

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΥΡΜΟΥ ΣΤΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ



ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή Κ. Λυμπέρη, για τις πολύτιμες συμβουλές του, καθώς και τον κ. Γ. Ζαρταλούδη για την σημαντική βοήθεια που μου παρείχε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και την οικογένειά μου, και ιδιαίτερα τη Γίτσα, για την συμπαράσταση και την υποστήριξή τους καθόλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, την εργασία αυτή αφιερώνω στους συντρόφους μου και στο σχήμα της ΕΑΑΚ, Ανεξάρτητη Αριστερή Παρέμβαση.

ΣΥΝΟΨΗ

Τίτλος: Διερεύνηση της επιρροής των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στη χωρητικότητα της γραμμής

Όνομα: Μανδηλαρά Ευσταθία

Επιβλέπων: Λυμπέρης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνησης της επιρροής των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στη χωρητικότητα της γραμμής. Για τον σκοπό αυτόν αναλύθηκε ο εξοπλισμός και η λογική λειτουργίας των συστημάτων PZB, LZB και ETCS καθώς και ο ορισμός και η μεθοδολογία υπολογισμού της χωρητικότητας της γραμμής. Επιπλέον, για την ποσοτικοποίηση της επιρροής των προαναφερθέντων συστημάτων στη χωρητικότητα της γραμμής έγινε χρήση το μοντέλου χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού. Για την σύγκριση αυτής της επιρροής, έγινε αναλυτικός υπολογισμός της ελάχιστης χρονοαπόστασης ανά σύστημα, στα πλαίσια εφαρμογής.

Λέξεις κλειδιά: Χωρητικότητα , PZB, LZB, ETCS, σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού, ελάχιστη χρονοαπόσταση, χρόνος κατάληψης, τμήμα αποκλεισμού

ABSTRACT

Title: Research on the influence of automatic train control systems on line capacity

Name: Mandilara Efstathia

Supervisor: Lympiris Konstantinos, Assistant Professor

The aim of the present diploma thesis is to determine the influence of automatic train control systems on line capacity. For this purpose, the equipment and the logic of operation of the PZB, LZB and ETCS systems were analyzed, as well as the definition and the method of calculation of line capacity. In addition, in order to quantify the influence of the above systems on line capacity, the blocking-time model has been used. For the comparison of this influence, an analytical calculation of the minimum headway for each system has been made.

Keywords: Capacity, PZB, LZB, ETCS, Automatic train control system, minimum headway, occupation time, block section

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	vi
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	vii
Κατάλογος Εικόνων	ix
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Διαγραμμάτων	x
Κατάλογος Πινάκων	xi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Η σημασία της ασφάλειας και του ελέγχου της κυκλοφορίας στον σιδηρόδρομο	1
1.2 Συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμών	1
1.2.1 Ιστορική εξέλιξη.....	1
1.2.2 Υφιστάμενη κατάσταση και μελλοντικά σχέδια.....	3
1.3 Ο σκοπός της παρούσας εργασίας	10
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΡΖΒ 90	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Περιγραφή εξοπλισμού	11
2.2.1 Υποσύστημα γραμμής	11
2.2.2 Υποσύστημα οχήματος.....	12
2.2.3 Μαγνήτης 1000 Hz.....	13
2.2.4 Μαγνήτης 500 Hz.....	14
2.2.5 Μαγνήτης 2000 Hz.....	15
2.2.6 Διεπαφή συστήματος μηχανοδηγού.....	16
2.3 Λογική Λειτουργίας.....	16
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΛΖΒ	21
3.1 Γενικά	21
3.2 Δομή του συστήματος.....	22
3.2.1 Υποσύστημα γραμμής	22

3.2.2 Υποσύστημα οχήματος	26
3.2.3 Δομή επικοινωνίας υποσυστημάτων γραμμής – οχήματος.....	29
3.3 Λογική Λειτουργίας.....	30
4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ETCS	35
4.1 Γενικά	35
4.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος ETCS.....	36
4.2.1 ETCS εξοπλισμός γραμμής.....	36
4.2.2 ETCS εξοπλισμός οχήματος	39
4.2.3 Υποστηρικτικός εξοπλισμός.....	44
4.3 Η συμπεριφορά του συστήματος	46
4.3.1 Επίπεδα Εφαρμογής	47
4.3.2 Καταστάσεις Λειτουργίας.....	51
4.3.3 Λειτουργίες προστασίας.....	57
5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	67
5.1 Γενικά	67
5.1.1 Ορισμός	67
5.1.2 Παράμετροι επιρροής της χωρητικότητας της γραμμής.....	68
5.1.3 Σκοπιμότητα γνώσης της χωρητικότητας της γραμμής.....	69
5.2 Υπολογισμός της χωρητικότητας γραμμής	70
5.2.1 Μέθοδος UIC - οδηγία 405 I	71
5.3 Προσδιορισμός χωρητικότητας – μέθοδος UIC, οδηγία 406	72
5.3.1 Βασικοί παράμετροι που διέπουν την χωρητικότητα.....	72
5.3.2 Διαφορετικές όψεις της χωρητικότητας	77
5.3.3 Χωρητικότητα – σχετικοί περιορισμοί	78
5.3.4 Ορισμοί.....	79
5.3.5 Υπολογισμός της κατανάλωσης της χωρητικότητας	81
5.3.6 Χρονικά τμήματα	85
5.3.7 Μέθοδος υπολογισμού	88
5.3.8 Κορεσμός υποδομής.....	90
5.3.9 Ανάλυση εφαρμογής	90
5.4 Βελτίωση χωρητικότητας.....	93

5.4.1 Μέτρα βελτίωσης της χωρητικότητας.....	93
5.4.2 Μέτρα περιορισμού των καθυστερήσεων.....	98
6 ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΥΡΜΟΥ ΣΤΗΝ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	99
6.1 Γενικά	99
6.2 Μοντέλο χρόνου κατάληψης.....	99
6.2.1 Προσαρμογή μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα PZB 90	101
6.2.2 Προσαρμογή μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα LZB.....	103
6.2.3 Προσαρμογή μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα ETCS.....	103
6.2.4 Συνοπτική παρουσίαση χρόνων κατάληψης.....	111
6.3 Ελάχιστη χρονοαπόσταση.....	112
6.3.1 Καμπύλες πέδησης.....	114
6.3.2 Χρόνος διαδοχής σε γραμμή με ταυτόχρονη κυκλοφορία συρμών με σημειακό και γραμμικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας.....	120
7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΧΡΟΝΟΑΠΟΣΤΑΣΗΣ	123
7.1 Περιγραφή διάταξης.....	123
7.2 Υπόθεση 1: Η γραμμή είναι εξοπλισμένη τόσο με σύστημα PZB όσο και με ETCS επίπεδο 1.	123
7.2.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπόθεσης 1	125
7.3 Υπόθεση 2: Η γραμμή είναι εξοπλισμένη τόσο με σύστημα LZB όσο και με ETCS επίπεδο 2.	126
7.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπόθεσης 2	127
7.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίων 1 και 2.	128
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	129
8.1 Συμπεράσματα.....	129
8.2 Προτάσεις για περεταίρω έρευνα	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
Παράρτημα Ι.....	
Ι.1 Υπόθεση εφαρμογής 1.....	ι
Ι.2 Υπόθεση εφαρμογής 2.....	vi

Παράρτημα II.....	
II.1 Υπολογισμός καμπύλης πέδησης στο σύστημα LZB.....	i
II.2 Υπολογισμός καμπύλης πέδησης στο σύστημα ETCS.....	ii
Παράρτημα III.....	
III.1 Σύγκριση αντίδρασης συστημάτων PZB 90 και ETCS επίπεδο 1	i

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνησης και η ποσοτικοποίηση της επιρροής των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στη χωρητικότητα της γραμμής.

Αρχικά, στο εισαγωγικό κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας και της λογικής λειτουργίας των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού. Επίσης παρουσιάζονται τα συστήματα ελέγχου που έχουν αναπτυχθεί σε εθνικό επίπεδο, στις χώρες της Ευρώπης καθώς και το μελλοντικό σχέδιο σταδιακής αντικατάστασής τους από το διευρωπαϊκό σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας ERTMS.

