	280

## **15 Αστοχίες του Συστήματος Έδραση – Υποδομή**

15.1	Αστοχίες οφειλόμενες στην παρουσία του νερού .....	281
15.1.1	Τρόποι εισόδου του νερού στη γραμμή .....	281
15.1.2	Προϋποθέσεις εξόδου του νερού από τη γραμμή .....	282
15.1.3	Λάσπωμα του έρματος – Αναπηδώντες στρωτήρες – Αποσταθεροποίηση γραμμής.....	284
15.1.4	Δημιουργία θυλάκων στην υποδομή .....	285
15.1.5	Ελάττωση της μηχανικής αντοχής της υποδομής .....	287
15.1.6	Επιπτώσεις λόγω παγετού.....	287
15.2	Αστοχίες οφειλόμενες σε άλλα αίτια.....	288
15.2.1	Ρύπανση έρματος.....	288
15.2.2	Στροβιλισμός έρματος .....	289
15.2.3	Θρυμματισμός των σκύρων .....	289

15.2.4	Καθίζηση της υποδομής .....	290
15.2.5	Ολική και σταδιακή θραύση της υποδομής.....	290

## Ενότητα VI

### Χάραξη της Γραμμής

#### 16 Γεωμετρία της Χάραξης Σιδηροδρομικής Γραμμής Κανονικού Εύρους

16.1	Η αδυναμία εξασφάλισης της βέλτιστης γεωμετρίας χάραξης στο σιδηρόδρομο και οι επιπτώσεις .....	295
16.2	Τα βασικά δεδομένα μιας μελέτης χάραξης σιδηροδρομικής γραμμής .....	297
16.3	Συμβολισμοί .....	298
16.4	Η έννοια της ταχύτητας στη σιδηροδρομική – Η ταχύτητα σχεδιασμού .....	299
16.5	Η έννοια της δυναμικής άνεσης των επιβατών .....	301
16.6	Οριζοντιογραφία γραμμής.....	303
16.1.1	Ακτίνες καμπυλότητας στην οριζοντιογραφία.....	303
16.2.2	Υπερύψωση γραμμής.....	303
16.6.2.1	Ορισμοί.....	303
16.6.2.2	Υπολογισμός υπερύψωσης γραμμής.....	308
16.6.3	Επιλογή ακτίνων οριζοντιογραφίας.....	311
16.6.3.1	Επιλογή με βάση τη «φυσική συμπεριφορά» του οχήματος (αναλυτικός υπολογισμός) .....	311
16.6.3.2	Επιλογή με βάση τη «φυσική» και τη «γεωμετρική» συμπεριφορά του οχήματος .....	312
16.6.4	Συναρμογές στην οριζοντιογραφία.....	312
16.7	Αξονική απόσταση σιδηροδρομικών γραμμών .....	319
16.8	Διαπλάτυνση γραμμής .....	321
16.8.1	Η έννοια της διαπλάτυνσης του εύρους γραμμής στα συμβατικά σιδηροδρομικά δίκτυα .....	321
16.8.2	Παράμετροι επιρροής και κριτήρια για την τελική επιλογή της εφαρμοστέας διαπλάτυνσης .....	322
16.8.3	Τρόποι καθορισμού της εφαρμοστέας διαπλάτυνσης .....	324
16.9	Μηκοτομή της γραμμής .....	325
16.9.1	Κατά μήκος κλίση σιδηροδρομικής γραμμής.....	325
16.9.2	Ακτίνες καμπυλότητας στη μηκοτομή.....	326

16.9.3	Συναρμογή στη μηκοτομή.....	327
16.10	Ελληνικοί σιδηρόδρομοι – Κανονισμός επιδομής κανονικής γραμμής .....	329
<b>17</b>	<b>Γεωμετρία της Χάραξης Σιδηροδρομικής Γραμμής Μετρικού Εύρους</b>	
17.1	Διαφορές μετρικής / κανονικής γραμμής ως προς τη γεωμετρία της χάραξης.....	332
17.2	Ελληνικοί σιδηρόδρομοι – Κανονισμός επιδομής μετρικής γραμμής .....	335
<b>18</b>	<b>Γεωμετρικά Σφάλματα Γραμμής</b>	
18.1	Ορισμοί.....	338
18.2	Τύποι σφαλμάτων γραμμής .....	339
18.3	Εντοπισμός και μέτρηση σφαλμάτων .....	340
18.4	Αξιολόγηση σφαλμάτων – Αποδεκτά όρια.....	343
18.5	Αποδεκτά όρια σφαλμάτων γραμμής στο ελληνικό δίκτυο .....	345
18.5.1	Γραμμή κανονικού εύρους.....	345
18.5.2	Γραμμή μετρικού εύρους .....	348

## Ενότητα VII

### Μηχανική Συμπεριφορά της Γραμμής

<b>19</b>	<b>Κατακόρυφη Συμπεριφορά της Γραμμής</b>	
19.1	Παράμετροι ελαστικότητας γραμμής.....	351
19.2	Στατική επίλυση της γραμμής – Θεωρία Zimmerman .....	356
19.2.1	Παραδοχές – Συμβολισμοί.....	356
19.2.2	Αποτελέσματα επίλυσης.....	357
19.2.3	Ανάλυση της κατακόρυφης συμπεριφοράς της γραμμής .....	358
19.2.4	Αριθμητική εφαρμογή.....	359
<b>20</b>	<b>Εγκάρσια Συμπεριφορά της Γραμμής</b>	
20.1	Εγκάρσια αντίσταση της γραμμής.....	361
20.1.1	Παράμετροι επιρροής της εγκάρσιας αντίστασης της γραμμής.....	361
20.1.2	Εκτίμηση της εγκάρσιας αντίστασης της γραμμής.....	362
20.2	Εγκάρσια μετατόπιση της γραμμής.....	364

## 21 Διαμήκης Συμπεριφορά της Γραμμής

21.1	Εγκάρσιος λυγισμός της γραμμής .....	365
21.2	Κατακόρυφος λυγισμός της γραμμής .....	369
21.3	Όδευση σιδηροτροχιών .....	369

## Ενότητα VIII

### Τεχνικά Έργα Γραμμής

## 22 Ιδιαιτερότητες / Διαφορές Σιδηροδρομικών Έργων σε Σχέση με τα Οδικά

.....	373
-------	-----

## 23 Σιδηροδρομικές Σηράγγες

23.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα .....	377
23.2	Ταξινόμηση σιδηροδρομικών σηράγγων .....	378
23.3	Βασικά δομικά στοιχεία σηράγγων και εξοπλισμός.....	380
23.4	Συγκοινωνιακός σχεδιασμός σιδηροδρομικών σηράγγων .....	383
23.4.1	Στοιχεία οριζοντιογραφίας και μηκοτομής της χάραξης .....	383
23.4.2	Επιλογή της επιδομής της γραμμής.....	384
23.4.3	Επιλογή αριθμού κλάδων και γραμμών κυκλοφορίας.....	385
23.4.4	Επιλογή εμβαδού διατομής χρήσης.....	386
23.5	Αστοχίες σιδηροδρομικών σηράγγων.....	389

## 24 Σιδηροδρομικές Γέφυρες

24.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα .....	390
24.2	Ταξινόμηση σιδηροδρομικών γεφυρών .....	390
24.3	Σχεδιασμός και μελέτη σιδηροδρομικών γεφυρών .....	393
24.3.1	Στατική μελέτη .....	394
24.3.2	Δυναμική μελέτη .....	395
24.4	Τυπικές διατομές σιδηροδρομικών γεφυρών.....	396
24.5	Χαρακτηριστικά παραδείγματα σιδηροδρομικών γεφυρών ανά τον κόσμο .....	398

## **25 Ανισόπεδες Διαβάσεις**

25.1 Ορισμός – Σκοπιμότητα.....	400
25.2 Ταξινόμηση ανισόπεδων διαβάσεων.....	401
25.3 Βασικές αρχές σχεδιασμού και χαρακτηριστικά των ανισόπεδων διαβάσεων.....	401
25.4 Υπολογισμός ελεύθερου ύψους διέλευσης σιδηροδρομικής γραμμής κάτω από το φορέα τεχνικών έργων.....	404
25.4.1 Παράμετροι επιρροής .....	404
25.4.2 Ελεύθερο ύψος σε τεχνικά μικρού πλάτους.....	405
25.4.3 Ελεύθερο ύψος σε τεχνικά μεγάλου πλάτους.....	408
25.4.4 Ελεύθερο ύψος τεχνικού σε περιοχές καμπύλων τμημάτων και αλλαγών .....	411

## **26 Επιχώματα – Ορύγματα**

26.1 Ορισμός – Σκοπιμότητα.....	412
26.2 Μελέτη και κατασκευή επιχωμάτων και ορυγμάτων.....	414
26.3 Αστοχίες.....	415
26.3.1 Επιχώματα .....	415
26.3.2 Ορύγματα .....	416

## **27 Συστήματα Αποστράγγισης**

27.1 Ορισμός –Σκοπιμότητα.....	417
27.2 Βασικές αρχές σχεδιασμού και χαρακτηριστικά.....	418
27.2.1 Τεχνικά έργα επιφανειακής αποχέτευσης υδάτων .....	418
27.2.2 Τεχνικά έργα αποστράγγισης.....	420

## **28 Ηχοπετάσματα**

28.1 Ορισμός – Σκοπιμότητα.....	421
28.2 Ταξινόμηση ηχοπετασμάτων.....	421
28.3 Βασικές αρχές σχεδιασμού και χαρακτηριστικά.....	424
28.3.1 Φόρτιση.....	424
28.3.2 Ηχομονωτική ικανότητα .....	426
28.3.3 Ηχοαπορροφητικότητα.....	426



28.3.4	Απόσταση του ηχοπετάσματος από τον άξονα της σιδηροδρομικής γραμμής .....	427
28.3.5	Απαιτούμενο ύψος ηχοπετασμάτων.....	429

## 29 Περιφράξεις

29.1	Ορισμός – Σκοπιμότητα .....	430
29.2	Ταξινόμηση περιφράξεων .....	430
29.3	Βασικές παράμετροι και αρχές σχεδιασμού και κατασκευής των περιφράξεων .....	431

## Ενότητα IX

### Εγκαταστάσεις Γραμμής

## 30 Σηματοδότηση

30.1	Η λειτουργία της σηματοδότησης στο σιδηρόδρομο .....	435
30.1.1	Σκοπιμότητα της σηματοδότησης.....	435
30.1.2	Ιδιαιτερότητες της σιδηροδρομικής σηματοδότησης.....	436
30.2	Ιστορική εξέλιξη .....	438
30.3	Σήματα .....	440
30.3.1	Ορισμός .....	440
30.3.2	Κατάταξη σημάτων.....	441
30.3.3	Ενδείξεις σημάτων .....	443
30.3.4	Είδη σημάτων .....	443
30.4	Είδη Σηματοδότησης.....	447
30.4.1	Μηχανική σηματοδότηση .....	448
30.4.2	Ηλεκτρική σηματοδότηση.....	448
30.4.3	Εξοπλισμός παράπλευρης ηλεκτρικής σηματοδότησης.....	449
30.5	Μέσα ελέγχου παρουσίας συρμών .....	452
30.5.1	Η έννοια του τμήματος αποκλεισμού .....	452
30.5.2	Κύκλωμα γραμμής .....	454
30.5.2.1	Γενικές αρχές λειτουργίας .....	454
30.5.3	Μετρητής αξόνων .....	456
30.5.3.1	Γενικές αρχές λειτουργίας .....	456
30.5.3.2	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	456

30.6	Συστήματα σηματοδότησης δικτύων συμβατικών ταχυτήτων .....	457
30.6.1	Συστήματα σηματοδότησης χωρίς υποβοήθηση της οδήγησης .....	457
30.6.1.1	Αυτόματο φωτεινό σύστημα αποκλεισμού δύο ενδείξεων.....	457
30.6.1.2	Αυτόματο φωτεινό σύστημα αποκλεισμού τριών ενδείξεων.....	458
30.6.2	Συστήματα σηματοδότησης με υποβοήθηση της οδήγησης.....	459
30.7	Συστήματα σηματοδότησης δικτύων υψηλών ταχυτήτων .....	461
30.8	Το σύστημα σηματοδότησης ERTMS.....	461
30.8.1	Γενική περιγραφή του συστήματος.....	461
30.8.2	Το σύστημα ETCS .....	461
30.8.3	Το σύστημα GSM-R.....	466
30.8.4	Εφαρμογή του συστήματος ERTMS.....	466

## 31 Ηλεκτροκίνηση

31.1	Γενική περιγραφή συστημάτων ηλεκτρικής έλξης.....	468
31.1.1	Κύκλωμα έλξης .....	468
31.1.2	Σύστημα τροφοδοσίας .....	472
31.2	Συστήματα ηλεκτρικής έλξης .....	473
31.2.1	Σύστημα συνεχούς ρεύματος .....	473
31.2.2	Σύστημα εναλλασσομένου ρεύματος χαμηλής συχνότητας .....	474
31.2.3	Σύστημα εναλλασσομένου ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας.....	475
31.2.4	Σύγκριση συστημάτων ηλεκτρικής έλξης .....	475
31.3	Τρίτη σιδηροτροχιά.....	477

## 32 Ισόπεδες Σιδηροδρομικές Διαβάσεις

32.1	Ορισμός .....	479
32.2	Σκοπιμότητα.....	480
32.3	Προστασία ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων.....	480
32.4	Ταξινόμηση ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων .....	481
32.5	Εξοπλισμός ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων.....	485
32.6	Λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	488
32.6.1	Ημερήσια ροπή κυκλοφορίας .....	488
32.6.2	Ορατότητα ισόπεδης σιδηροδρομικής διάβασης.....	490
32.6.3	Φωτισμός ισόπεδης σιδηροδρομικής διάβασης .....	493
32.7	Ατυχήματα στις ισόπεδες σιδηροδρομικές διαβάσεις.....	494
32.8	Διαχείριση ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων.....	495

## Ενότητα X

### Ελκόμενο Τροχαίο Υλικό

#### 33 Σχεδιασμός, Κατασκευή και Λειτουργία Ελκόμενου Τροχαίου Υλικού

33.1	Γενικά στοιχεία .....	501
33.1.1	Κύρια μέρη οχήματος – Ορισμοί .....	501
33.1.2	Κατάταξη ελκόμενων οχημάτων .....	504
33.1.2.1	Επιβατικά οχήματα .....	504
33.1.2.2	Εμπορικά οχήματα κοινής ή γενικής χρήσης .....	508
33.1.2.3	Εμπορικά οχήματα ειδικής χρήσης .....	509
33.1.2.4	Επιδιώξεις και στόχοι ελκόμενου τροχαίου υλικού .....	514
33.2	Τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αμαξώματος .....	516
33.2.1	Κύρια μέρη αμαξώματος .....	516
33.2.2	Κατασκευαστικά στοιχεία .....	517
33.2.3	Λειτουργικά στοιχεία .....	519
33.3	Λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά φορείων .....	524
33.3.1	Στόχοι και σκοπιμότητα φορείων .....	524
33.3.2	Συμβατικά φορεία .....	525
33.3.3	Άλλες τεχνολογίες φορείων .....	531
33.3.3.1	Φορεία με αυτο-διευθυνόμενους άξονες .....	531
33.3.3.2	Φορεία με ανεξάρτητα κινούμενους τροχούς .....	533
33.3.3.3	Φορεία με άξονες με ελεγχόμενη ψευδο-ολίσθηση .....	534
33.3.3.4	Φορεία με άξονες με μικτή συμπεριφορά .....	535
33.4	Πέδηση σιδηροδρομικών συρμών .....	535
33.4.1	Σκοπιμότητα της πέδησης .....	535
33.4.2	Συστήματα τροχοπέδησης .....	536
33.4.2.1	Πέδη αέρος ή πνευματική πέδη .....	536
33.4.2.2	Ηλεκτροπνευματική πέδηση .....	536
33.4.2.3	Ηλεκτρομαγνητική πέδηση .....	537
33.4.2.4	Ηλεκτροδυναμική πέδηση ή πέδη δινορευμάτων .....	538
33.4.2.5	Ηλεκτρική ή ρεοστατική πέδηση .....	538
33.4.2.6	Χειροτροχοπέδη .....	538
33.4.3	Εξαρτήματα συστήματος πέδης .....	539
33.4.4	Κατηγορίες πέδης .....	540
33.4.5	Χαρακτηριστικά μεγέθη πέδησης .....	541
33.4.6	Όργανα ελέγχου και προστασίας .....	545
33.4.7	Η πέδηση στις υψηλές ταχύτητες .....	546

33.5	Διαστάσεις και εξοπλισμός τυπικών ελκόμενων οχημάτων .....	547
33.6	Περιτυπώματα κυκλοφορίας .....	549
33.6.1	Ορισμός και είδη περιτυπώματος.....	549
33.6.2	Περιτύπωμα τροχαίου υλικού.....	549
32.6.3	Περιτύπωμα τεχνικών έργων (ή εμποδίων) .....	552

## **34 Συμπεριφορά Τροχαίου Σιδηροδρομικού Υλικού επί της Γραμμής**

34.1	Συμπεριφορά μεμονωμένου σιδηροδρομικού άξονα .....	555
34.1.1	Κίνηση σε ευθυγραμμία .....	555
34.1.2	Κίνηση σε καμπύλα τμήματα .....	559
34.2	Συμπεριφορά πλήρους οχήματος.....	560
34.2.1	Συνθήκες κύλισης τροχών και περιπτώσεις εγγραφής των φορέων στις καμπύλες.....	560
34.2.2	Εγκάρσια συμπεριφορά πλήρους οχήματος .....	564
34.2.2.1	Όχημα με συμβατικά φορεία.....	566
34.2.2.2	Όχημα με φορεία με αυτο-διευθυνόμενους άξονες .....	568
34.2.2.3	Όχημα με άξονες με ανεξάρτητους τροχούς .....	570
34.2.2.4	Συγκριτική παρουσίαση .....	570
34.2.3	Επιλογή κατασκευαστικών χαρακτηριστικών φορέων με βάση τη λειτουργικότητα των δικτύων.....	571

## **35 Εκτροχιασμός Σιδηροδρομικών Οχημάτων**

35.1	Ορισμός .....	574
35.2	Εκτροχιασμός με μετατόπιση της γραμμής .....	576
35.3	Εκτροχιασμός λόγω ανατροπής του οχήματος.....	577
35.4	Εκτροχιασμός με αναρρίχηση των τροχών.....	578
35.4.1	Περιγραφή του φαινομένου .....	578
35.4.2	Κριτήρια εκτροχιασμού .....	579
35.4.3	Παράγοντες επιρροής εκτροχιασμού .....	583

## **Ενότητα XI**

### **Σιδηροδρομικά Συστήματα Υψηλών Ταχυτήτων**

## **36 Ο Σιδηρόδρομος στις Υψηλές Ταχύτητες**

36.1	Διαχωρισμός υψηλών – συμβατικών ταχυτήτων στο σιδηρόδρομο.....	587
------	--	-----

36.2	Προβλήματα στις υψηλές ταχύτητες.....	589
36.2.1	Περιγραφή και ανάλυση των προβλημάτων.....	590
36.2.2	Προϋποθέσεις και τεχνικές λύσεις για την επίτευξη υψηλών ταχυτήτων .....	594
<b>37</b>	<b>Συρμοί Ανακλινόμενου Αμαξώματος</b>	
37.1	Ορισμός και αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας ανακλινόμενου αμαξώματος.....	600
37.2	Τεχνικές και συστήματα ανάκλισης.....	602
37.3	Βασικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των ανακλινόμενων συρμών.....	604
37.4	Ιστορική αναδρομή – Τύποι ανακλινόμενων συρμών .....	606
37.5	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	610
<b>38</b>	<b>Σιδηροδρομικά Δίκτυα και Συρμοί Υψηλών Ταχυτήτων</b>	
	.....	611

## Ενότητα XII

### Αστικά και Προαστιακά Σιδηροδρομικά Συστήματα Μεταφορών

<b>39</b>	<b>Ο Προαστιακός Σιδηρόδρομος</b>	
39.1	Ορισμός.....	627
39.2	Βασικά τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του προαστιακού σιδηροδρόμου .....	627
39.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του προαστιακού σιδηροδρόμου .....	631
39.4	Το δίκτυο σιδηροδρομικής προαστιακής εξυπηρέτησης στην Ελλάδα.....	632
<b>40</b>	<b>Ο Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)</b>	
40.1	Ορισμός – Ιστορική εξέλιξη.....	635
40.2	Ταξινόμηση συστημάτων μετρό.....	636
40.2.1	Με βάση την μεταφορική τους ικανότητα .....	636
40.2.2	Με βάση το βαθμό αυτοματοποίησης της λειτουργίας τους.....	637

40.2.3	Με βάση το υλικό κατασκευής των τροχών.....	639
40.2.4	Άλλες κατηγορίες ταξινόμησης.....	640
40.3	Βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας.....	641
40.3.1	Επίπεδο εξυπηρέτησης – Παράμετροι ποιότητας.....	641
40.3.2	Προϋποθέσεις κατασκευής ενός δικτύου μετρό .....	641
40.3.3	Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	644
40.4	Κατασκευή των σηράγγων.....	645
40.4.1	Μέθοδοι κατασκευής.....	645
40.4.2	Τεχνικές διάνοιξης.....	646
40.5	Σταθμοί.....	647
40.5.1	Ταξινόμηση των σταθμών του μετρό .....	647
40.5.2	Βασικές κατασκευαστικές και λειτουργικές παράμετροι.....	647
40.6	Άλλες λειτουργικές εγκαταστάσεις.....	648
40.6.1	Γραφείο Κεντρικού Ελέγχου.....	648
40.6.2	Εγκαταστάσεις πώλησης και ελέγχου των εισιτηρίων.....	649
40.6.3	Σήμανση – Πληροφόρηση.....	649
40.6.4	Αποβάθρες.....	650
40.6.5	Κλίμακες – Ανελκυστήρες.....	652
40.7	Επιπτώσεις κατά την κατασκευή και κατά τη λειτουργία.....	653
40.8	Συστήματα μετρό στην Ελλάδα .....	654

## 41 Το Σύγχρονο Τραμ

41.1	Ορισμός και περιγραφή του συστήματος.....	657
41.2	Ταξινόμηση τροchioδρομικών συστημάτων.....	657
41.2.1	Με βάση την τυπολογία του διαδρόμου κυκλοφορίας.....	658
41.2.2	Με βάση τη λειτουργικότητα .....	664
41.2.3	Με βάση το ύψος του δαπέδου των οχημάτων.....	666
41.2.4	Με βάση το σύστημα τροφοδοσίας .....	668
41.2.5	Άλλες κατηγορίες ταξινόμησης.....	669
41.3	Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.....	670
41.4	Ένταξη τροchioδρομικών διαδρόμων κατά πλάτος των οδικών αρτηριών.....	678
41.4.1	Τρόποι ένταξης τροchioδρομικών διαδρόμων.....	678
41.4.2	Γεωμετρικά στοιχεία ένταξης τροchioδρομικών διαδρόμων .....	681
41.5	Ένταξη στάσεων τραμ.....	684
41.5.1	Τρόποι ένταξης στάσεων.....	684
41.6	Εγκαταστάσεις αμαξοστασίου .....	685

41.7	Προϋποθέσεις επιλογής του συστήματος .....	689
41.8	Συστήματα τροχιοδρομικής εξυπηρέτησης στην Ελλάδα .....	692

## **42 Ο Μονόραβδος Σιδηρόδρομος**

42.1	Ορισμός και περιγραφή του συστήματος.....	696
42.2	Ταξινόμηση των μονόραβδων σιδηροδρόμων και τεχνικές του συστήματος.....	696
42.2.1	Με βάση την τοποθέτηση των συρμών επί της δοκού καθοδήγησης .....	696
42.2.2	Με βάση τη μεταφορική ικανότητα .....	700
42.2.3	Τεχνικές του συστήματος .....	701
42.3	Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος .....	702
42.3.1	Οδός μεταφοράς.....	702
42.3.2	Τροχαίο υλικό.....	702
42.3.3	Εκμετάλλευση.....	703
42.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του μονόραβδου σιδηροδρόμου.....	705
42.4.1	Πλεονεκτήματα.....	705
42.4.2	Μειονεκτήματα .....	705
42.5	Προϋποθέσεις επιλογής του συστήματος .....	706
42.6	Ιστορική ανασκόπηση και παρούσα κατάσταση.....	706

## **Ενότητα XIII**

### **Μέσα Μεταφοράς για Μεγάλες κατά Μήκος Κλίσεις**

## **43 Μέσα Μεταφοράς για Μεγάλες κατά Μήκος Κλίσεις**

43.1	Ο Οδοντωτός Σιδηρόδρομος.....	713
43.1.1	Ορισμός – Ιστορική εξέλιξη.....	713
43.1.2	Λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά .....	715
43.1.2.1	Σύστημα κρεμαγιέρας .....	715
43.1.2.2	Τροχαίο υλικό και εξοπλισμός .....	717
43.1.2.3	Μέγιστη κατά μήκος κλίση δικτύου .....	718
43.1.2.4	Εύρος – Επιδομή γραμμής .....	719
43.1.2.5	Είδος έλξης.....	720
43.1.2.6	Μορφή του δικτύου.....	721
43.1.3	Παραδείγματα δικτύων οδοντωτών σιδηροδρόμων .....	721
43.1.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του οδοντωτού σιδηροδρόμου .....	723

43.2	Ο Καλωδιοκίνητος Σιδηρόδρομος για μεγάλες κατά μήκος κλίσεις .....	724
43.2.1	Ορισμός.....	724
43.2.2	Το σύστημα funicular .....	726
43.2.2.1	Εξέλιξη των συστημάτων funiculars και παραδείγματα εφαρμογής .....	726
43.2.2.2	Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των funiculars .....	728
43.2.3	Το σύστημα κεκλιμένου ανελκυστήρα .....	732
43.2.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των καλωδιοκίνητων σιδηροδρομικών συστημάτων .....	733

## Ενότητα XIV

### Στοιχεία Τεχνικής Σιδηροδρομικής Εκμετάλλευσης

#### 44 Διαχείριση της Σιδηροδρομικής Κυκλοφορίας

44.1	Ορισμός .....	737
44.2	Παραγωγή/χάραξη δρομολογίων .....	737
44.2.1	Απαιτούμενα δεδομένα – Βασικές αρχές .....	737
44.2.2	Γραφικοί πίνακες δρομολογίων.....	738
44.2.3	Τα επίπεδα προγραμματισμού.....	739
44.2.4	Δρομολόγηση συρμών .....	739
44.3	Ρύθμιση και έλεγχος της κυκλοφορίας.....	741
44.4	Παραγωγή/εφαρμογή κανονισμών, διατάξεων, εγχειριδίων .....	742

#### 45 Η Έννοια της Κυκλοφοριακής Ικανότητας (χωρητικότητας) στη Σιδηροδρομική Γραμμή

45.1	Ορισμοί – Βασικές Έννοιες.....	744
45.2	Η σκοπιμότητα γνώσης της χωρητικότητας γραμμής .....	747
45.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη της χωρητικότητας γραμμής .....	748
45.3.1	Ελάχιστος χρόνος διαδοχής τρένων.....	748
45.3.2	Υπολογισμός ελάχιστου χρόνου διαδοχής τρένων στην περίπτωση γραμμής μιας κατεύθυνσης κυκλοφορίας με ομοιογενή κυκλοφορία (όλοι οι συρμοί κυκλοφορούν με την ίδια ταχύτητα V) .....	748
45.3.3	Χρονική περίοδος αναφοράς $T_a$ .....	752
45.3.4	Χρόνος κατάληψης του γραφήματος δρομολογίων $T_{κδ}$ .....	752
45.3.5	Περιθώριο διαστολής (ή συντελεστής ελαστικότητας).....	753



45.4	Δείκτες χωρητικότητας γραμμής.....	753
45.4.1	Πρακτική και θεωρητική χωρητικότητα γραμμής .....	753
45.4.2	Ποσοστό κορεσμού $S_k$ .....	754
45.4.3	Ποσοστό κατάληψης γραμμής $T_k$ .....	754
45.5	Παράμετροι επιρροής της χωρητικότητας της γραμμής.....	755
45.5.1	Παράμετροι που αφορούν στη σιδηροδρομική υποδομή.....	755
45.5.2	Παράμετροι που αφορούν στο τροχαίο υλικό.....	755
45.5.3	Παράμετροι που αφορούν στις συνθήκες εκμετάλλευσης.....	755
45.6	Υπολογισμός της χωρητικότητας γραμμής.....	759
45.6.1	Μέθοδος U.I.C. (για γραμμές μιας κατεύθυνσης κυκλοφορίας).....	761
45.6.2	Μέθοδος HAKER (για γραμμές δυο κατευθύνσεων κυκλοφορίας).....	766
45.7	Χωρητικότητα σιδηροδρομικών σταθμών .....	766
45.8	Κατανομή χωρητικότητας γραμμής .....	768