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν το σημειακό σύστημα επαγωγικής επιρροής συρμού PZB (Κεφάλαιο 2) και το γραμμικό σύστημα LZB (Κεφάλαιο 3), των Γερμανικών Σιδηροδρόμων και αναλύθηκαν ως προς τον εξοπλισμό και την λογική λειτουργίας τους. Επίσης αναλύθηκε το διευρωπαϊκό σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας ERTMS και ειδικότερα το υποσύστημα αυτού ETCS ως προς τον εξοπλισμό, τα επίπεδα εφαρμογής και τις καταστάσεις λειτουργίας του (Κεφάλαιο 4).

Το Κεφάλαιο 5 αφορά στην διερεύνηση του ορισμού και στη μεθοδολογία υπολογισμού της χωρητικότητας της γραμμής. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η προτεινόμενη από την UIC μεθοδολογία υπολογισμού της χωρητικότητας της γραμμής (οδηγία UIC 406).

Για την ποσοτικοποίηση της επιρροής των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στην χωρητικότητα της γραμμής έγινε προσαρμογή του μοντέλου χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού στα συστήματα που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (Κεφάλαιο 6). Με βάση το μοντέλο αυτό υπολογίστηκε, στα πλαίσια της εφαρμογής του κεφαλαίου 7, η ελάχιστη χρονοαπόσταση για το κάθε σύστημα με σκοπό την σύγκρισή τους.

Τέλος, τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και κάποιες προτάσεις για περεταίρω έρευνα, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 8.

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

$\bar{r}$	Μέσο περιθώριο άνεσης
$\bar{z}$	Μέση ελάχιστη χρονοαπόσταση
ATP	Αυτόματο σύστημα ελέγχου συρμού (Automatic train protection)
b	Επιβράδυνση
BRA	Είδος συρμού ανάλογα με τα εκατοστά πέδησης (Bremsart)
BRH	Εκατοστά πέδησης (Bremshunderstel)
C	Χωρητικότητα
DB	Deutsche Bahn
DMI	Διεπαγή μηχανοδηγού - συστήματος (Driver Machine Interface)
DP	Σημείο κινδύνου (Danger Point)
EBI	Όριο της πέδης έκτακτης ανάγκης (Emergency break intervention limit)
EDB	Καμπύλη πέδης έκτακτης ανάγκης (emergency brake deceleration)
EMU	Electric multiple units
EOA	Τέλος της άδειας πορείας (End of Authority)
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
EVC	Υπολογιστικός πυρήνας ETCS (European Vital Computer)
FS	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Πλήρης Επίβλεψη (Full Supervision)
GSM-R	Global System for Mobile communication –Railways
I	Θέση ένδειξης (Indikation)
Indusi	Επαγωγική επιρροή συρμού (Induktive Zugsicherung)
IP	Σημείο αναγνώρισης για την έναρξη της πέδησης στο σύστημα ETCS (indication point)
IS	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Απομόνωση (Isolation)
JRU	Μονάδα καταγραφής (Juridical Recorder Unit)
k	Συνολικός χρόνος κατανάλωσης [min]
K	Κατανάλωση χωρητικότητας [%]
LEU	Πλευρική ηλεκτρονική μονάδα (Lineside Electronic Unit)
LZB	Γραμμικό σύστημα επιρροής συρμού (Linienzugbeeinflussung)
MA	Άδειας πορείας (Movement Authority)
MFA	Modulares Führerraumanzeigegerät/ οθόνη LZB
NL	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Non-Leading
NP	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Έλλειψη ισχύος (No Power)
OL	Τμήμα προστασίας (Overlap)
OS	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Πορεία εν όψει (On-Sight)
P	Όριο επιτρεπόμενης ταχύτητας (Permitted speed limit)
PT	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Επιβεβαίωση Διαδρομής (Post-Trip)
PZB	Σημειακό σύστημα επιρροής συρμού (Punktförmige Zugbeeinflussung)

R+Mg	R (Rapid Bremsstellung) +Mg (Magnetischebremse): γρήγορη και πολύ ισχυρή Πέδηση
RBC	Radio Block Centre
RV	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Όπισθεν(Reversing)
s	Απόσταση από την έναρξη της ζώνης 100 m
SB	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Σε ετοιμότητα (Standby)
SBI	Όριο αυτόματης ενεργοποίησης πέδησης
SE	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Ευρωπαϊκό STM (STM European)
SF	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Αστοχία συστήματος (System Failure)
SH	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Ελιγμός(Shunting)
SL	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Sleeping
SN	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Εθνικό STM(STM National)
SR	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Ευθύνη Μηχανοδηγού(Staff Responsible)
STM	Μονάδα λειτουργίας στα εθνικά συστήματα ελέγχου (Specific Transmission Module)
SvL	Θέση επίβλεψης (Supervised Location)
T	Χρονικό διάστημα παρατήρησης
TIU	Μονάδας διεπαφής συστήματος ETCS (Train Interface Unit)
TR	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Διαδρομή (Trip)
t _{tt}	Χρόνος διαδρομής δρομολογίου
U	Επιλεγμένο χρονικό διάστημα [min]
UIC	Διεθνής Ένωση Σιδηροδρόμων (Union Internationale des Chemins de fer)
UN	Κατάσταση λειτουργίας ETCS Unfitted
v-ist	Υφιστάμενη ταχύτητα συρμού LZB
v-soll	Οφειλόμενη ταχύτητα συρμού LZB
Vü1	Κανονική ταχύτητα ελέγχου PZB 90
Vü2	Οριακή ταχύτητα ελέγχου PZB 90
Vum	Ταχύτητα αλλαγής ελέγχου PZB 90 (Umschaltgeschwindigkeit)
v-ziel	Ταχύτητα στόχος LZB
W	Προειδοποίηση (Warning)
XG	Ονομαστική απόσταση στάθμευσης
ZL	Μήκος συρμού (Zuglänge)
λ	Εκατοστά πέδησης

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 PZB μαγνήτης γραμμής.....	11
Εικόνα 2.2 PZB μαγνήτης οχήματος	13
Εικόνα 2.3 PZB φωτεινός πίνακας και ταχύμετρο.....	16
Εικόνα 3.1 LZB καλώδιο.....	23
Εικόνα 3.2 Συσκευή MFA.....	24
Εικόνα 4.1 Eurobalise	37
Εικόνα 4.2 Passable plate	45
Εικόνα 4.3 Block Marker- Shunt Entry Board	45

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ανομοιογένεια συστημάτων κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη	6
Σχήμα 1.2 ERTMS σε παγκόσμια κλίμακα	8
Σχήμα 1.3 Σχέδιο ανάπτυξης του ERTMS στην Ευρώπη έως το 2020	9
Σχήμα 2.1 Λειτουργία επαγωγής μεταξύ μαγνήτη γραμμής και μαγνήτη οχήματος.....	12
Σχήμα 2.2 Θέσεις μαγνητών γραμμής.....	12
Σχήμα 2.3 Αρχές δομής PZB.....	18
Σχήμα 3.1 LZB υποσύστημα γραμμής	22
Σχήμα 3.2 LZB περιοχές καλωδίου	22
Σχήμα 3.3 LZB περιοχές καλωδίου	23
Σχήμα 3.4 α. Πινακίδα περιοχής ελέγχου LZB.....	24
Σχήμα 3.5 Τμήματα αποκλεισμού LZB α. σε σταθμό β. στην γραμμή	25
Σχήμα 3.6 LZB υποσύστημα οχήματος	26
Σχήμα 3.7 Συσκευή MFA.....	27
Σχήμα 3.8 Συσκευή MFD.....	28
Σχήμα 3.9 Εισαγωγή δεδομένων συρμού	28
Σχήμα 3.10 Λογική λειτουργίας LZB	31
Σχήμα 3.11 Καμπύλη πέδησης LZB	32
Σχήμα 4.1 ETCS εξοπλισμός οχήματος	40
Σχήμα 4.2 Οθόνη DMI.....	42
Σχήμα 4.3 Επίπεδο εφαρμογής 1 (βασική διάταξη).....	48
Σχήμα 4.4 Επίπεδο εφαρμογής 1 με infill balise group	49
Σχήμα 4.5 Επίπεδο εφαρμογής 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση	50
Σχήμα 4.6 Max/min safe front/rear end.....	58
Σχήμα 4.7 Χαρακτηριστικές θέσεις άδειας πορείας	59
Σχήμα 4.8 Υπολογισθείσα θέση ΕΟΑ.....	60
Σχήμα 5.1 Διαίρεση γραμμής σε τμήματα	79
Σχήμα 5.2 Ορισμοί.....	81
Σχήμα 5.3 α. Δρομολόγιο πριν την συμπίεση	83
Σχήμα 5.4 Δρομολόγιο με υπέρβαση- διαδικασία συμπίεσης	85
Σχήμα 5.5 Χρόνος κατάληψης τμήματος αποκλεισμού	86
Σχήμα 5.6 Παραδείγματα χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού	87
Σχήμα 5.7 Ορισμός κατανάλωσης χωρητικότητας.....	88
Σχήμα 5.8 Ομαδοποίηση ταχύτητας/ κατεύθυνσης για την βελτίωση του δρομολογίου.....	94