## Ενότητα XV

### Στοιχεία Εμπορικής Σιδηροδρομικής Εκμετάλλευσης

#### 46 Σιδηροδρομικοί Σταθμοί

46.1	Ορισμός – Ταξινόμηση σιδηροδρομικών σταθμών .....	771
46.2	Επιβατικοί σιδηροδρομικοί σταθμοί.....	772
46.2.1	Κατηγορίες επιβατικών σταθμών .....	772
46.2.2	Γραμμές σιδηροδρομικών σταθμών .....	775
46.2.2.1	Κατηγορίες γραμμών .....	775
46.2.2.2	Αριθμός γραμμών.....	776
46.2.2.3	Μήκη γραμμών.....	777
46.2.2.4	Διάταξη γραμμών.....	777
46.2.2.5	Σήμανση και σηματοδότηση .....	777
46.3	Σιδηροδρομικοί εμπορευματικοί σταθμοί.....	778

#### 47 Οργάνωση και Διαχείριση των Επιβατικών Σιδηροδρομικών Μεταφορών

47.1	Βασικές αρχές σχεδιασμού και προσφερόμενες υπηρεσίες.....	781
47.2	Επίπεδο εξυπηρέτησης της επιβατικής υπεραστικής σιδηροδρομικής μεταφοράς – Παράμετροι ποιότητας – Βασικά μεγέθη.....	782

47.3	Δρομολόγηση επιβατικών συρμών.....	784
47.4	Επιλογή και προμήθεια τροχαίου υλικού.....	785

## **48 Οργάνωση και Διαχείριση των Εμπορευματικών Σιδηροδρομικών Μεταφορών**

48.1	Επίπεδο εξυπηρέτησης της εμπορευματικής σιδηροδρομικής μεταφοράς – Παράμετροι ποιότητας – Βασικά μεγέθη.....	788
48.2	Προσφερόμενες υπηρεσίες και διεκπεραίωση φορτίων .....	789
48.3	Δρομολόγηση εμπορικών συρμών.....	791
48.4	Συνδυασμένες μεταφορές.....	792
48.5	Μαζικές μεταφορές.....	796
48.6	Μεταφορά επικίνδυνων φορτίων.....	799
48.6.1	Διαφοροποίηση ως προς τις υπόλοιπες εμπορευματικές μεταφορές.....	799
48.6.2	Διαμόρφωση συνθηκών ασφαλούς μεταφοράς.....	800
48.6.3	Λήψη ειδικών μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος.....	800
48.6.4	Εναρμόνιση με τις Ευρωπαϊκές οδηγίες .....	801

## **49 Μικτή Κυκλοφορία Συρμών – Επιπτώσεις στο Σχεδιασμό και στη Λειτουργία του Σιδηροδρομικού Συστήματος**

49.1	Διαφοροποιήσεις των επιβατικών και εμπορικών συρμών όσον αφορά στα χαρακτηριστικά κατασκευής και δρομολόγησής τους.....	802
49.2	Επιπτώσεις των χαρακτηριστικών των συρμών/οχημάτων στο σιδηροδρομικό σύστημα .....	802
49.3	Βιωσιμότητα σιδηροδρομικών δικτύων – Η Διεθνής εμπειρία.....	805

## **Ενότητα XVI**

### **Σιδηροδρομική Ασφάλεια**

## **50 Η Σιδηροδρομική Ασφάλεια**

50.1	Ορισμός της σιδηροδρομικής ασφάλειας.....	809
50.2	Η σημασία της σιδηροδρομικής ασφάλειας για το σιδηρόδρομο .....	811
50.3	Είδη, ταξινόμηση και αίτια των σιδηροδρομικών περιστατικών.....	813
50.3.1	Είδη περιστατικών.....	813

50.3.2	Κατηγορίες σιδηροδρομικών περιστατικών .....	814
50.3.3	Αίτια περιστατικών .....	816
50.4	Ασφάλεια στα τεχνικά έργα .....	819
50.4.1	Ασφάλεια στις σιδηροδρομικές σήραγγες .....	819
50.4.2	Ασφάλεια στις σιδηροδρομικές γέφυρες .....	822
50.5	Ασφάλεια στις ισόπεδες σιδηροδρομικές διαβάσεις .....	824
50.6	Ασφάλεια στις περιοχές των σταθμών .....	826
50.7	Ασφάλεια στην ανοικτή γραμμή .....	827
50.7.1	Περιπτώσεις πιθανών κινδύνων .....	827
50.7.2	Μέτρα προστασίας .....	827

## Ενότητα XVII

### Η Ευρωπαϊκή Πολιτική στον τομέα των Σιδηροδρομικών Μεταφορών

#### 51 Η Πολιτική της Ευρωπαϊκής Κοινότητας στον Τομέα των Σιδηροδρομικών Μεταφορών

51.1	Οι Δράσεις για την Αναζωογόνηση του Σιδηροδρόμου .....	835
51.2	Σιδηροδρομική διαλειτουργικότητα .....	838
51.2.1	Ορισμός και πεδίο εφαρμογής .....	838
51.2.2	Η ανάγκη εξασφάλισης διαλειτουργικότητας .....	839
51.2.3	«Πλαίσιο» για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας στα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων .....	840
51.2.4	Ένταξη του Ελληνικού σιδηροδρομικού δικτύου στα Διευρωπαϊκά Δίκτυα .....	841
51.2.5	Διαχείριση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης .....	841
51.3	Διεθνείς σιδηροδρομικοί οργανισμοί .....	842

#### 52 Τεχνολογίες Αιχμής στο Σιδηρόδρομο .....

Βιβλιογραφία .....	847
--------------------	-----

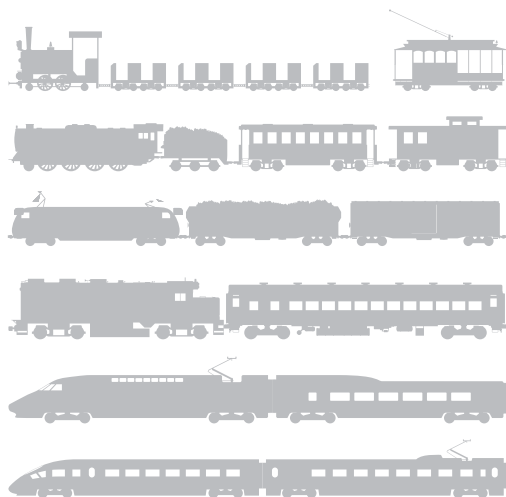
# Η Τεχνική και οι Δυνατότητες του Σιδηροδρόμου

## Κεφάλαια

1. Ο σιδηρόδρομος ως σύστημα μεταφορών
2. Ιστορική εξέλιξη του σιδηροδρόμου



“Ο σιδηρόδρομος είναι ίσως η μόνη τεχνολογία που κατά τη διάρκεια της εξελικτικής της πορείας γνώρισε αρχικά περίοδο μεγάλης ακμής, πέρασε στη συνέχεια μια περίοδο έντονης αμφισβήτησης και την τελευταία δεκαετία κατόρθωσε, όχι μόνο να ανακάμψει αλλά να αποτελεί, για πολλές χώρες, τεχνολογία αιχμής”





# 1

## Ο Σιδηρόδρομος ως Σύστημα Μεταφορών

### 1.1 Ορισμός και συνιστώσες του συστήματος

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί ένα χερσαίο μέσο μαζικής μεταφοράς. Κινείται ηλεκτρικά ή μηχανικά μέσω χαλύβδινων τροχών\* σε αποκλειστικά δικό του διάδρομο κυκλοφορίας που ορίζεται από δύο παράλληλες μεταξύ τους σιδηροτροχιές.

Μεταφέρει επιβάτες και εμπορεύματα. Εξυπηρετεί μετακινήσεις όλων των αποστάσεων\*\* και σε οποιοδήποτε περιβάλλον (αστικό, προαστιακό, περιαστικό, περιφερειακό, υπεραστικό).

Ως μέσο μεταφοράς ορίζεται από τρεις συνιστώσες:

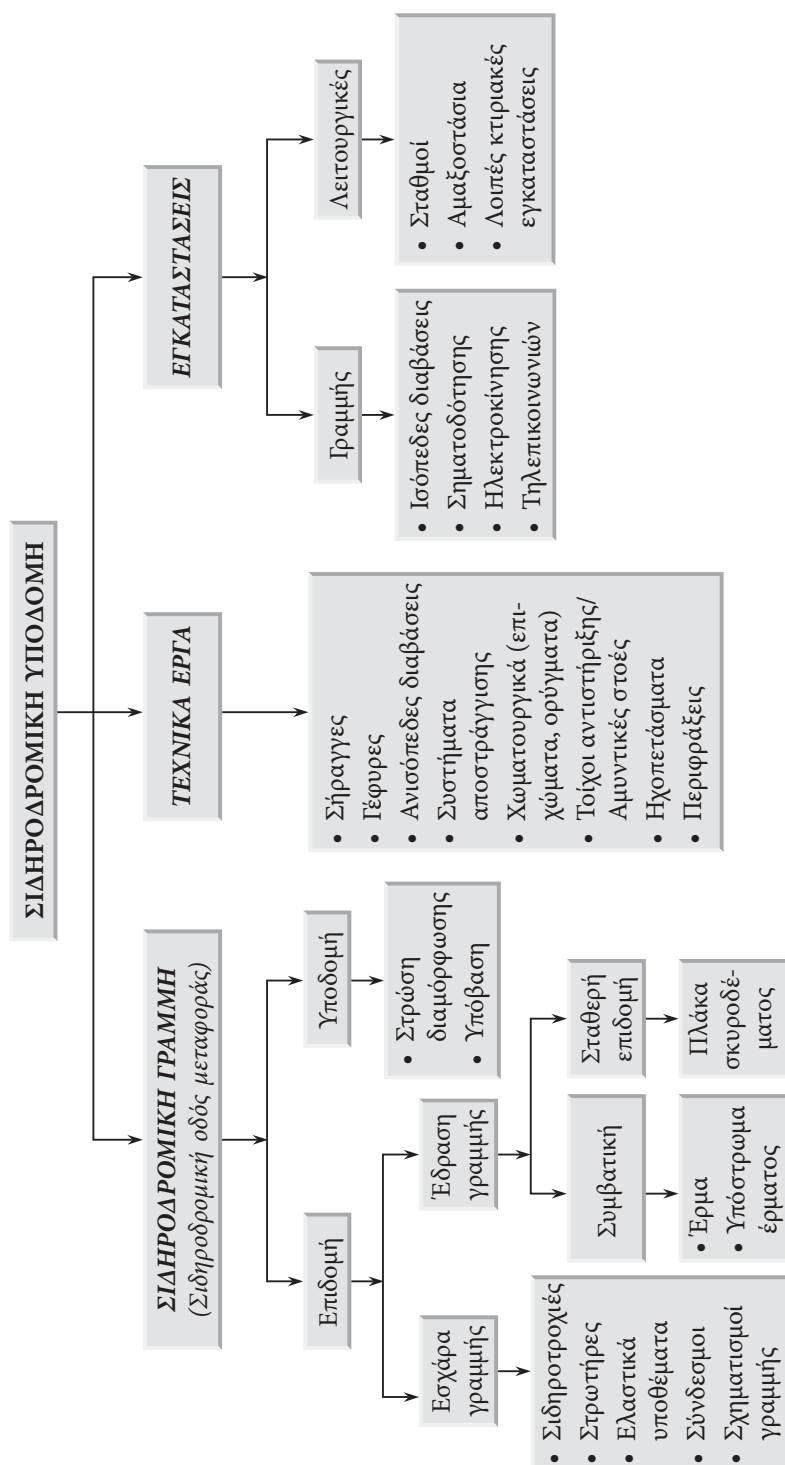
- τη σιδηροδρομική υποδομή,
- το τροχαίο υλικό,
- την εκμετάλλευση.

Με τον όρο *σιδηροδρομική υποδομή* νοείται η σιδηροδρομική οδός μεταφοράς (ή αλλιώς σιδηροδρομική γραμμή) και το σύνολο των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία των συρμών (Σχήμα 1.1).

Η *σιδηροδρομική γραμμή* αποτελείται από μια σειρά στοιχείων και υλικών διαφορετικών ελαστικοτήτων που μεταφέρουν τα στατικά και δυναμικά φορτία της κυκλοφορίας στο έδαφος θεμελίωσης. Περιλαμβάνει διαδοχικά από πάνω προς τα κάτω (Σχήμα 1.2, Εικόνα 1.1) τις σιδηροτροχιές, τους στρωτήρες, το έρμα, το υπόστρωμα του έρματος, τη στρώση διαμόρφωσης και το έδαφος θεμελίωσης (ή

\* Σε ορισμένα δίκτυα αστικών σιδηροδρόμων χρησιμοποιούνται τροχοί με ελαστικά επίσωτρα.

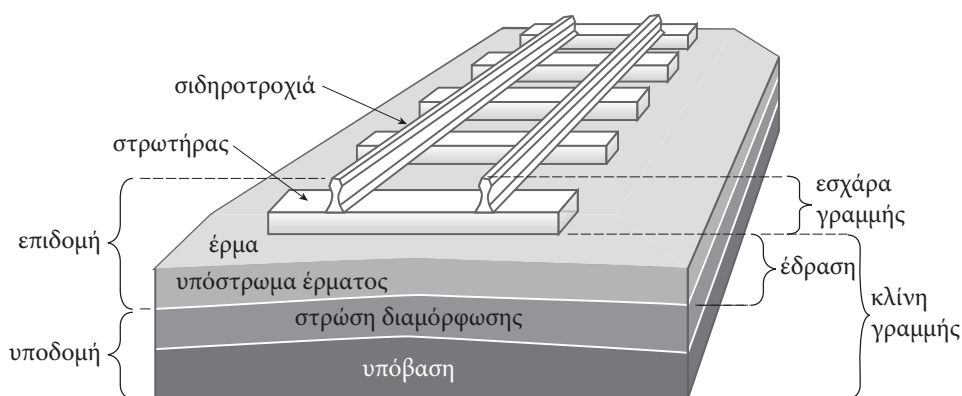
\*\* Η εμβέλεια για τις επιβατικές μεταφορές φθάνει τα 1.500 km ενώ στις εμπορευματικές μεταφορές το μήκος της διαδρομής είναι πολύ μεγαλύτερο.



Σχήμα 1.1: Συνιστώσες και στοιχεία σιδηροδρομικής υποδομής

υπόβαση)<sup>[1]</sup>. Οι σιδηροτροχιές τοποθετούνται επί των στρωτήρων μέσω ελαστικών υποθεμάτων και συνδέονται με αυτούς με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων (συνδέσμων) (Σχήμα 1.3, Εικόνα 1.2).

Σιδηροτροχιές, στρωτήρες, σύνδεσμοι, ελαστικά υποθέματα, έρμα και υπόστρωμα έρματος αποτελούν την «επιδομή» της γραμμής, ενώ υπόβαση και στρώση διαμόρφωσης αποτελούν την «υποδομή» της γραμμής (Σχήματα 1.1 και 1.2).

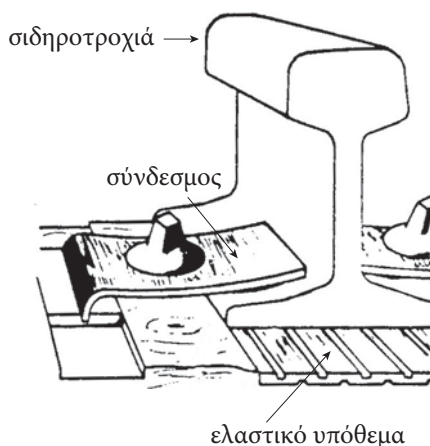


Σχήμα 1.2: Σιδηροδρομική οδός μεταφοράς<sup>[2]</sup>



Εικόνα 1.1: Σιδηροδρομική οδός μεταφοράς – Συμβατική έδραση (Φωτ: Αρτέμης Κλώνος)





**Σχήμα 1.3:** Σύνδεση σιδηροτροχιών - στρωτήρων<sup>[3]</sup>



**Εικόνα 1.2:** Σύνδεση σιδηροτροχιών - στρωτήρων με ελαστικό σύνδεσμο<sup>[4]</sup>

Το ανώτερο τμήμα της επιδομής που περιλαμβάνει τις σιδηροτροχιές, τους στρωτήρες, τους συνδέσμους και τα υλικά σύνδεσης σιδηροτροχιών - στρωτήρων καλείται «εσχάρα γραμμής». Στην εσχάρα γραμμής συγκαταλέγονται και οι σχηματισμοί γραμμής (διακλαδώσεις γραμμών, διασταυρώσεις γραμμών, διασταυρώσεις - αλλαγές γραμμών, συνδέσεις παραλλήλων γραμμών) μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ένωση, η τομή, ο διχασμός και η σύνδεση των γραμμών σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου.

Το κατώτερο τμήμα της επιδομής, που περιλαμβάνει το έρμα και τις υποκείμενες στρώσεις του, καλείται «έδραση» της γραμμής. Η έδραση και η υποδομή της γραμμής καλούνται μαζί «κλίνη της γραμμής».

Εκτός της έδρασης με έρμα (συμβατική ή εύκαμπτη έδραση), εφαρμόζεται όλο

και περισσότερο και η έδραση με πλάκα σκυροδέματος (σταθερή επιδομή ή αλλιώς δύσκαμπτη έδραση). Η δεύτερη αυτή λύση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στα υπόγεια τμήματα γραμμής, καθώς περιορίζει σημαντικά τις ανάγκες συντήρησης.

Τέλος, ένα τρίτο σύστημα έδρασης, που συναντάται σπάνια, είναι η «έδραση με ασφαλικό σκυρόδεμα ή ημι-εύκαμπτη έδραση». Η λύση αυτή χρησιμοποιείται σήμερα σε ορισμένες περιπτώσεις σε Ιταλία και Ιαπωνία στην κατασκευή νέων γραμμών υψηλών ταχυτήτων. Χρησιμοποιείται επίσης σε μεγάλο βαθμό στη Β. Αμερική στην αποκατάσταση μικρού μήκους «ευαίσθητων» τμημάτων γραμμής (σήραγγες, περιοχές σχηματισμών γραμμής, μεταβατική ζώνη πριν την είσοδο σε γέφυρα). Αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο βελτίωσης της μηχανικής αντοχής της υφιστάμενης υποδομής.

Στα τεχνικά έργα συγκαταλέγονται οι σήραγγες και τα υπόγεια τμήματα γραμμής κατασκευασμένα με τη μέθοδο «cut and cover», οι γέφυρες, οι ανισόπεδες διαβάσεις, τα χωματουργικά έργα (επιχώματα, ορύγματα) τα συστήματα αποστράγγισης (στραγγιστήρια, ανοικτές τάφροι), οι τοίχοι και τα έργα αντιστήριξης των εδαφών, οι αμυντικές στοές, οι οχετοί, τα ηχοπετάσματα και οι περιφράξεις.

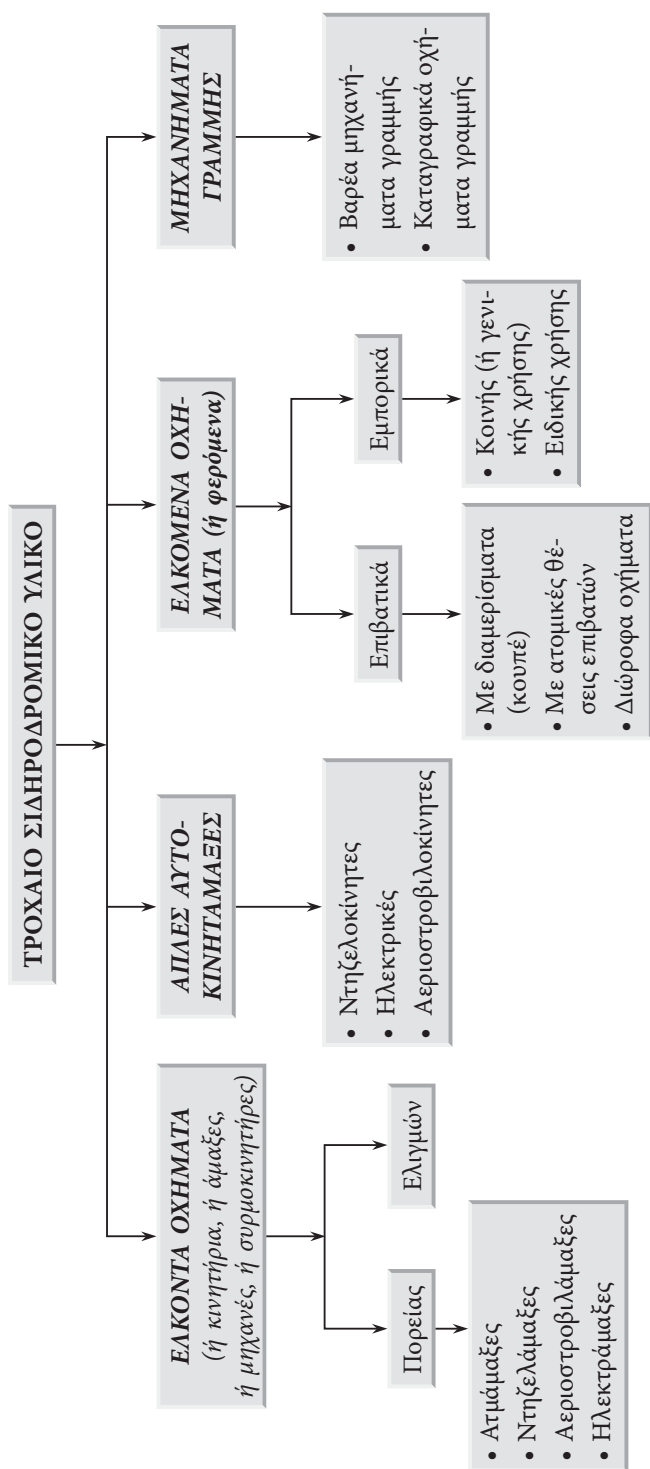
Οι εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- εγκαταστάσεις γραμμής στις οποίες περιλαμβάνονται οι ισόπεδες σιδηροδρομικές διαβάσεις και οι εγκαταστάσεις ηλεκτροκίνησης, σηματοδότησης και τηλεπικοινωνιών,
- λειτουργικές εγκαταστάσεις στις οποίες περιλαμβάνονται οι σταθμοί, τα αμαξοστάσια και οι λοιπές κτιριακές εγκαταστάσεις (κτίρια διοίκησης, αποθηκευτικοί χώροι κλπ).

Με τον όρο *σιδηροδρομικό τροχαίο υλικό* νοούνται όλα τα οχήματα, έλκοντα και ελκόμενα, που κινούνται πάνω στις σιδηροτροχιές και υλοποιούν άμεσα ή βοηθούν έμμεσα τις σιδηροδρομικές μεταφορές (Σχήμα 1.4).

Τα έλκοντα οχήματα διαθέτουν αυτόνομη κίνηση, είναι δηλαδή εφοδιασμένα με κινητήρες. Τα οχήματα αυτά:

- ή εξυπηρετούν αποκλειστικά την έλξη των ελκόμενων οχημάτων και ονομάζονται «κινητήρια οχήματα πορείας»,
- ή επιτρέπουν συγχρόνως και τη μεταφορά περιορισμένου σχετικά αριθμού επιβατών και ονομάζονται «απλές ή αυτόνομες αυτοκινητάμαξες»,
- ή χρησιμεύουν για ελιγμούς και ονομάζονται «μηχανές ελιγμών».



Σχήμα 1.4: Κατηγορίες τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού



**Εικόνα 1.7:** Προαστιακός σιδηρόδρομος (Διώροφη ηλεκτροκίνητη αυτοκινητάμαξα)  
(Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)



**Εικόνα 1.8:** Προαστιακός σιδηρόδρομος (Τετράδυμη ηλεκτροκίνητη αυτοκινητάμαξα)  
(Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)



**Εικόνα 1.9:** Μετρό (με οδηγό) (Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)



*Εικόνα 1.10: Μετρό (αυτόματο)*



*Εικόνα 1.11: Ελαφρύ μετρό<sup>[21]</sup>*



*Εικόνα 1.12: Τραμ (Σύγχρονος τροχιδρόμος) (Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)*





**Εικόνα 1.13:** Μονόραβδος σιδηρόδρομος<sup>[22]</sup>



**Εικόνα 1.14:** Αυτόματα αυτοκινούμενα σιδηροδρομικά συστήματα μικρής/μεσαίας μεταφορικής ικανότητας (Copyright POSCO ICT Co., Ltd)



## 5

## Μελέτη της Επιφάνειας Επαφής Τροχού – Σιδηροτροχιάς

### 5.1 Βαθμοί ελευθερίας συμβατικού σιδηροδρομικού άξονα

Η μελέτη των κινήσεων ενός σιδηροδρομικού άξονα γίνεται ως προς ένα τρισσορθογώνιο σύστημα αναφοράς  $G_o \bar{x}_o \bar{y}_o \bar{z}_o$  συνδεδεμένο με το κέντρο βάρους  $G_o$  του άξονα και κινούμενο με σταθερή ταχύτητα  $V$  ως προς ένα ακίνητο σύστημα συντεταγμένων  $O_g \bar{x}_g \bar{y}_g \bar{z}_g$  του οποίου ο άξονας  $O_g \bar{x}_g$  είναι παράλληλος προς τον άξονα της σιδηροδρομικής γραμμής (Σχήμα 5.1).<sup>[13], [57]</sup>

Σε μία τυχαία θέση του άξονα επί της γραμμής το κέντρο βάρους του μετατοπίζεται στη θέση  $G$  ( $G \overline{xyz}$ : μεταβλητό τρίεδρο).

Ένας συμβατικός σιδηροδρομικός άξονας έχει συνολικά έξι βαθμούς ελευθερίας:  $x, y, z, \alpha, \psi, \phi$  (Σχήματα 5.1α, γ).

όπου  $x, y, z$ : διαμήκης, εγκάρσια και κατακόρυφη αντίστοιχα μετατόπιση του κέντρου βάρους του άξονα ως προς  $G_o \bar{x}_o, G_o \bar{y}_o, G_o \bar{z}_o$ ,

$\alpha$ : γωνία στροφής (παρέκκλισης) του άξονα ως προς  $G_o \bar{z}_o$ ,

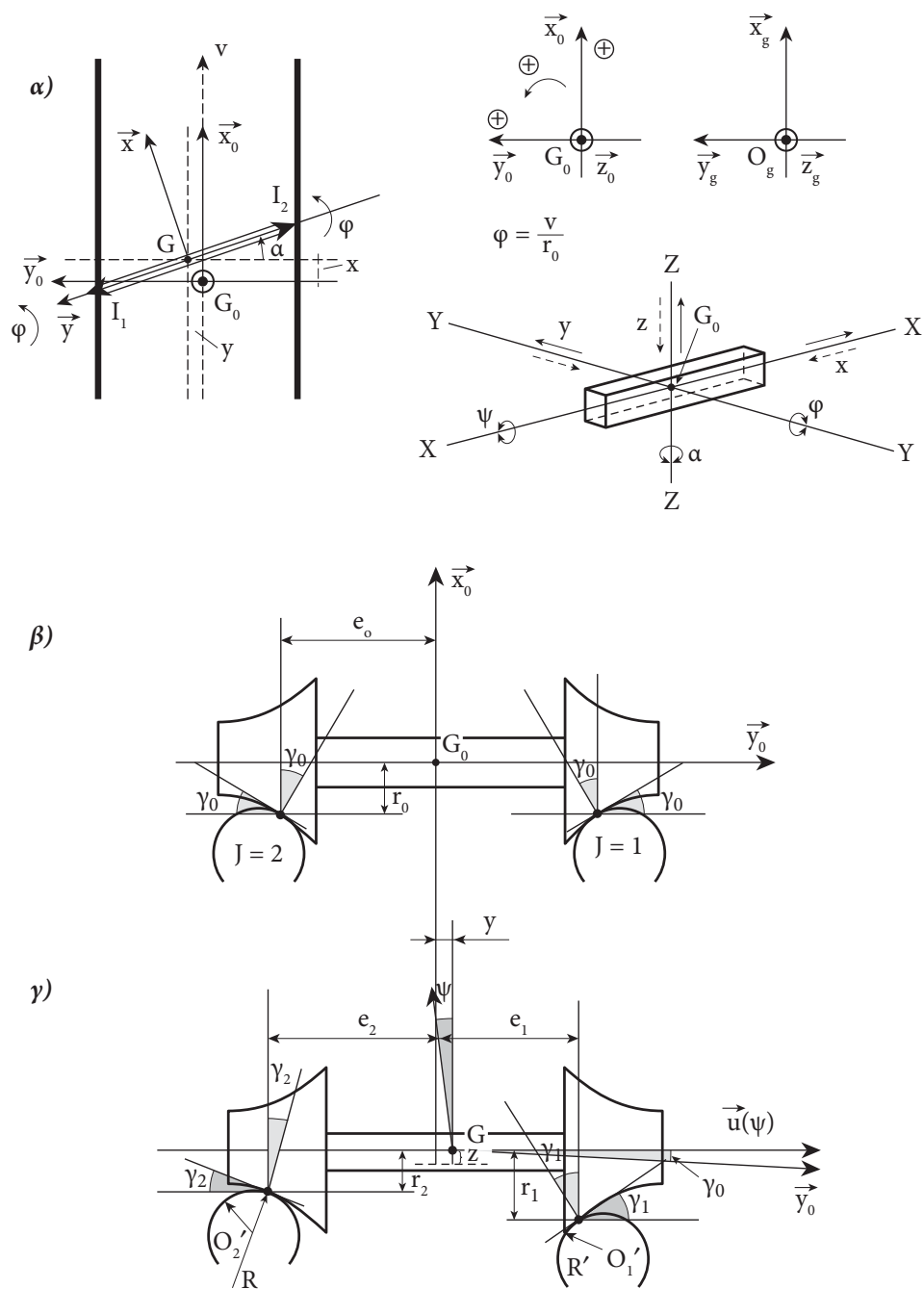
$\psi$ : γωνία περιστροφής του άξονα ως προς  $G_o \bar{x}_o$ ,

$\phi$ : γωνία περιστροφής του άξονα ως προς  $G_o \bar{y}_o$  ( $\phi' \approx V/r_o$ ).