Σχήμα 5.9 Επιρροή της μείωσης του μήκους του τμήματος αποκλεισμού στον χρόνο διέλευσης	96
Σχήμα 5.10 Βελτίωση της χωρητικότητας τροποποιώντας την διάταξη της γραμμής.....	97
Σχήμα 5.11 Περιορισμός μετάδοσης καθυστερήσεων μέσω εξισορρόπησης της διαφοράς ταχύτητας.....	98
Σχήμα 6.1 Μοντέλο χρόνου κατάληψης	101
Σχήμα 6.2 Αντίδραση του συστήματος PZB 90.....	103
Σχήμα 6.3 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1	106
Σχήμα 6.4 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1 – θέση Balise group.....	106
Σχήμα 6.5 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 2	109
Σχήμα 6.6 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1 – σημείο αναγνώρισης IP	110
Σχήμα 6.7 Ζώνη χρόνου κατάληψης ETCS επίπεδο 3.....	111
Σχήμα 6.8 Ελάχιστος χρόνος διαδοχής z_{ij}	114
Σχήμα 6.9 Ελάχιστη χρονοαπόσταση σε σύστημα σηματοδότησης με σταθερά τμήματα	114
Σχήμα 6.10 Ελάχιστη χρονοαπόσταση σε σύστημα σηματοδότησης με κινούμενο τμήμα	115
Σχήμα 6.11 Συμβολή της καμπύλης πέδησης ETCS στην απόσταση διαδοχής.....	120
Σχήμα 6.12 Γραφική απεικόνιση χρόνων κατάληψης σε γραμμή εξοπλισμένη με σημειακό και γραμμικό σύστημα επιρροής συρμού	121
Σχήμα 6.13 Διαδοχή συρμών ελεγχόμενων από γραμμικό και σημειακό σύστημα επιρροής συρμού	121
Σχήμα 7.1 Διάταξη εξοπλισμού γραμμής - σενάριο 1	124
Σχήμα 7.2 Διάταξη εξοπλισμού γραμμής - σενάριο 2	126

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1 Συστήματα κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη- μήκος εξοπλισμένης γραμμής/ πλήθος εξοπλισμένων συρμών	5
Διάγραμμα 1.2 ERTMS στην Ευρώπη σε χιλιόμετρα εξοπλισμένης γραμμής	7
Διάγραμμα 1.3 ERTMS στην Ευρώπη σε πλήθος εξοπλισμένων συρμών	7
Διάγραμμα 2.1 Καμπύλες παρακολούθησης ταχύτητας από τον μαγνήτη 1000Hz για είδη συρμού O,M,U	14
Διάγραμμα 2.2 Καμπύλες παρακολούθησης ταχύτητας από τον μαγνήτη 500Hz για είδη συρμού α) O, β) M, U.....	15
Διάγραμμα 4.1 Προφίλ πέδησης σε μικρότερη ταχύτητα στόχο.....	63
Διάγραμμα 4.2 Προφίλ πέδησης σε ΕΟΑ.....	64
Διάγραμμα 5.1 Capacity balance	73
Διάγραμμα 5.2 Ελάχιστη χρονοαπόσταση συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού	74
Διάγραμμα 5.3 Σχέση ακρίβειας δρομολογίου- κατανάλωσης χωρητικότητας.....	75
Διάγραμμα 5.4 Χωρητικότητα γραμμής με ομοιογενή κυκλοφορία	76
Διάγραμμα 5.5 Χωρητικότητα γραμμής με μικτή κυκλοφορία	77
Διάγραμμα 6.1 Περιορισμοί ταχύτητας PZB 90.....	115
Διάγραμμα 6.2 Παράδειγμα: Οφειλόμενη ταχύτητα και ταχύτητα παρακολούθησης LZB	117
Διάγραμμα 6.3 Καμπύλη EBD και όρια επίβλεψης.....	118
Διάγραμμα 6.4 Πέδηση σε συμβατική πλευρική σηματοδότηση– συρμός με μικρότερη απόδοση πέδησης	119
Διάγραμμα 6.5 Καμπύλη πέδησης σε συμβατική πλευρική σηματοδότηση	119

Διάγραμμα 6.6 Πέδηση σε σηματοδότηση καμπίνας οδήγησης	120
---	-----

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη	3
Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ελέγχου PZB 90	15
Πίνακας 4.1 Επίβλεψη και προστασία ανά κατάσταση λειτουργίας ETCS	52
Πίνακας 5.1 Βασικές μέθοδοι προσδιορισμού χωρητικότητας	70
Πίνακας 5.2 Η χωρητικότητα από διαφορετική οπτική γωνία.....	77
Πίνακας 5.3 Τυπικές τιμές κατανάλωσης χωρητικότητας.....	92
Πίνακας 6.1 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 1	108
Πίνακας 6.2 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 2	110
Πίνακας 6.3 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 3	112
Πίνακας 6.4 Συνοπτική παρουσίαση χρόνων κατάληψης	112
Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα σεναρίου 1.....	124
Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα σεναρίου 2.....	127
Πίνακας 7.3 Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων εφαρμογής	128

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η σημασία της ασφάλειας και του ελέγχου της κυκλοφορίας στον σιδηρόδρομο

Ο σιδηρόδρομος αποτελεί σήμερα ένα από τα ασφαλέστερα μέσα μεταφοράς που έχει επιτύχει πολλά τόσο στην προσφορά υπηρεσιών μετακίνησης υψηλών ταχυτήτων όσο και στην λειτουργία με σεβασμό προς το περιβάλλον.

Η ασφάλεια και ο έλεγχος κυκλοφορίας αποτελούν ζητήματα υψηλής σημασίας για τον σιδηρόδρομο και για την εξασφάλιση υπηρεσιών υψηλού επιπέδου. Οι μεγάλες ταχύτητες και το μεγάλο βάρος των συρμών απαιτούν μεγάλες αποστάσεις πέδησης, συχνά μεγαλύτερες από την απόσταση ορατότητας του μηχανοδηγού. Αυτό καθιστά την ύπαρξη συστήματος ελέγχου και σηματοδότησης απαραίτητο για την διαχείριση της κυκλοφορίας και την αποφυγή ατυχημάτων όπως συγκρούσεις συρμών ή εκτροχιασμούς. Επίσης η αύξηση των ταχυτήτων και οι απαιτήσεις για αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του σιδηροδρομικού δικτύου, ώστε να γίνει το μέσο πιο ανταγωνιστικό, καθιστούν την διαχείριση της κυκλοφορίας ακόμα πιο επιτακτική.

Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται, ανάλογα με τις ανάγκες, συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμών.

1.2 Συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμών

1.2.1 Ιστορική εξέλιξη

Αρχικά τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμών είχαν ως λειτουργία την επίβλεψη της κυκλοφορίας και την άμεση επέμβαση σε περιπτώσεις που διαπιστώνονταν αποκλείσεις από το προκαθορισμένο δρομολόγιο ή παράβαση κανόνων της κυκλοφορίας.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα συστήματα αυτά, συνέβαλαν και στην καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου και την αύξηση της χωρητικότητας της γραμμής, μέσω διορθωτικών επεμβάσεων σε περίπτωση καθυστερήσεων ή τοπικών λειτουργικών ανωμαλιών. Κύρια όμως λειτουργία τους παρέμεινε η εξασφάλιση της ασφαλούς κυκλοφορίας των συρμών.

Τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού μπορούν να διακριθούν σε συστήματα που λειτουργούν με βάση:

- την κυκλοφορία συρμών με σταθερό χωρικό διαχωρισμό: η γραμμή διαιρείται σε περισσότερα τμήματα ορισμένου μήκους, τα τμήματα αποκλεισμού (block), στο καθένα από τα οποία εξασφαλίζεται σηματοτεχνικά η κυκλοφορία ενός και μόνο συρμού.
- την κυκλοφορία συρμών με χωρικό διαχωρισμό ίσο με το μήκος πέδησης: στα συστήματα αυτά η απόσταση ενός συρμού από τον προπορευόμενο είναι ίση με το μήκος πέδησης του συρμού αυξημένο κατά μία απόσταση ασφαλείας.

Οι πληροφορίες για το ελεύθερο ή κατειλημμένο του επόμενου τμήματος παρέχονται στον μηχανοδηγό είτε από σταθερά σήματα που είναι εγκατεστημένα πλευρικά της γραμμής σε καθορισμένες αποστάσεις, είτε από ενδείξεις στην καμπίνα οδήγησης του μηχανοδηγού, μέσω εγκαταστάσεων συνεχούς πληροφόρησης. Επομένως τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού διακρίνονται ως προς τον τρόπο ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ συρμού και γραμμής σε:

- σημειακά και
- γραμμικά συστήματα επιρροής συρμού.

Σε ένα **σύστημα σημειακής επιρροής συρμού** (Punktförmige Zugbeeinflussung/ Intermittent ATP) η μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ γραμμής και συρμού γίνεται σε διακριτά, σταθερά, προκαθορισμένα σημεία. Για τη μεταφορά των πληροφοριών έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές: μηχανικές και ηλεκτρικές συσκευές (σε παλαιότερες εγκαταστάσεις), ηλεκτρομαγνητική μετάδοση πληροφοριών μέσω επαγωγής, αναμεταδότες πληροφοριών σε μορφή τηλεγραφημάτων.

Σε ένα **γραμμικό σύστημα επιρροής συρμού** (Linienförmige Zugbeeinflussung/ Continues ATP) η μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ γραμμής και συρμού είναι συνεχής και επιτυγχάνεται μέσω κυκλωμάτων γραμμής, ή με την ύπαρξη γραμμικού αγωγού κατά μήκος της γραμμής, ή μέσω τηλεπικοινωνίας. Γραμμές στις οποίες οι συρμοί κυκλοφορούν με ταχύτητες μεγαλύτερες από 160km/h πρέπει να είναι εξοπλισμένες με γραμμική επιρροή συρμού.

Αρχικά για την ενημέρωση της θέσης και την άδεια πορείας ενός συρμού, υπεύθυνος ήταν ο σταθμάρχης. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αναπτύχθηκε το αυτόματο τμήμα αποκλεισμού όπου ο συρμός επενεργεί στην ένδειξη των σημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με διατάξεις μονωτικών αρμών, αξονομετρητών ή ανιχνευτών ουράς. Το αυτόματα τμήμα αποκλεισμού συνέβαλε στην αύξηση της χωρητικότητας της γραμμής.

Περεταίρω εξέλιξη των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού κατέστησε δυνατό τον περιορισμό των σφαλμάτων από πλευράς ανθρώπινου παράγοντα. Αυτό επιτεύχθηκε με επέμβαση του συστήματος σε περίπτωση λάθους χειρισμού. Τέτοια συστήματα είναι ο έλεγχος επαγρύπνησης μηχανοδηγού, η παρακολούθηση πέδησης κ.α. τα οποία ενεργοποιούν την πέδη έκτακτης ανάγκης όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Νέες τεχνολογίες καθώς και η απαίτηση για αύξηση της χωρητικότητας οδήγησαν στο σύστημα κυκλοφορίας συρμού σε απόλυτο μήκος πέδησης (κατά το οποίο θεωρείται και ο προηγούμενος συρμός πεδίζει συγχρόνως με τον επόμενο), έτσι ώστε οι συρμοί να έχουν την δυνατότητα να πλησιάζουν μεταξύ τους στην ελάχιστη δυνατή απόσταση. Σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου η επιρροή του συστήματος στην κίνηση του συρμού είναι συνεχής. Μέσω των τεχνικών εγκαταστάσεων στη γραμμή και επί του οχήματος, είναι δυνατή η συνεχής ανταλλαγή στοιχείων (ταχύτητα, μήκος συρμού, εκατοστά πέδησης) τα οποία επεξεργάζονται από κεντρικές μονάδες υπολογιστών και επιστρέφουν υπό μορφή εντολών ταχύτητας και απόστασης στην καμπίνα οδήγησης.

1.2.2 Υφιστάμενη κατάσταση και μελλοντικά σχέδια

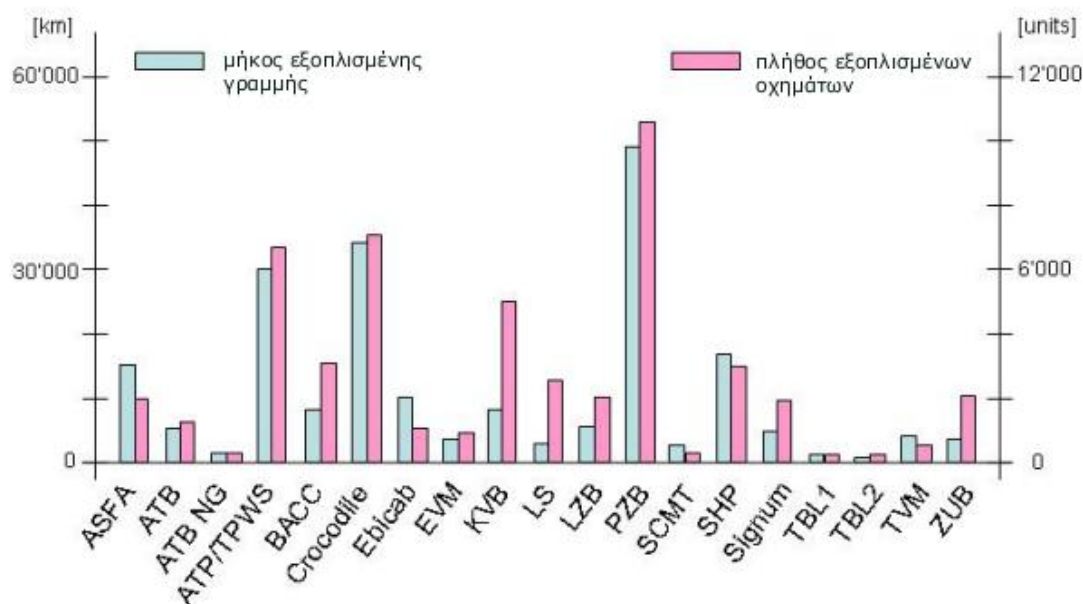
Σήμερα χρησιμοποιούνται πάνω από είκοσι διαφορετικά εθνικά συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη. Αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 1.1 (τα στοιχεία του πίνακα αφορούν το έτος 2003, πριν την εφαρμογή του ETCS).

Πίνακας 1.1 Συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη [Winter 2003]

Χώρα	Σύστημα	Λειτουργία	Εξοπλισμένη γραμμή (km)		Εξοπλισμένα οχήματα	
Αυστρία	PZB	Σημειικός έλεγχος ταχύτητας	5800	7600	1140	1500
	LZB+PZB	Σηματοδότηση καμπίνας	200		260	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	1600		100	
Βέλγιο	Crocodile	προειδοποίηση	4000	6100	1642	1974
	TBL+Crocodile	Προειδοποίηση/ ακινητοποίηση	1000		114	
	TBL 2	Σηματοδότηση καμπίνας	150		201	
	TVM	Σηματοδότηση καμπίνας	150		17	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	800		-	
Βουλγαρία	Edicab	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	300	5200	90	750
	ETCS L1	Σηματοδότηση καμπίνας	500		130	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	4400		540	