### 5.2 Γεωμετρία της επαφής τροχού – σιδηροτροχιάς

#### 5.2.1 Υποθέσεις

Η μελέτη της γεωμετρίας της επαφής τροχού - σιδηροτροχιάς επιτρέπει να υπολογισθούν, για μια τυχαία θέση ενός σιδηροδρομικού άξονα πάνω στη γραμμή (Σχήματα 5.1α, γ), οι τιμές των παραμέτρων  $e_1, e_2, \gamma_1, \gamma_2, r_1, r_2, \psi$  και  $z$ .



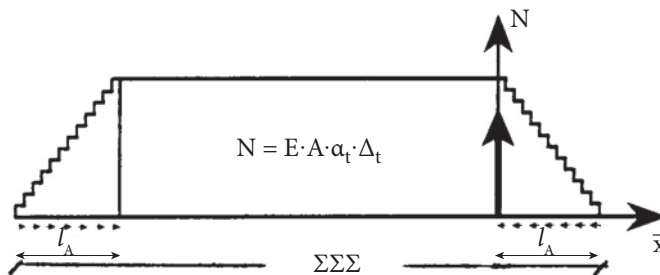
**Σχήμα 5.1:** Κίνηση σιδηροδρομικού άξονα – Σύστημα αναφοράς και βαθμοί ελευθερίας



$$N = E \cdot A \frac{\Delta l}{l_0} = E \cdot A \cdot \alpha_t \cdot \Delta_t \quad (6.37)$$

όπου A: εγκάρσια διατομή της σιδηροτροχιάς,  
E: μέτρο ελαστικότητας χάλυβα.

Οι δυνάμεις αυτές ονομάζονται δυνάμεις θερμοκρασιακών μεταβολών και θεωρούνται στατικές επιπονήσεις. Η τιμή τους παραμένει σταθερή σε όλο σχεδόν το μήκος της συνεχώς συγκολλημένης σιδηροτροχιάς. Από μία απόσταση  $l_A = 150$  m περίπου από τα άκρα της Σ.Σ.Σ. (ζώνη εκτόνωσης) η τιμή της δύναμης N μειώνεται σταδιακά μέχρις ότου μηδενιστεί στα δύο άκρα της σιδηροτροχιάς (Σχήμα 6.11).



**Σχήμα 6.11:** Μεταβολή της δύναμης θερμοκρασιακών μεταβολών  $N$  κατά μήκος της Σ.Σ.Σ. <sup>[1], [12]</sup>

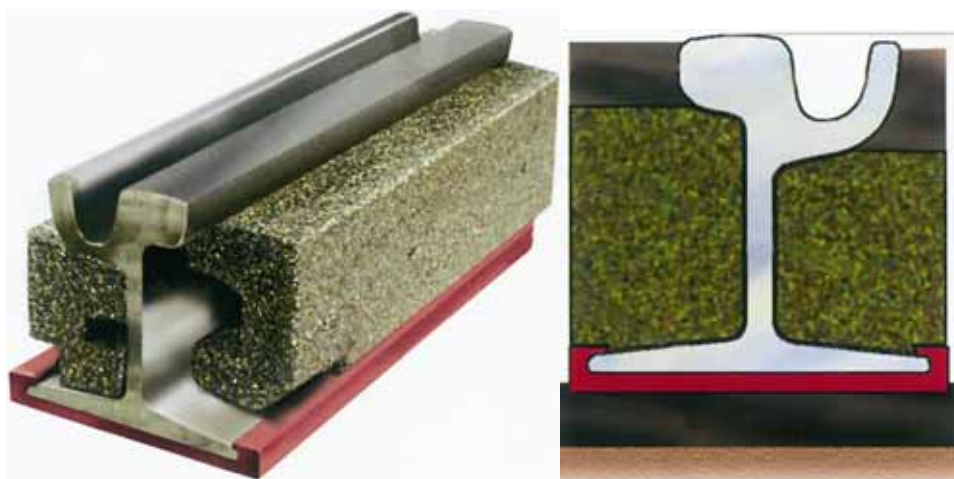
Για  $\Delta_t = 40^\circ\text{C}$ ,  $E = 2,1 \cdot 10^3 \text{ t/cm}^2$ ,  
 $\alpha_t = 1,15 \cdot 10^{-5} ^\circ\text{C}$  και σιδηροτροχιά UIC 50  
( $A = 63,93 \text{ cm}^2$ ) προκύπτει μία δύναμη  
 $N = 61,75 \text{ t}$ .

Όταν η δύναμη λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών αυξηθεί σε βαθμό που το έρμα να μη μπορεί να συγκρατήσει πλέον την εσχάρα γραμμής και να εμποδίσει την οριζόντια ή κατακόρυφη μετακίνησή της, τότε συμβαίνει λυγισμός (buckling) της γραμμής (Εικόνα 6.1).

Η απόκλιση της γραμμής από την ορθή της θέση δημιουργεί ανωμαλίες κατά την κίνηση και επομένως εγκάρσια μετατόπιση και γωνία παρέκκλισης του άξονα με αποτέλε-



**Εικόνα 6.1:** Εγκάρσιος λυγισμός σιδηροδρομικής γραμμής



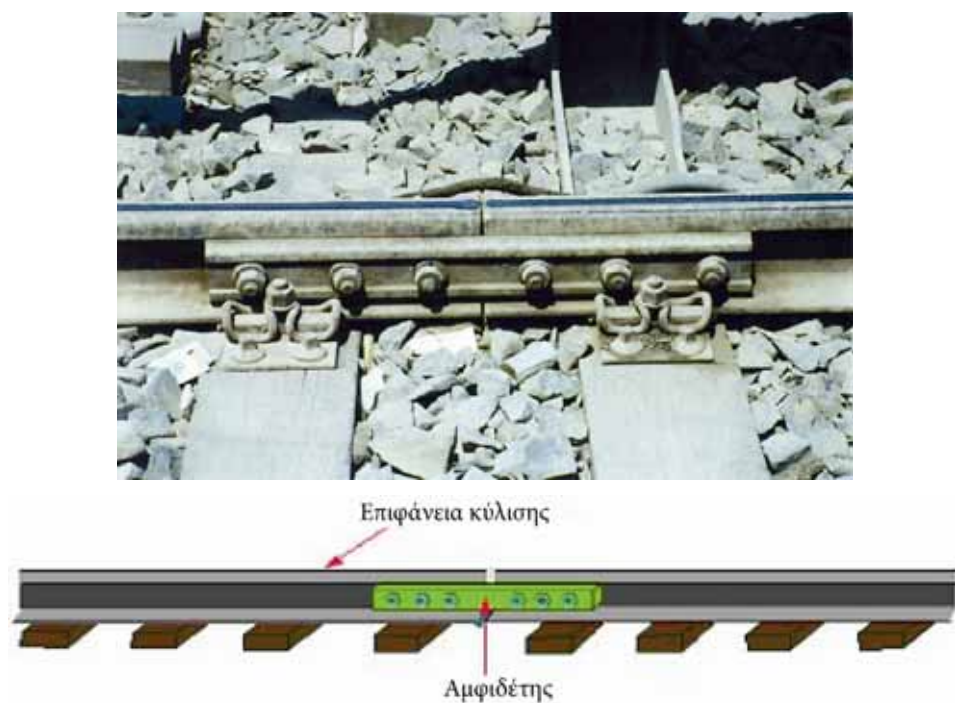
*Εικόνα 7.1: Σιδηροτροχιά με λαιμό*

Το 1858 ο Bessemer προτείνει τις σιδηροτροχιές από χυτοχάλυβα και μέσα στα επόμενα χρόνια γενικεύεται η κατασκευή σιδηροτροχιών με τη μέθοδο Thomas Martin.

Σήμερα εκτός από τη διατομή με πέλμα (Vignoles) συναντώνται και δύο άλλοι



*Εικόνα 7.5: Ένωση σιδηροτροχιών με συνεχή συγκόλληση (αλουμινοθερμική μέθοδος)*



*Εικόνα 7.6: Ένωση σιδηροτροχιών με αμφίδεση<sup>[80]</sup>*





**Εικόνα 8.1δ:** Μεταλλικοί στρωτήρες μορφής Υ – Σήραγγα Linderhauser (Gevelsberg)<sup>[88]</sup>

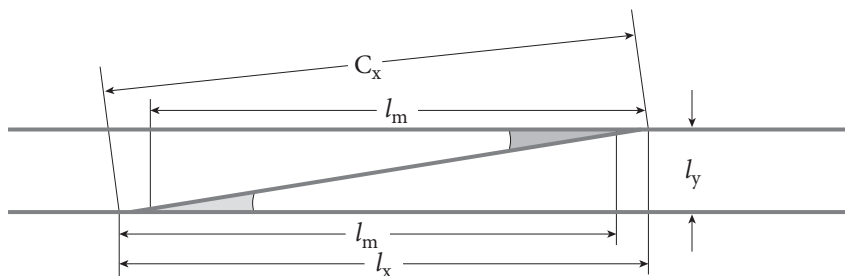


**Εικόνα 8.1ε:** Διμερείς ή μικτοί στρωτήρες

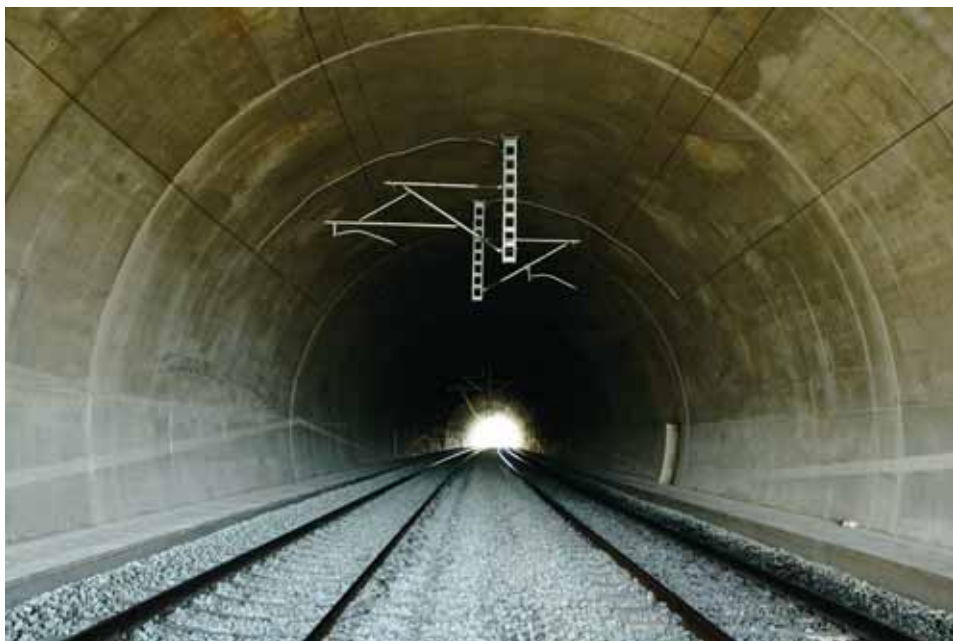


**Εικόνα 10.16:** Σύνδεση παραλλήλων γραμμών (Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)

Ο Πίνακας 10.4 σε συνδυασμό με το Σχήμα 10.23 δίνει τα απαιτούμενα μήκη σύνδεσης δύο παραλλήλων γραμμών.



**Σχήμα 10.23:** Περίπτωση απλής σύνδεσης παραλλήλων γραμμών

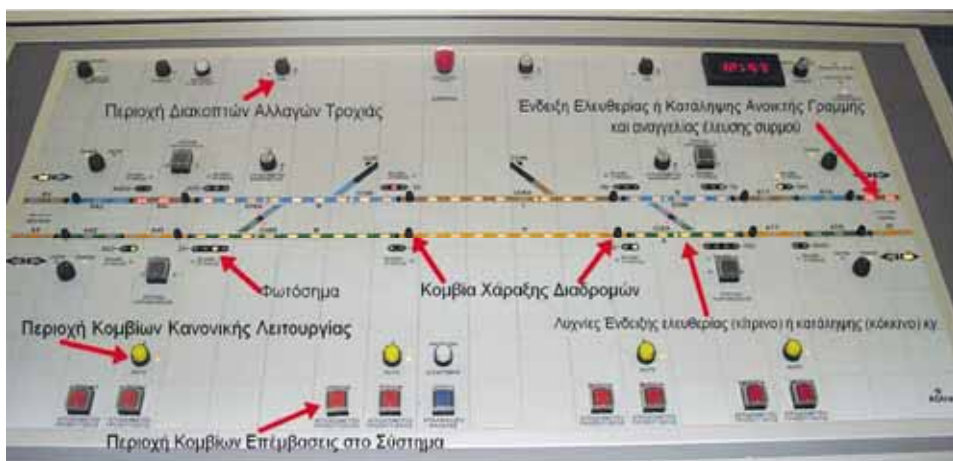


*Εικόνα 23.1: Σήραγγα διπλής γραμμής (Φωτ.: Αρτέμης Κλώνος)*



*Εικόνα 23.2: Σήραγγα μονής γραμμής<sup>[4]</sup>*





**Εικόνα 30.3:** Πίνακας (τράπεζα) χειρισμού και ενδείξεων<sup>[80]</sup>

ενδείξεις επισημαίνονται στον πίνακα τυχόν βλάβες ή ανωμαλίες του συστήματος σηματοδότησης.