Χώρα	Σύστημα	Λειτουργία	Εξοπλισμένη γραμμή (km)		Εξοπλισμένα οχήματα	
Τσεχία	LS	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	2710	16300	2700	3300
	μ.ε.*	Καμία προστασία	13570		600	
Δανία	ZUB 123	Σηματοδότηση καμπίνας	1300	3000	500	790
	HKT	Σηματοδότηση καμπίνας	250		290	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	1450		0	
Γαλλία	Crocodile	προειδοποίηση	29000	45600	0	7300
	KVB+Crocodile	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	8000		5000	
	TVM	Σηματοδότηση καμπίνας	3000		365	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	5600		1935	
Γερμανία	PZB	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	39000	54000	6900	9500
	ZUB 122/262+PZB	Έλεγχος κλίσης και ταχύτητας	6010		305	
	LZB+PZB	Σηματοδότηση καμπίνας	3800		1800	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	5200		500	
Μεγάλη Βρετανία	AWS/TPWS	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	30000	31375	6200	6645
	TVM	Σηματοδότηση καμπίνας	300		200	
	TBL	Σηματοδότηση καμπίνας	500		151	
	Selcab	Σηματοδότηση καμπίνας	275		94	
	TASS	Έλεγχος κλίσης και ταχύτητας	1600		194	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	300		0	
Ουγκαρία	EVM	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	2800	8100	700	800
	μ.ε.*	Καμία προστασία	5300		100	
Ιταλία	BACC	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	6000	22500	3100	3300
	SCMT+BACC	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	2000		50	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	14500		150	
Λουξεμβούργο	Crocodile	Προειδοποίηση/ ακινητοποίηση	400	420	116	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	20		16	
Ολανδία	ATB EG	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	5800	6530	1135	1378
	ATB EG+NG	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	470		243	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	260		0	
Πολωνία	SHP	προειδοποίηση	17500	28900	-	5300
	μ.ε.*	Καμία προστασία	11400		-	
Ρουμανία	PZB	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	-	14100	-	3350
	μ.ε.*	Καμία προστασία	-		-	
Σερβία	PZB	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	-	4400	100	950
	μ.ε.*	Καμία προστασία	-		850	
Σλοβακία	LS	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	1400	4700	460	1550
	μ.ε.*	Καμία προστασία	3300		1090	
Σλοβενία	PZB	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	998	1559	271	274
	μ.ε.*	Καμία προστασία	561		3	
Ισπανία	ASFA	Σημειακός έλεγχος ταχύτητας	14000	17560	2000	2000
	Ebicab+ASFA	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	600		32	
	LZB+ASFA	Σηματοδότηση καμπίνας	960		30	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	2000		500	
Σουηδία	Edicab	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	9307	11743	1060	1060
	Radioblock	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	115		17	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	2321		0	
Ελβετία	Signum	Προειδοποίηση/ ακινητοποίηση	4150	5550	400	2000
	ZUB+Signum	Συνεχής παρακολούθηση ταχύτητας	1400		1600	
	μ.ε.*	Καμία προστασία	0		0	

Τα συστήματα αυτά λειτουργούν είτε σημειακά είτε γραμμικά. Η φιλοσοφία της λειτουργίας τους δεν διαφέρει σημαντικά, παρόλο που υλοποιείται με διαφορετική τεχνολογία.



Διάγραμμα 1.1 Συστήματα κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη- μήκος εξοπλισμένης γραμμής/ πλήθος εξοπλισμένων συρμών [Winter 2003]

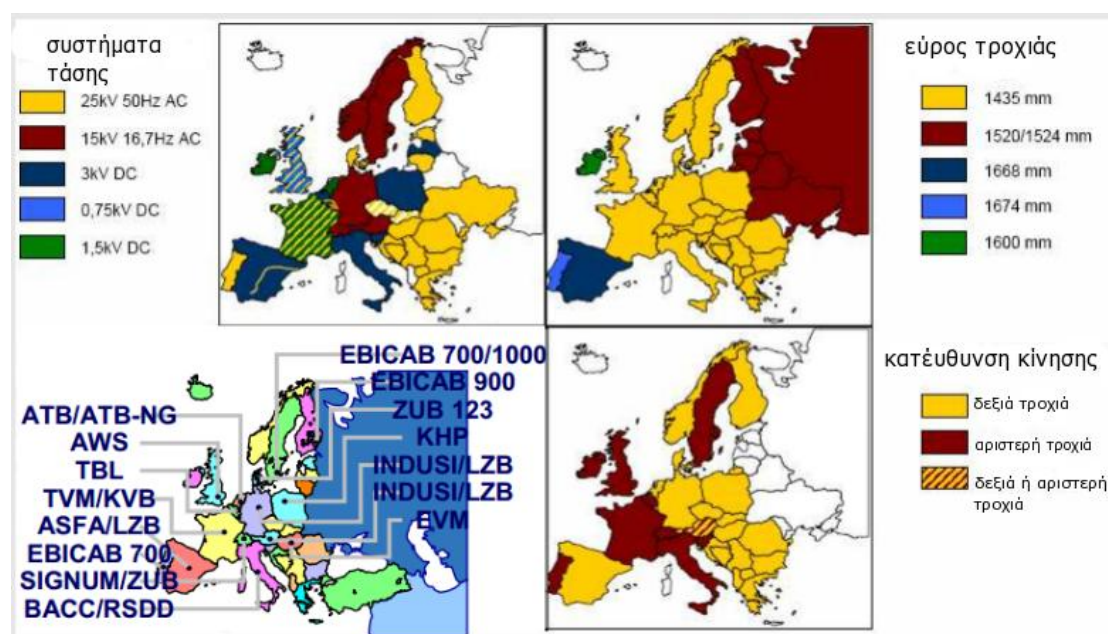
Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά στα κεφάλαια 2 και 3 τα συστήματα PZB (INDUSI) και LZB των Γερμανικών σιδηροδρόμων, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Παράλληλα με την λειτουργία των εθνικών συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμών στην Ευρώπη, και λόγω της αναγκαιότητας δημιουργίας ενός διευρωπαϊκού δικτύου, λειτουργεί από το 2002 και το σύστημα ασφάλειας και καθοδήγησης συρμών με την επωνυμία ETCS (European Train Control System). Το σύστημα αυτό αποτελεί υποσύστημα του ευρωπαϊκού συστήματος διαχείρισης κυκλοφορίας στο σιδηροδρομικό δίκτυο ERTMS (European Rail Traffic Management System) σε συνδυασμό με το σύστημα ραδιοεπικοινωνίας GSM-R (Global System for Mobile communication – Railways) βασισμένο στο πρότυπο GSM (της κινητής τηλεφωνίας), το οποίο όμως χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες, ειδικές για τους σιδηρόδρομους.

Όπως προαναφέρθηκε, η απαίτηση για την δημιουργία ενός διευρωπαϊκού δικτύου αλλά και για χαμηλού κόστους υποδομή, οδήγησε το 1990 στην τυποποίηση του συστήματος ETCS για εφαρμογή στο σιδηροδρομικό δίκτυο πανευρωπαϊκά.

Η μεγάλη ανομοιογένεια των συστημάτων ανά χώρα οδηγεί στην απαίτηση για εξόπλιση των οχημάτων με πολλαπλά συστήματα, όταν αυτά εκτελούν διεθνή δρομολόγια, καθώς και στην γνώση χειρισμού τους από τους μηχανοδηγούς. Σε

αντίθετη περίπτωση απαιτείται η αλλαγή μηχανής έλξης από χώρα σε χώρα. Η διαδικασία αυτές είναι πολύ δαπανηρές σε χρόνο και κόστος, κάτι που καθιστά το μέσο λιγότερο ανταγωνιστικό.



Σχήμα 1.1 Ανομοιογένεια συστημάτων κυκλοφορίας συρμού στην Ευρώπη

Με την εγκατάσταση του ETCS και την ύπαρξη ενός μόνο συστήματος θα μετριασθεί η πολυπλοκότητα των μηχανών έλξης και, ταυτόχρονα θα απλουστευτούν οι εργασίες συντήρησης. Επίσης αναμένεται μείωση του εξωτερικού κόστους όπως η ρύπανση, ο θόρυβος, η ασφάλεια και η συμφόρηση. Σύμφωνα με την UNIFE (Ένωση Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Σιδηροδρομικού Υλικού), το ETCS θα μπορούσε να αυξήσει τη μεταφορική ικανότητα των γραμμών σε ποσοστό από 2 έως 20 % σε σύγκριση με τα υπάρχοντα συστήματα.