Στον ίδιο πίνακα υπάρχουν και τα διάφορα πλήκτρα χειρισμού των απεικονιζόμενων στοιχείων της σηματοδότησης (φωτοσήματα, αλλαγές, κτλ) μέσω των οποίων ο σταθμάρχης πραγματοποιεί τους απαραίτητους χειρισμούς για τη χάραξη δρομολογίων.

Οι χειρισμοί εκτός από την τράπεζα χειρισμού μπορούν να γίνουν με οθόνες Η/Υ και πληκτρολόγια, ή ποντίκι.

### ➤ Διατάξεις και συσκευές λογικής επεξεργασίας

Διακρίνουμε δύο είδη συστημάτων Τα συστήματα ρελαί και τα ηλεκτρονικά συστήματα

### ➤ Καλωδιώσεις

Οι καλωδιώσεις της σηματοδότησης εξασφαλίζουν την ηλεκτρική τροφοδοσία και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων του σταθμού και εκείνων της ελεύθερης γραμμής, δηλαδή των τμημάτων αποκλεισμού, των ηλεκτροκίνητων αλλαγών, των φωτισμάτων, των πάσης φύσεως συσκευών εδάφους, των ερμαρίων ηλεκτρονόμων, κτλ.

Η τοποθέτησή τους γίνεται μέσα σε προκατασκευασμένα κανάλια, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη επίσκεψη για συντήρηση, αποκατάσταση βλάβης ή επέκταση. Σημειώνεται ότι το κόστος των καλωδιώσεων αποτελεί σημαντικό μέρος του προϋπολογισμού ενός συστήματος σηματοδότησης.

## 32.2 Σκοπιμότητα

Μια εγκατάσταση ισόπεδης διάβασης πρέπει να περιορίζει στο ελάχιστο δυνατό την πιθανότητα ατυχήματος στις περιοχές διασταύρωσης σιδηροδρομικών / οδικών οχημάτων και στις περιοχές διέλευσης πεζών ενώ συγχρόνως:

- Να εξασφαλίζεται η διέλευση των συρμών με την επιθυμητή ταχύτητα (επιτρεπόμενη ταχύτητα που καθορίζεται αποκλειστικά από τα γεωμετρικά δεδομένα της χάραξης και τα ελκτικά στοιχεία των συρμών)
- Να διατηρείται το κόστος συντήρησης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων και οι δαπάνες του προσωπικού φύλαξης σε αποδεκτά επίπεδα.

## 32.3 Προστασία ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων

Η προστασία μιας Ι.Σ.Δ. συνίσταται στο να πληροφορηθεί έγκαιρα ο χρήστης της οδού:

- Για την προσέγγισή του σε μια Ι.Σ.Δ.
- Για επικείμενη διέλευση ενός τρένου από την Ι.Σ.Δ.

Η πρώτη πληροφορία αφορά τη σήμανση της οδού και δίδεται:<sup>[181], [182]</sup>

- Μέσω ειδικών πινακίδων σήμανσης που προβλέπονται από τον Κ.Ο.Κ. και τοποθετούνται παράπλευρα επί της οδού. (Εικόνα 32.1) Χαρακτηριστικό σή-



Κίνδυνος λόγω άμεσης γειτονίας ισόπεδης διάβασης χωρίς κινητά δρύφακτα διπλής ή πολλαπλής σιδηροδρομικής γραμμής.



Κίνδυνος λόγω άμεσης γειτονίας ισόπεδης διάβασης χωρίς κινητά δρύφακτα μονής σιδηροδρομικής γραμμής.



Πρόσθετες επαναληπτικές πινακίδες στις προσβάσεις ισοπέδων σιδηροδρομικών διαβάσεων που δηλώνουν προσέγγιση σε αυτές.



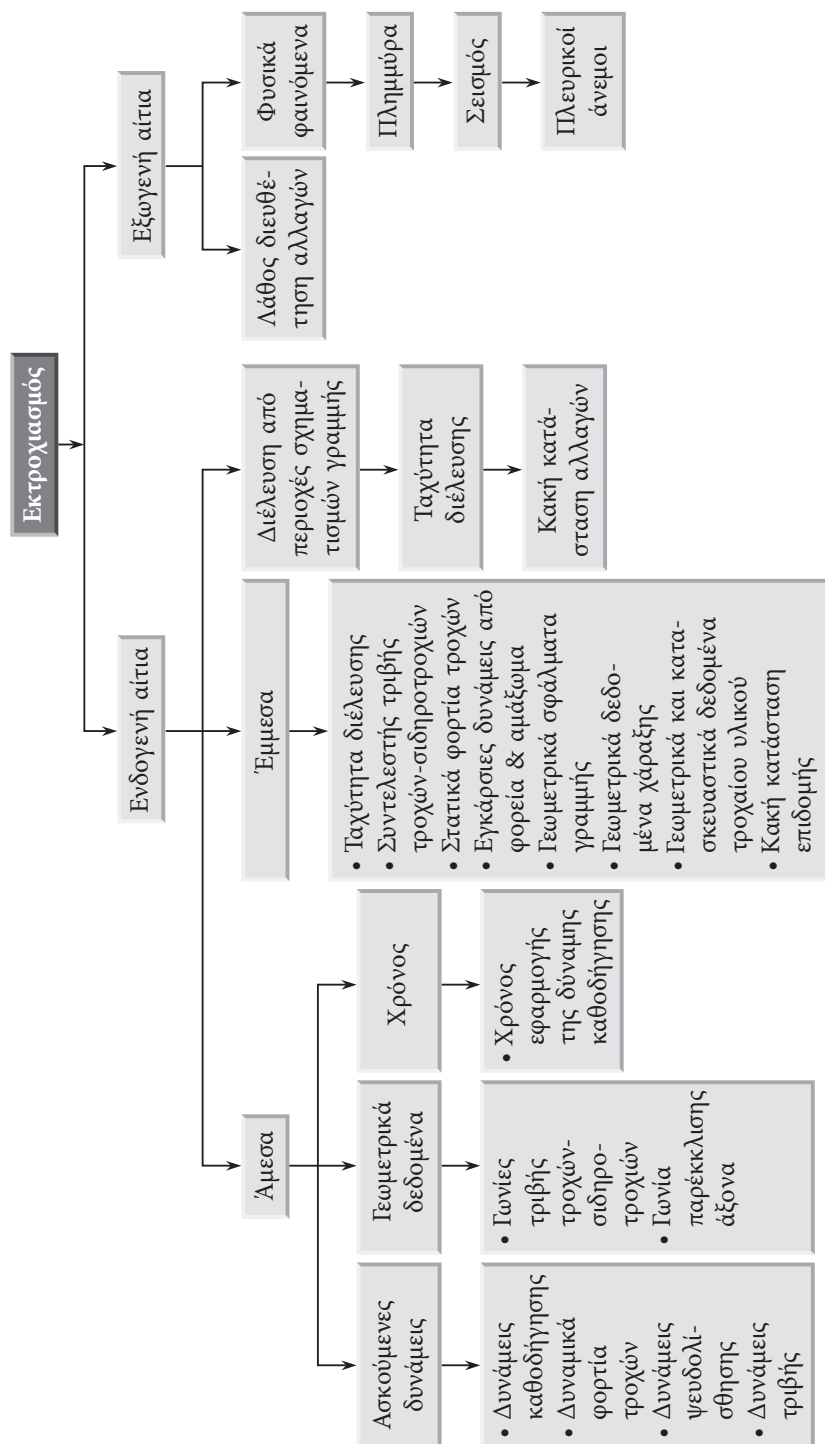
Κίνδυνος λόγω ισόπεδης σιδηροδρομικής διάβασης χωρίς κινητά δρύφακτα



Κίνδυνος λόγω ισόπεδης σιδηροδρομικής διάβασης με κινητά δρύφακτα

Εικόνα 32.1: Πινακίδες σήμανσης που προβλέπονται από τον ελληνικό Κ.Ο.Κ.<sup>[183]</sup>





Σχήμα 35.1: Αίτια εκτροχιασμού



ACELA - ΗΠΑ



X 2000-Σουηδία



Turbo-Train - ΗΠΑ



SM 3 - Φινλανδία



TALGO 350 - Ισπανία



ALARIS - Ισπανία (Φωτ.: Α. Κλώνος)

**Εικόνα 37.2:** Συρμοί με ανακλινόμενο αμάξωμα (Ενδεικτικά)

Στον Πίνακα 38.4 δίδονται τα βασικά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά συρμών υψηλών ταχυτήτων (χωρίς ανακλινόμενο αμάξωμα) που πρόκειται να κυκλοφορήσουν τα επόμενα χρόνια .

**Πίνακας 38.4:** Συρμοί υψηλών ταχυτήτων συμβατικής τεχνολογίας που πρόκειται να κυκλοφορήσουν τα επόμενα χρόνια

Ονομασία και τύπος συρμού	Εταιρεία εκμετάλλευσης	Κατασκευαστική ταχύτητα	Έτος δρομολόγησης	Εικόνα
ETR 1000 Zefiro	Trenitalia	400 km/h	2015	
KTX-III Hundai - Rotem	Korail	370 km/h	2015	
Σειρά H5 Shinkansen	JR Hokkaido	320 km/h	2016	
Σειρά W7 Shinkansen	JR West	275 km/h	2015	
Σειρά E7 Shinkansen	JR East	275 km/h	2014 (Μάρτιος)	
Eurostar e320 Velaro	Eurostar	320 km/h	2015	



Εικόνα 41.1: Streetcar



Εικόνα 41.2: Σύγχρονο τραμ  
(Φωτ.: Α. Κλώνος)

### 41.2.1 Με βάση την τυπολογία του διαδρόμου κυκλοφορίας

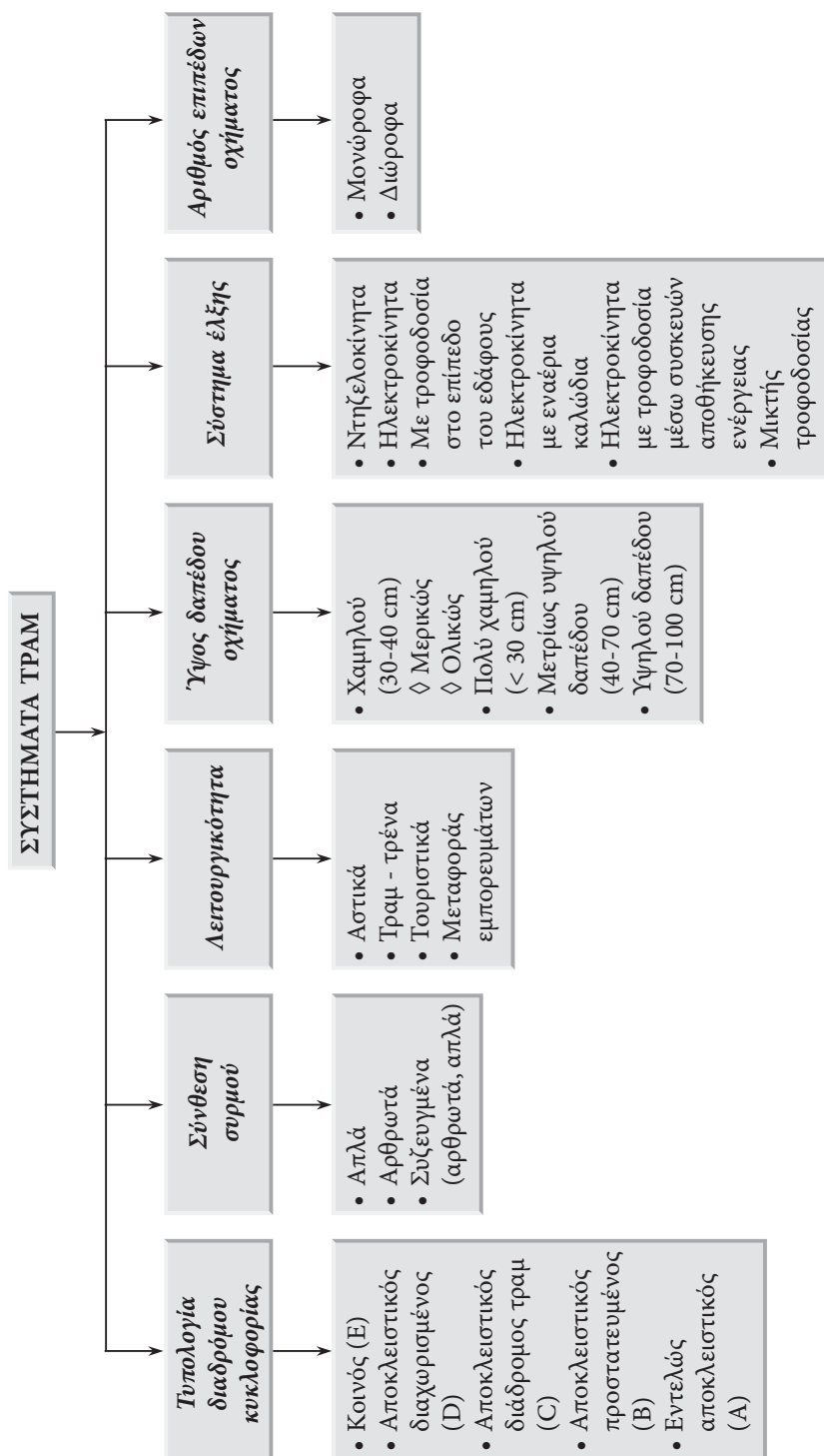
Το σύγχρονο τραμ μπορεί να κινηθεί σε πέντε διαφορετικούς τύπους διαδρόμων (E,D,C,B,A).<sup>[253], [254]</sup>

#### α) Κοινός διάδρομος (κατηγορία E)

Στην περίπτωση αυτή η κυκλοφορία των σιδηροδρομικών οχημάτων εμπλέκεται με την κυκλοφορία των οδικών οχημάτων και την κυκλοφορία των πεζών (Εικόνα 41.3).