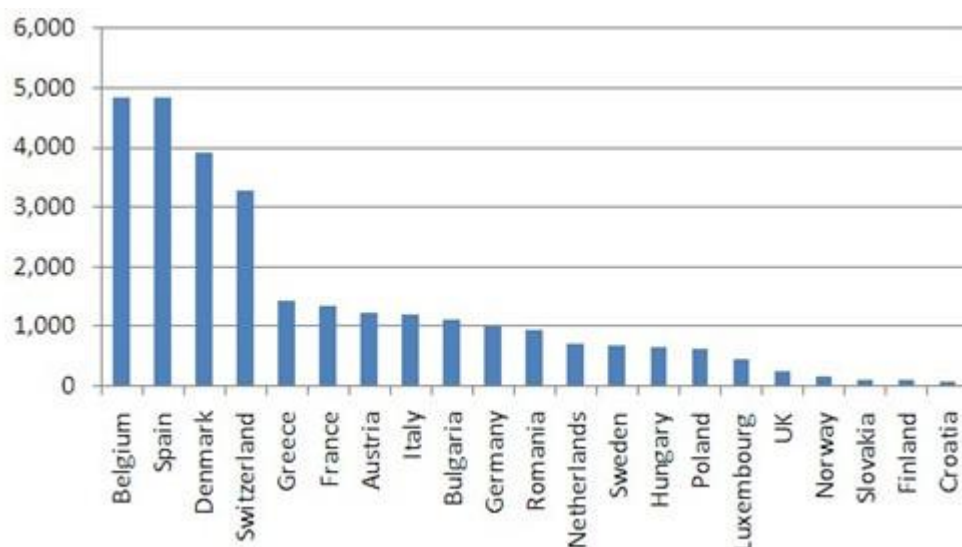
Το ETCS διακρίνεται σε τρία επίπεδα εφαρμογής, με δυνατότητα εξέλιξης από το ένα στο επόμενο. Αυτά είναι:

- Επίπεδο 1: λειτουργία αυτόματης προστασίας συρμού. Αποτελεί σημειακό σύστημα επιρροής συρμών, με χρήση πλευρικής σηματοδότησης και με βάση κατευθυνόμενα Balise (αναμεταδότες γραμμής).
- Επίπεδο 2: λειτουργία αυτόματης προστασίας και ελέγχου συρμού. Η επιρροή του συρμού γίνεται μέσω τηλεπικοινωνίας. η πλευρική σηματοδότηση θεωρείται περιττή. Τα Balise χρησιμοποιούνται ως αναφορές θέσης.
- Επίπεδο 3: λειτουργία πλήρη ελέγχου συρμού. Σύστημα υψηλής απόδοσης, στο οποίο συρμοί εξοπλισμένοι με διατάξεις τηλεπικοινωνιακής επιρροής κινούνται με “ηλεκτρική ορατότητα”.

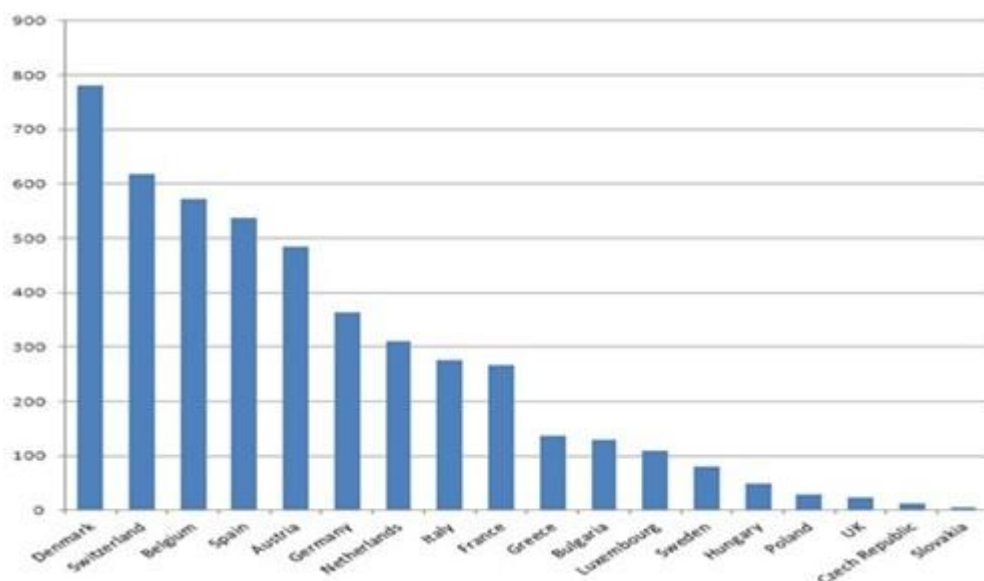
Το σύστημα ETCS περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας.

Το ισχύον νομικό πλαίσιο καθιστά πλέον την εγκατάσταση του ERTMS υποχρεωτική σε όλες τις νέες γραμμές μεγάλης ταχύτητας του διευρωπαϊκού δικτύου ή κατά τον εκσυγχρονισμό της σηματοδότησης, καθώς επίσης και την σταδιακή αντικατάσταση των ήδη υπαρχόντων συστημάτων.

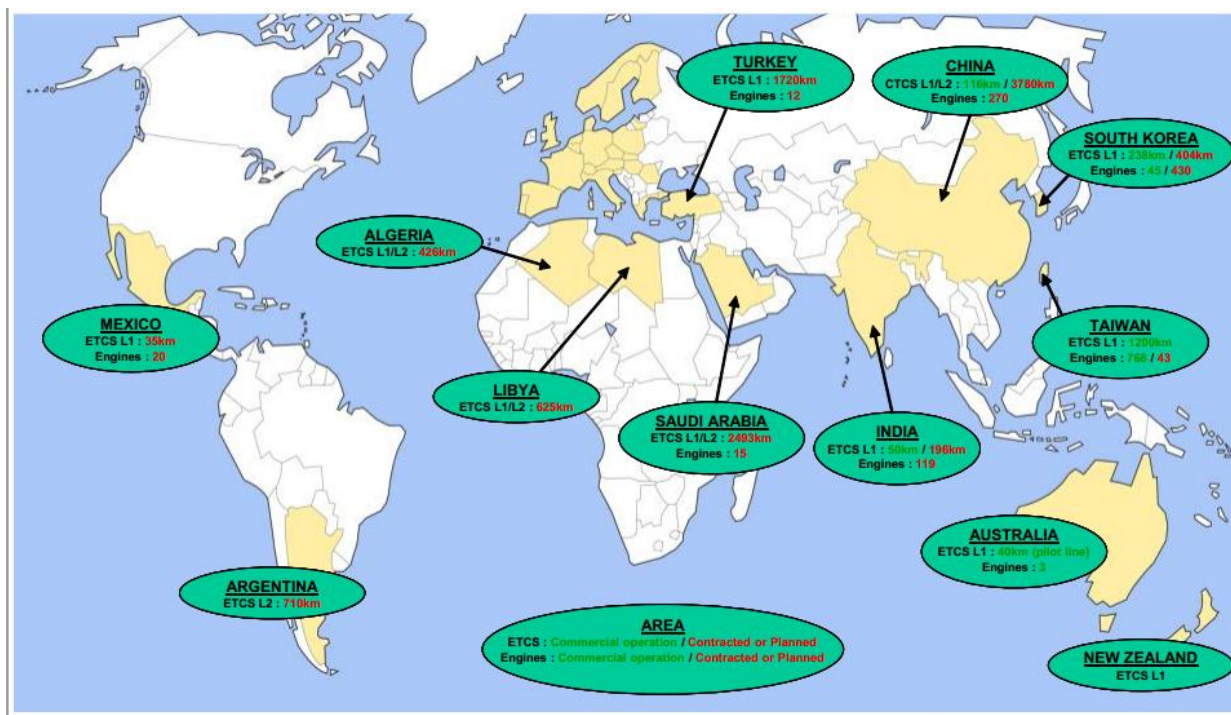
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η έως τώρα ανάπτυξη του ERTMS στην Ευρώπη, αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα.



Διάγραμμα 1.2 ERTMS στην Ευρώπη σε χιλιόμετρα εξοπλισμένης γραμμής [ERTMS]



Διάγραμμα 1.3 ERTMS στην Ευρώπη σε πλήθος εξοπλισμένων συρμών [ERTMS]



Σχήμα 1.2 ERTMS σε παγκόσμια κλίμακα [Winter 2012]

Το ευρωπαϊκό σύστημα ERTMS έχει υιοθετηθεί και από σιδηροδρομικούς οργανισμούς χωρών πέραν των ευρωπαϊκών, όπως η Κίνα, η Σαουδική Αραβία και η Τουρκία.