Εικόνα 41.3: Κυκλοφορία τραμ σε «κοινό διάδρομο» (E) (Φωτ.: Α. Κλώνος)



**Σχήμα 41.1:** Ταξινόμηση των τραμ σε κατηγορίες με βάση τα διάφορα κατασκευαστικά και λειτουργικά τους χαρακτηριστικά

#### 47.4 Επιλογή και προμήθεια τροχαίου υλικού

Η προμήθεια του τροχαίου υλικού πρέπει να γίνεται ύστερα από μελέτη σε βάθος των αναγκών και γενικότερα του «περιβάλλοντος» του σιδηροδρομικού συστήματος.

Συγκεκριμένα η προμήθεια νέου τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού θα πρέπει να επιτρέπει στο διαχειριστή του συστήματος:<sup>[299]</sup>

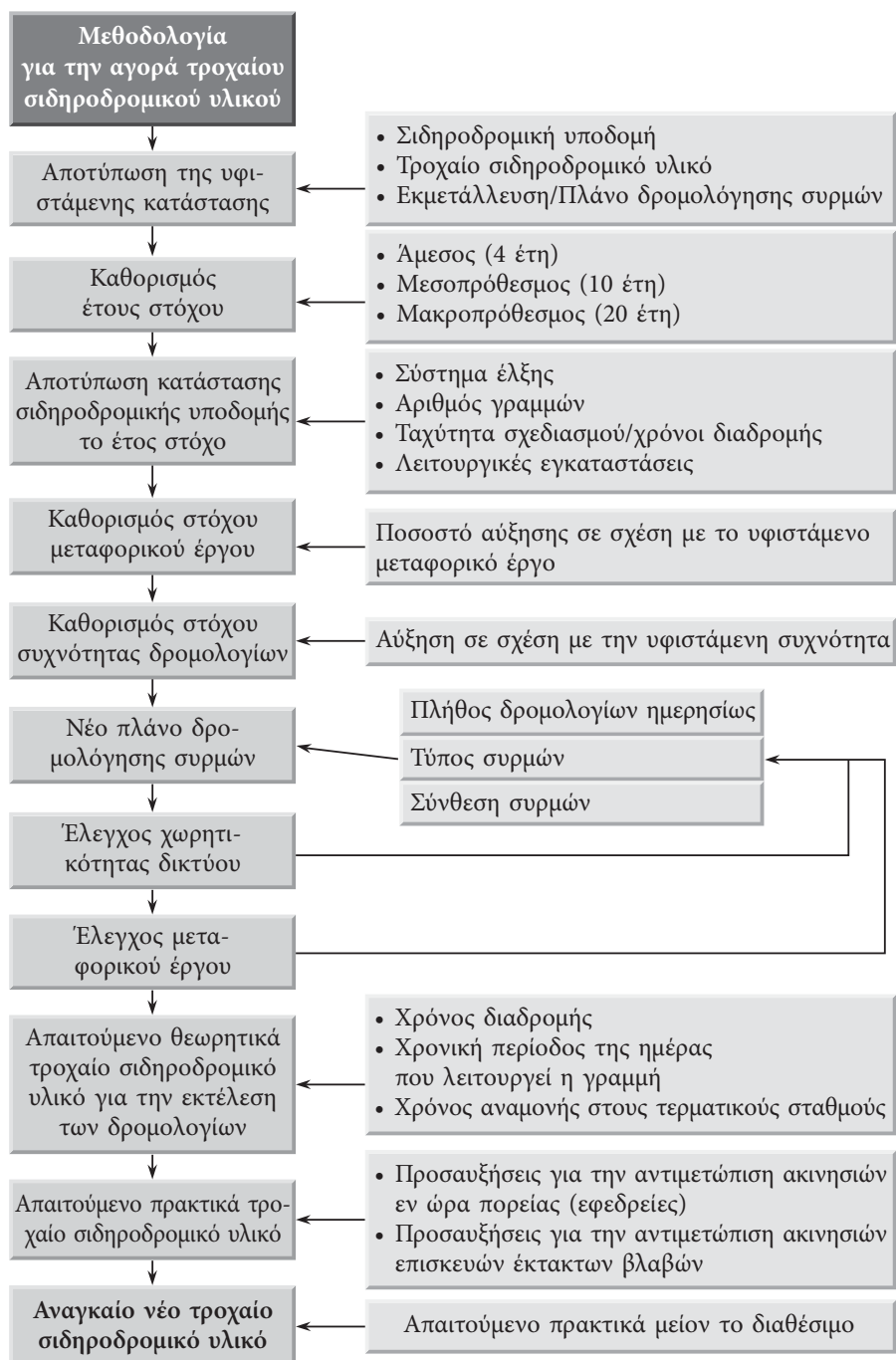
- Την ανανέωση του τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού.
- Την αύξηση της ποιότητας των παρεχόμενων επιβατικών σιδηροδρομικών υπηρεσιών και την ανταπόκριση σε τυχόν αύξηση του μεταφορικού του έργου.
- Την κάλυψη των τυχόν ελλείψεων σε τροχαίο σιδηροδρομικό υλικό και την αντικατάσταση του τροχαίου υλικού που παρουσιάζει τεχνικά προβλήματα των οποίων η επίλυση δεν μπορεί να γίνει με αποδεκτό οικονομικά τρόπο.
- Την εκμετάλλευση με τον καλύτερο δυνατό τρόπο των νέων δυνατοτήτων που θα προσφέρουν έργα υποδομής που έχουν περατωθεί ή πρόκειται να ολοκληρωθούν τα επόμενα χρόνια.
- Την αύξηση της ανταγωνιστικότητας του σιδηρόδρομου ως προς τα άλλα μέσα μεταφοράς (χερσαία, αεροπορικά) και τη διεκδίκηση ενός μεγαλύτερου μεριδίου στην αγορά των επιβατικών μεταφορών.
- Την ανταπόκριση στις ανάγκες διαλειτουργικότητας.
- Την αύξηση του επιπέδου ασφάλειας κίνησης συρμών.

Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό της διαδικασίας της προμήθειας είναι:

- Η ωφέλιμη ζωή του σιδηροδρομικού τροχαίου υλικού.
- Η εξέλιξη της κατάστασης της σιδηροδρομικής υποδομής.
- Το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Όσον αφορά τον πρώτο παράγοντα θεωρείται ότι η ωφέλιμη ζωή όλων των σιδηροδρομικών οχημάτων, σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική, είναι τα 30 με 35 έτη με τη βασική προϋπόθεση βέβαια ότι η συντήρηση και η επισκευή των οχημάτων γίνονται σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές. Ένα όχημα που ανακατασκευάζεται θεωρείται ότι έχει ωφέλιμη ζωή 15 έτη μετά την ημέρα ολοκλήρωσης της ανακατασκευής του.

Η σιδηροδρομική υποδομή αφορά τη σιδηροδρομική γραμμή, καθώς και το σύνολο των τεχνικών έργων και εγκαταστάσεων που εξασφαλίζουν την κυκλοφο-



**Σχήμα 47.1:** Μεθοδολογική προσέγγιση-Βήματα για τον υπολογισμό του απαιτούμενου να αγορασθεί τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού<sup>[299]</sup>



ρία των συρμών. Τα κατασκευαστικά δεδομένα όλων των παραπάνω ορίζουν την ταχύτητα σχεδιασμού της γραμμής, ενώ η κατάσταση της συντήρησης της γραμμής και άλλες προβλέψιμες και μη προβλέψιμες παράμετροι (εκτέλεση εργασιών συντήρησης, ισόπεδες διαβάσεις κλπ.) ορίζουν την επιτρεπόμενη ταχύτητα γραμμής. Στόχος γενικά του διαχειριστή της υποδομής είναι η επιτρεπόμενη ταχύτητα γραμμής να τείνει προς την ταχύτητα σχεδιασμού της γραμμής. Όσον αφορά το τροχαίο υλικό που κυκλοφορεί πάνω στη σιδηροδρομική υποδομή, η κατασκευαστική του ταχύτητα, εφόσον δεν προβλέπονται μέσα στη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του σημαντικές αναβαθμίσεις της υποδομής, πρέπει να είναι ίση με την ταχύτητα σχεδιασμού της γραμμής ή ελαφρά μεγαλύτερη.

Τα βήματα που προτείνεται να ακολουθούνται για τον υπολογισμό του απαιτούμενου να αγορασθεί τροχαίου σιδηροδρομικού υλικού παρουσιάζονται συνοπτικά στο οργανόγραμμα του Σχήματος 47.1.

Κάποιες από τις βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό της νέας δρομολόγησης είναι:

- η αξιοποίηση της σιδηροδρομικής υποδομής στο μέγιστο βαθμό,
- σε γραμμές που είναι σε όλο το μήκος τους ηλεκτροδοτούμενες, η δρομολόγηση αποκλειστικά ηλεκτροκίνητων συρμών,
- η χρήση της μετεπιβίβασης μόνο σε περίπτωση που η σύνδεση με τον τελικό προορισμό έχει το χαρακτήρα προαστιακής εξυπηρέτησης και άμεσης ανταπόκρισης.



**Πίνακας 50.3:** Ταξινόμηση αιτιών σιδηροδρομικών περιστατικών σε πρώτο, δεύτερο και τρίτο επίπεδο πηγής πρόκλησης<sup>[312]</sup>

α/α	Αίτια περιστατικών σε πρώτο επίπεδο	Αίτια περιστατικών σε δεύτερο επίπεδο
1	Σιδηροδρομική υποδομή	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αστοχίες στην επιδομή</li> <li>• Αστοχίες στο σύστημα έδραση/υπόβαση</li> <li>• Αστοχίες σε σήραγγες/γέφυρες</li> <li>• Αστοχίες στα χωματουργικά/έργα αντιστήριξης</li> <li>• Αστοχίες στις εγκαταστάσεις σηματοδότησης/ηλεκτροκίνησης/τηλεπικοινωνιών</li> <li>• Αστοχίες στις εγκαταστάσεις ισόπεδων διαβάσεων</li> <li>• Αστοχίες στις περιφράξεις</li> </ul>
2	Τροχαίο υλικό	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αστοχίες στο αμάξωμα/φορεία</li> <li>• Αστοχίες στους άξονες/τροχούς</li> <li>• Αστοχίες στις πόρτες/παράθυρα</li> <li>• Αστοχίες στο σύστημα πέδησης</li> <li>• Αστοχίες στον ηλεκτρονικό/ηλεκτρολογικό εξοπλισμό</li> <li>• Αστοχίες στο σύστημα ζεύξης/κρούσης</li> <li>• Αστοχία στον κινητήρα</li> </ul>
3	Εκμετάλλευση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Παραβίαση κανονισμών</li> <li>• Λάθος εφαρμογή κανονισμών (π.χ. παραβίαση ερυθρού σηματοδότη, παραβίαση ορίου ταχύτητας, λάθος ρύθμιση αλλαγών, λανθασμένη ραδιοεπικοινωνία, αποτυχημένη ραδιοεπικοινωνία, λάθος φόρτωση οχήματος, απότομη επιβράδυνση/επιτάχυνση συρμού)</li> <li>• Κακή κατάσταση σιδηροδρομικού υπαλλήλου από υπαιτιότητά του (π.χ. υπνηλία, μέθη)</li> </ul>
4	Αίτια εξωτερικά του σιδηροδρομικού συστήματος	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αδιαθεσία του σιδηροδρομικού υπαλλήλου</li> <li>• Απροσεξία του οδηγού του οδικού οχήματος</li> <li>• Αδυναμία του οδηγού του οχήματος λόγω μέθης ή ναρκωτικών</li> <li>• Κακή εκτίμηση του οδηγού του οδικού οχήματος λόγω καιρικών συνθηκών</li> <li>• Τρομοκρατική ενέργεια</li> <li>• Βανδαλισμοί</li> <li>• Δολιοφθορές</li> <li>• Απόπειρες αυτοκτονίας</li> <li>• Αυτοκτονίες</li> <li>• Φυσικά φαινόμενα (Σεισμός - Πλημμύρα - Ισχυροί άνεμοι - Χιονόπτωση - Παγετός - Ακραία καιρικά φαινόμενα)</li> </ul>

Αίτια περιστατικών σε τρίτο επίπεδο	
<b>Αστοχίες</b>	
στην επιδομή	Θραύση σιδηροτροχιών • Ελαττώματα σιδηροτροχιών (πλαγιοφθορές, κακή συγκόλληση) • Γεωμετρικά σφάλματα γραμμής • Θραύση στρωτήρων • Λάθος γεωμετρία γραμμής (Ανεπαρκής υπερύψωση γραμμής, μήκους παραβολικού τόξου) • Μαλακά σκύρα • Ανεπαρκές έρμα • Παγετός • Χαλάρωση, απουσία συνδέσμων • Κακή κατάσταση οργάνων γραμμής
στο σύστημα έδραση-υπόβαση	Λάσπωμα έρματος • Θραύση υποδομής
σε σήραγγες	Εγκάρσια παραμόρφωση • Εισροή υδάτων • Μειωμένο περιτύπωμα (γεωμετρική ανεπάρκεια) • Αεροδυναμική ανεπάρκεια • Κατασκευαστική αστοχία φορέα
σε γέφυρες	Κατασκευαστική αστοχία φορέα • Μετακινήσεις βάθρων • Προσχώσεις • Οξειδώσεις μεταλλικών στοιχείων • Υποσκαφή βάθρων
στα χωματουργικά έργα και στα έργα αντιστήριξης	Καθίζηση επιχωμάτων • Καταπτώσεις βράχων
στις εγκαταστάσεις σηματοδότησης	Καμένες λυχνίες • Καλωδιακές βλάβες • Βλάβες ηλεκτρονόμων • Βλάβες στις περιοχές των αλλαγών • Βλάβες στην τροφοδοσία • Βλάβες στα κυκλώματα γραμμής • Βλάβες στην τηλεδιοίκηση • Βλάβες οφειλόμενες στη θραύση σιδηροτροχιών • Λανθασμένη ένδειξη φωτισήματος • Διάφορα εξωτερικά αίτια
στις εγκαταστάσεις ηλεκτροκίνησης	Βλάβες μονωτήρων • Βλάβες στον εξοπλισμό των σταθμών • Βραχυκυκλώματα • Διακοπή ρεύματος • Διάφορα εξωτερικά αίτια
σε ισόπεδες διαβάσεις	Σπασμένα δρύφακτα • Βλάβη στο σύστημα αναγγελίας συρμών • Απουσία/έλλειψη οδικής σήμανσης • Έλλειψη επαρκούς φωτισμού
στο αμάξωμα	Θραύσεις/Παραμορφώσεις στο σκελετό του αμαξώματος • Σπασμένο ή κατεστραμμένο εμπορευματοκιβώτιο • Ρηγματώσεις σε βαγόνια μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων
στα φορεία	Θραύση πλαισίου φορείων • Θραύση ελατηρίων ανάρτησης • Κακός σχεδιασμός ανάρτησης
στους άξονες/τροχούς	Θραύση σώματος αξόνων • Υπερθέρμανση λιποκιβωτίων • Θραύση τροχών (επισώτρου, όνυχα) • Φθορές τροχών (όνυχα, επισώτρου)
στις πόρτες	Μη ορθή λειτουργία θυρών
στα παράθυρα	Θραύση υαλοπινάκων
στο σύστημα ζεύξης/κρούσης	Θραύση ζευκτών • Κακή ζεύξη
στον κινητήρα	Αστοχία στον κινητήρα
στον ηλεκτρονικό/ηλεκτρολογικό εξοπλισμό του οχήματος	Αστοχίες στο εξοπλισμό σηματοδότησης του συρμού εντός του συρμού • Αστοχίες στο εξοπλισμό ραδιο-επικοινωνίας εντός του συρμού
στο σύστημα πέδησης	Αστοχίες στο σύστημα πέδησης



**51**

## **Η Πολιτική της Ευρωπαϊκής Κοινότητας στον Τομέα των Σιδηροδρομικών Μεταφορών**

### **51.1 Οι Δράσεις για την Αναζωογόνηση του Σιδηροδρόμου**

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ο σιδηρόδρομος στην Ευρώπη παρουσίασε μια ανησυχητική μείωση του μεριδίου του μεταφορικού του έργου που συνοδεύτηκε από κακή οικονομική κατάσταση των σιδηροδρομικών οργανισμών (δανεισμός, ελλείμματα), στενή εξάρτηση από το δημόσιο προϋπολογισμό και προβληματικές διασυννοριακές υπηρεσίες.<sup>[321]</sup>

Σύμφωνα με τα αρμόδια για τη χάραξη της πολιτικής μεταφορών όργανα της ΕΕ, η λύση για την άρση του οικονομικού αδιεξόδου στο οποίο είχε περιέλθει ο σιδηρόδρομος ήταν ο «ανταγωνισμός». Για το σκοπό αυτό δαπανήθηκαν και δαπανώνται μεγάλα ποσά για την κατασκευή νέων σιδηροδρομικών υποδομών και σύγχρονου τροχαίου υλικού, εντάθηκε και ευοδώθηκε με επιτυχία η έρευνα για την αύξηση των ταχυτήτων, ενώ έγιναν σημαντικές προσπάθειες για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών σε επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές.

Παράλληλα όμως έπρεπε ο σιδηρόδρομος, διατηρώντας όλα τα εγγενή του πλεονεκτήματα (ασφάλεια, μεγάλη μεταφορική ικανότητα, φιλικότητα προς το περιβάλλον, κλπ.), να προσπαθήσει να λειτουργήσει με πιο ευέλικτες οργανωτικές δομές και να αρθεί το μονοπώλιο.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προχώρησε στην έκδοση μιας σειράς Οδηγιών, που είχαν ως απώτερο σκοπό την αναζωογόνηση του σιδηροδρομικού τομέα και την αύξηση της ανταγωνιστικότητάς του.

Η πρώτη προσπάθεια για τη σύνταξη νομοθεσίας για τους σιδηροδρόμους τοποθετείται στο 1991 με την υιοθέτηση από το Συμβούλιο των Υπουργών της Οδηγίας 91/440.

Η Οδηγία 91/440 σχετικά με την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων της Κοινότητας,

είναι το πρώτο βήμα του ανοίγματος των σιδηροδρομικών μεταφορών στον ανταγωνισμό. Η Οδηγία αυτή για πρώτη φορά εισήγαγε το δικαίωμα της ελεύθερης πρόσβασης στη σιδηροδρομική υποδομή για τους διεθνείς ομίλους σιδηροδρομικών επιχειρήσεων και για τις σιδηροδρομικές επιχειρήσεις που διενεργούσαν συνδυασμένες μεταφορές. Με εξαίρεση τον τομέα των συνδυασμένων μεταφορών το άνοιγμα της σιδηροδρομικής αγοράς ήταν περιορισμένο καθώς η Οδηγία παρείχε περισσότερα δικαιώματα διέλευσης (transit) και όχι δικαιώματα μιας γενικευμένης πρόσβασης στη σιδηροδρομική υποδομή. Οι διατάξεις της δεν κάλυπταν το cabotage (δηλαδή τη δυνατότητα μεταφοράς εμπορευμάτων στο εσωτερικό μιας χώρας από σιδηροδρομική επιχείρηση άλλης χώρας).

Οι διατάξεις της Οδηγίας επέβαλαν επίσης το λογιστικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων της υποδομής από τις δραστηριότητες της εκμετάλλευσης.

Ο διαχωρισμός αυτός αποσκοπούσε επιπλέον στο να προσελκύσει και άλλους σιδηροδρομικούς μεταφορείς και παράλληλα να δώσει ένα τέλος στη μεταφορά ενισχύσεων από τον τομέα των επιβατικών μεταφορών στον τομέα των εμπορευματικών μεταφορών.

Το 1995 η Επιτροπή εξέδωσε άλλες δύο Οδηγίες τις 95/18 και 95/19 προκειμένου να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για την ίδρυση νέων σιδηροδρομικών επιχειρήσεων και της πρόσβασης στην υποδομή των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων που είχαν τη σχετική άδεια.

Ακολουθεί η οδηγία 96/48/EK για τη διαλειτουργικότητα των σιδηροδρομικών δικτύων υψηλών ταχυτήτων, (βλέπε παράγραφο 51.3).

Το Φεβρουάριο του 2001 έγινε αποδεκτό από το Συμβούλιο της ΕΕ το πακέτο της Υποδομής (1<sup>ο</sup> σιδηροδρομικό πακέτο) το οποίο προέβλεπε την ελεύθερη πρόσβαση στην υποδομή μόνο για διεθνείς σιδηροδρομικές μεταφορές. Οι μεμονωμένοι μεταφορείς ήταν απαραίτητο να συνεργασθούν με την εθνική σιδηροδρομική επιχείρηση για τη σιδηροδρομική μεταφορά εμπορευμάτων στο εσωτερικό της χώρας και για το cabotage

Το 1<sup>ο</sup> σιδηροδρομικό πακέτο περιελάμβανε τις παρακάτω Οδηγίες:

### ➔ **2001/12**

Με εφαρμογή από τις 15/03/2003, η Οδηγία 2001/12:

- Προέβλεπε την επέκταση του δικαιώματος της ελεύθερης πρόσβασης στη σιδηροδρομική υποδομή για την πραγματοποίηση διεθνών εμπορευματικών μεταφορών, στο διευρωπαϊκό δίκτυο εμπορευματικών μεταφορών (TERFN).

- Επέβαλε τον πλήρη διαχωρισμό της διαχείρισης της υποδομής από τις λειτουργίες της εκμετάλλευσης και τη δημοσίευση χωριστών ισολογισμών.
- Καθόριζε τους ρόλους και τις αρμοδιότητες των διαφόρων σιδηροδρομικών φορέων που δημιουργούνταν από την εφαρμογή της Οδηγίας και συγκεκριμένα των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων, του διαχειριστή της σιδηροδρομικής υποδομής και του ρυθμιστικού φορέα.

### ⇒ 2001/13

Η Οδηγία 2001/13 προσδιόριζε το πλαίσιο για την έκδοση άδειας λειτουργίας σιδηροδρομικής επιχείρησης (οικονομικές προϋποθέσεις και προϋποθέσεις ασφάλειας).

### ⇒ 2001/14

Η Οδηγία 2001/14 έθετε τις προϋποθέσεις για την κατανομή των χωρητικότητων της υποδομής και τη σχετική διαχείρισή τους καθώς και τις δομές για τον υπολογισμό των τελών χρήσης της υποδομής.

Ακολούθησε η Οδηγία 2001/16 που καθόρισε τις βασικές αρχές που διέπουν τη διαλειτουργικότητα των σιδηροδρομικών δικτύων συμβατικών ταχυτήτων.

Το 2<sup>ο</sup> σιδηροδρομικό πακέτο (Οδηγίες 2004/51, 2004/50, 2004/49, Κανονισμός 881/2004) παρουσιάστηκε στο Συμβούλιο και το Κοινοβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις 23 Ιανουαρίου του 2002 και κατά κύριο λόγο αφορούσε στη δημιουργία μιας κοινοτικής δομής για θέματα ασφάλειας και διαλειτουργικότητας και τη δημιουργία ενός Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την ασφάλεια και τη διαλειτουργικότητα των σιδηροδρόμων. Προέβλεπε ευρύτερα δικαιώματα πρόσβασης στην υποδομή και περιελάμβανε τις εσωτερικές σιδηροδρομικές μεταφορές εμπορευμάτων καθώς και το cabotage.

Από το 2008 οι σιδηροδρομικές εμπορευματικές υπηρεσίες είναι πλέον ανοικτές σε όλο το Κοινοτικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο.

Το 3<sup>ο</sup> σιδηροδρομικό πακέτο αφορούσε:

- Το άνοιγμα της διεθνούς επιβατικής αγοράς στην ΕΕ.
- Τον Κανονισμό για τα δικαιώματα των επιβατών που εκτελούν διεθνείς μεταφορές.
- Την Οδηγία για το σύστημα πιστοποίησης των μηχανοδηγών.
- Τον Κανονισμό για τις υπηρεσίες σιδηροδρομικού φορτίου.



**52**

## Τεχνολογίες Αιχμής στο Σιδηρόδρομο

Με τον όρο τεχνολογία αιχμής νοείται η τεχνολογία η οποία:

- Είναι σχετικά πρόσφατη (εφαρμόζεται ή ερευνάται τα τελευταία 10-15 χρόνια)
- Είναι καινοτόμα
- Η εφαρμογή της βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό τις επιδόσεις του συστήματος
- Αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας και εφαρμογής.

Στον Πίνακα 52.1 δίδονται τεχνολογίες αιχμής που αφορούν όλα τα σιδηροδρομικά συστήματα. Για κάθε επιμέρους τεχνολογία δίδονται :

- Η ονομασία της
- Μια σύντομη περιγραφή της
- Το καθεστώς ανάπτυξής της (Στάδιο έρευνας ή σε χρήση, χρονολογία πρώτης εφαρμογής)
- Τα σιδηροδρομικά συστήματα στα οποία βρίσκει εφαρμογή
- Οι λόγοι ανάπτυξής της και οι τομείς που βελτιώνει
- Οι τεχνολογίες που αντικαθιστά ή αποτελεί εναλλακτική τους λύση.

**Πίνακας 52.1:** Τεχνολογίες αιχμής στα σιδηροδρομικά συστήματα μεταφοράς

Ονομασία τεχνολογίας	Σύντομη περιγραφή	Καθεστώς ανάπτυξης	Έτος πρώτης εφαρμογής	Σιδηροδρομικά συστήματα μεταφορών που εφαρμόζεται	Εναλλακτικές τεχνολογίες
Σύστημα APS <sup>[323]</sup>	Επίγεια τροφοδοσία συρμών με επαφή	Σε χρήση	2003	Τραμ	Τροφοδοσία με εναέρια καλώδια
Σύστημα Tram Wave <sup>[323]</sup>	Επίγεια τροφοδοσία συρμών με επαφή	Δοκιμαστική λειτουργία σε τμήμα γραμμής σε εκμετάλλευση	Νοέμβριος 2014	Τραμ	Τροφοδοσία με εναέρια καλώδια
Σύστημα Primove <sup>[323]</sup>	Επίγεια τροφοδοσία συρμών με επαγωγή	Ολοκλήρωση δοκιμαστικού σταδίου		Τραμ	Τροφοδοσία με εναέρια καλώδια
Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας	Τροφοδοσία συρμών με συσσωρευτές, υπερ – πυκνωτές ή σφονδύλους	Σε χρήση	2007	Αστικά συστήματα	Τροφοδοσία με εναέρια καλώδια
Έξυπνα παράθυρα <sup>[324]</sup>	Αυτόματη προσαρμογή των οπτικών και θερμικών ιδιοτήτων των υαλοπινάκων των παραθύρων ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες	Σε χρήση	2014	Όλα τα συστήματα	Συμβατικό γυαλί
Ανθρακονήματα	Κατασκευή μερών των οχημάτων από συνθετικά ελαφρύτερα υλικά	Σε χρήση	Δεκαετία '90	Όλα τα συστήματα	Συμβατικά υλικά (πχ ατσάλι, αλουμίνιο)
Υαλονήματα	Κατασκευή μερών των οχημάτων από συνθετικά ελαφρύτερα υλικά	Σε δοκιμαστικό στάδιο	–	Όλα τα συστήματα	Συμβατικά υλικά

Ονομασία τεχνολογίας	Σύντομη περιγραφή	Καθεστώς ανάπτυξης	Έτος πρώτης εφαρμογής	Σιδηροδρομικά συστήματα μεταφορών που εφαρμόζεται	Εναλλακτικές τεχνολογίες
Σύστημα LRC (Laser Railhead Cleaner) <sup>[325]</sup>	Λείζερ για τον καθαρισμό των σιδηροτροχιών από τα πεσμένα φύλλα	Σε δοκιμαστικό στάδιο	-	Όλα τα συστήματα	Εκτόξευση νερού υπό πίεση. Εκτόξευση μίγματος άμμου και τζελ (sandite)
Τρένα υδρογόνου	Όλες οι μορφές σιδηροδρομικών οχημάτων, οι οποίες χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας για την κίνησή τους το υδρογόνο.	Ολοκλήρωση κατασκευής διαφόρων πρωτοτύπων	2015	Όλα τα συστήματα	Φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας
Τεχνικές οδήγησης συρμών που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας	Συστήματα λήψης απόφασης για τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη λειτουργία των σιδηροδρομικών συστημάτων	Σε χρήση – Περαιτέρω ανάπτυξη		Όλα τα συστήματα	