Στον χάρτη που ακολουθεί παρουσιάζεται το σχέδιο ανάπτυξης του ERTMS στην Ευρώπη για το 2020, όπως το παρουσίασε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το 2010. Το δίκτυο θα αποτελείται από έξι κεντρικούς άξονες:

Corridor A: Ρότερνταμ – Γένοβα

Corridor B: Στοκχόλμη – Νάπολη

Corridor C: Αμβέρσα – Βασιλεία – Λυών

Corridor D: Βαλένθια – Λυών – Λιουμπλιάνα – Βουδαπέστη

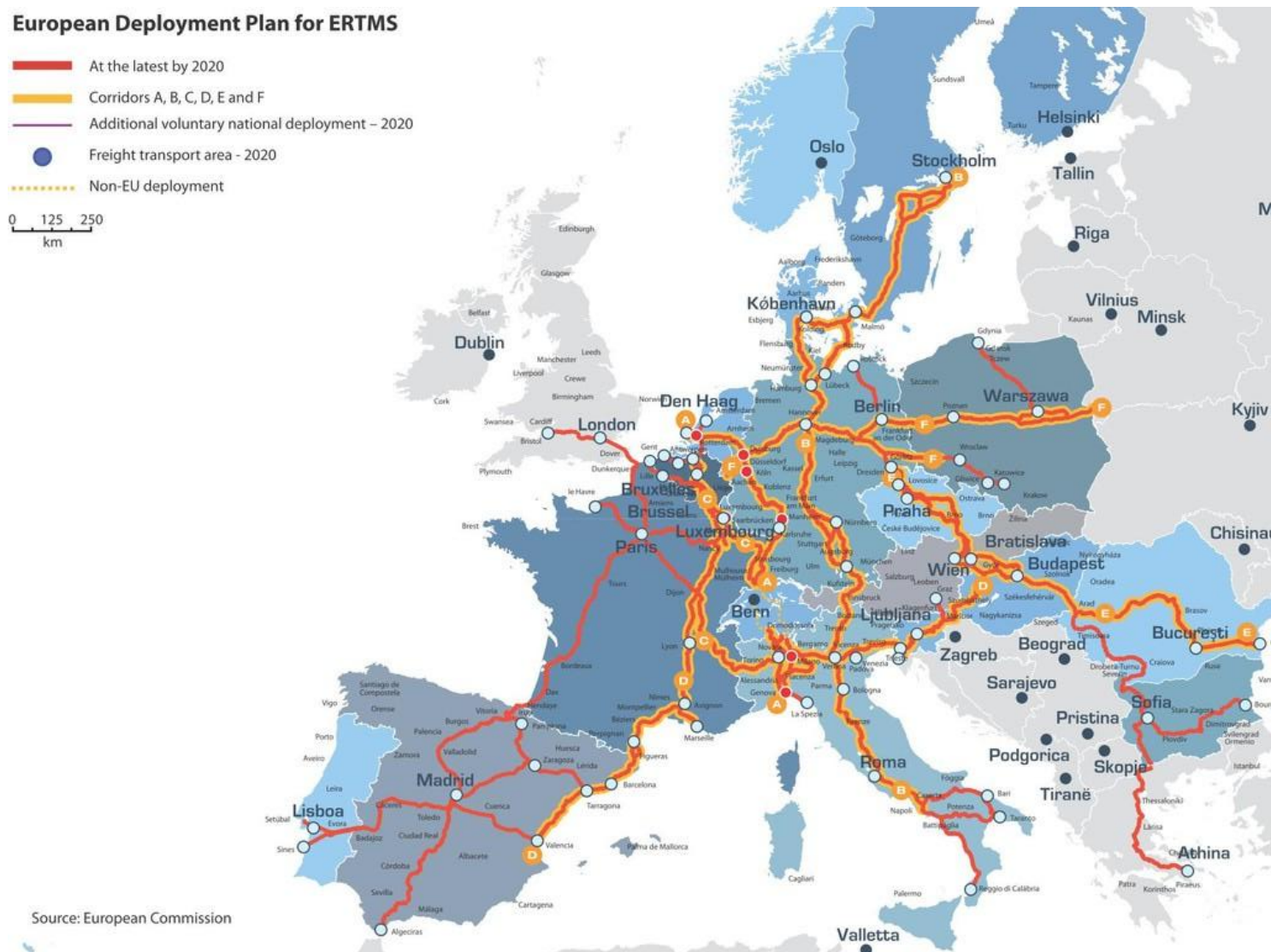
Corridor E: Δρέσδη – Πράγα – Βουδαπέστη

Corridor F: Άαχεν – Βερολίνο – Βαρσοβία

European Deployment Plan for ERTMS

- At the latest by 2020
- Corridors A, B, C, D, E and F
- Additional voluntary national deployment – 2020
- Freight transport area - 2020
- Non-EU deployment

0 125 250
km



Σχήμα 1.3 Σχέδιο ανάπτυξης του ERTMS στην Ευρώπη έως το 2020 [E.C.]

1.3 Ο σκοπός της παρούσας εργασίας

Με αφορμή την ευρωπαϊκή οδηγία για την δημιουργία ενιαίου ευρωπαϊκού σιδηροδρομικού χώρου και την εγκατάσταση κοινού συστήματος ασφάλειας, ως απόρροια αυτού, δημιουργείται ο προβληματισμός εάν το νέο σύστημα ERTMS βελτιώνει την κυκλοφοριακή ικανότητα του δικτύου σε σχέση με τα ήδη εγκατεστημένα συστήματα ανά χώρα.

Το νέο σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας συρμού ERTMS, και το υποσύστημα αυτού, ελέγχου κυκλοφορίας συρμού ETCS, έχουν το πλεονέκτημα της διαλειτουργικότητας για τις διασυνοριακές μετακινήσεις. Επιπλέον διαθέτει μικρότερου κόστους και τυποποίηση στις εγκαταστάσεις σε σχέση με παλαιότερα συστήματα. Τίθεται όμως το ερώτημα αν βελτιώνεται με τη λειτουργία του συστήματος αυτού η χωρητικότητα της γραμμής.

Με βάση αυτόν τον προβληματισμό επιλέχθηκαν τα συστήματα του γερμανικού σιδηρόδρομου για σύγκριση με το ETCS.

Συγκεκριμένα επιλέχτηκε το σύστημα PZB γραμμής και η έκδοση PZB90 ως σημειακό σύστημα ελέγχου επιρροής συρμού που λειτουργεί ως επαγωγικό σύστημα Indusi (Induktive Zugsicherung) σε συνδυασμό με πλευρική σηματοδότηση. Στο σύστημα αυτό (σύστημα επαγωγικής επιρροής συρμού) χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των πληροφοριών, από τη γραμμή στο όχημα, μαγνήτες γραμμής διαφορετικών συχνοτήτων. Το σύστημα PZB αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα σημειακής επιρροής στο ευρωπαϊκό δίκτυο.

Επιλέχθηκε επίσης το σύστημα LZB και η έκδοση LZB80 ως γραμμικό σύστημα επιρροής συρμού. Το σύστημα αυτό λειτουργεί με σηματοδότηση καμπίνας οδήγησης και με χρήση διπλού αγωγού επί της γραμμής για την μεταξύ συρμού – γραμμής επικοινωνία.

Η λογική λειτουργίας των συστημάτων αυτών δεν διαφέρει πολύ από αυτή των άλλων εθνικών συστημάτων. Διαφέρουν όμως στην τεχνολογία που χρησιμοποιούν.

Τα συστήματα αυτά μελετώνται στα επόμενα κεφάλαια ως προς τον εξοπλισμό και την λογική λειτουργίας τους, αλλά και ως προς την επιρροή που ακούν στην χωρητικότητα της γραμμής.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ PZB 90

2.1 Γενικά

Το σύστημα PZB 90 είναι μία έκδοση του επαγωγικού συστήματος σημειακής επιρροής συρμού Indusi (**I**nduktive **Z**ugsicherung).

Στο σύστημα αυτό (σύστημα επαγωγικής επιρροής συρμού) χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των πληροφοριών, από τη γραμμή στο όχημα, μαγνήτες γραμμής διαφορετικών συχνοτήτων. Λόγω της δυαδικής πληροφορίας που μπορεί να μεταφέρει κάθε μαγνήτης (ενεργός-μη ενεργός), ο αριθμός των μεταδιδόμενων μηνυμάτων εξαρτάται από τον αριθμό των διαφορετικών συχνοτήτων, δηλαδή εδώ 500 Hz 1000 Hz και 2000 Hz.

2.2 Περιγραφή εξοπλισμού

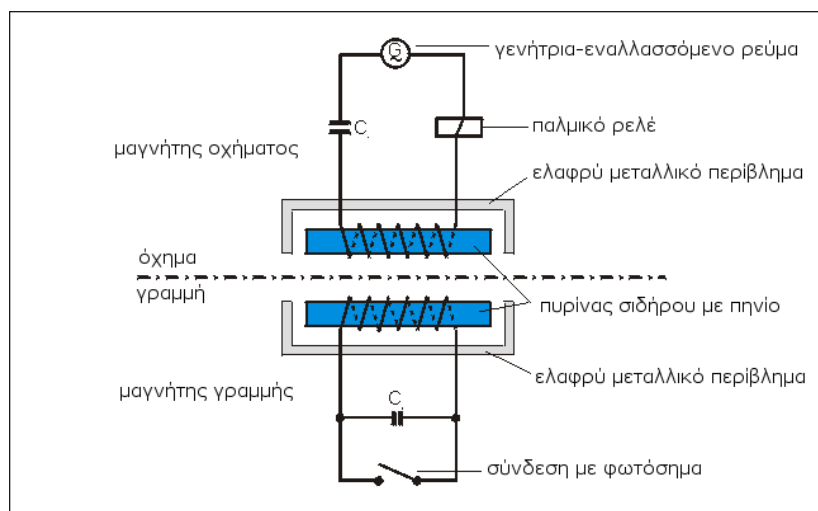
2.2.1 Υποσύστημα γραμμής



Εικόνα 2.1 PZB μαγνήτης γραμμής

Από πλευράς γραμμής, μαγνήτες γραμμής είναι τοποθετημένοι στη δεξιά, ως προς την κατεύθυνση πορείας, πλευρά της δεξιάς σιδηροτροχιάς. Ο μαγνήτης αποτελείται από ένα παράλληλο κύκλωμα πυκνωτή - πηνίου με ελαφρύ μεταλλικό περίβλημα ηλεκτρικά ανοιχτό από την πάνω πλευρά, το οποίο είναι συντονισμένο

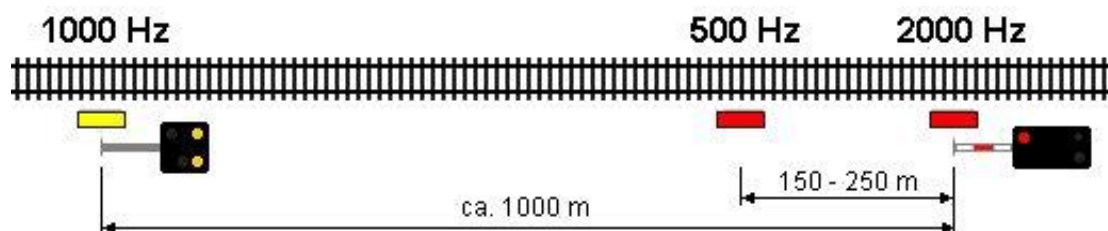
σε συχνότητα 500 Hz, 1000 Hz ή 2000 Hz. Το κύκλωμα αυτό τίθεται σε ισχύ ή παραμένει ανενεργό ανάλογα με την ένδειξη του αντίστοιχου φωτοσήματος.



Σχήμα 2.1 Λειτουργία επαγωγής μεταξύ μαγνήτη γραμμής και μαγνήτη οχήματος [Wegener]

Οι μαγνήτες είναι τοποθετημένοι σε συνδυασμό με τα φωτόσημα ως εξής:

- Μαγνήτης συχνότητας 1000 Hz στη θέση του Προσήματος.
- Μαγνήτης συχνότητας 2000 Hz στη θέση του Κύριου Σήματος.
- Μαγνήτης συχνότητας 500 Hz σε απόσταση 250m έως 150m από το Κύριο Σήμα.



Σχήμα 2.2 Θέσεις μαγνητών γραμμής

2.2.2 Υποσύστημα οχήματος

Από πλευράς οχήματος, μαγνήτης οχήματος είναι τοποθετημένος κατά κανόνα στο πρώτο φορείο στη δεξιά πλευρά ως προς την κατεύθυνση πορείας και εκπέμπει συνεχώς προς τα κάτω ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε συχνότητες 500 Hz, 1000 Hz και 2000 Hz .



Εικόνα 2.2 ΡΖΒ μαγνήτης οχήματος

Στην περίπτωση που ένα όχημα προσεγγίσει έναν εν ενεργεία μαγνήτη γραμμής (Πρόσημα με ένδειξη προειδοποίησης/ Κύριο Σήμα σε ένδειξη: Στάθμευση), αναπτύσσεται σε αυτόν, μέσω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του μαγνήτη οχήματος, επαγωγική τάση. Με αυτόν τον τρόπο απορροφά ο εν ισχύ μαγνήτης γραμμής ενέργεια από τον διερχόμενο μαγνήτη οχήματος, κάτι που καταγράφεται από τη συσκευή παρακολούθησης εντός του οχήματος και κινεί τις διαδικασίες ελέγχου που περιγράφονται στη συνέχεια.

2.2.3 Μαγνήτης 1000 Hz

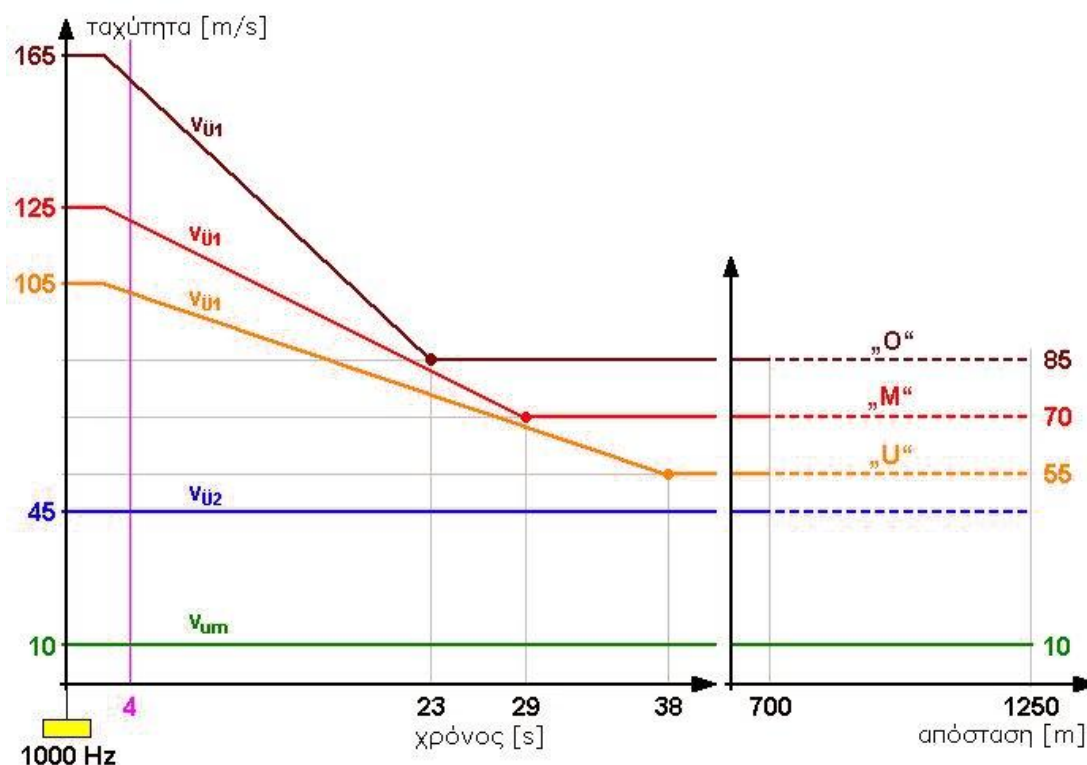
Με την ανίχνευση του μαγνήτη συχνότητας 1000 Hz από το όχημα (διέλευση του συρμού από Πρόσημα με προειδοποιητική ένδειξη), πρέπει ο μηχανοδηγός να δηλώσει ενήμερος της κατάστασης πιέζοντας το πλήκτρο επαγρύπνησης (Indusi Wachsam) εντός 4 sec, σε αντίθετη περίπτωση ενεργοποιείται η πέδη έκτακτης ανάγκης. Στη συνέχεια ενεργοποιείται μία συνεχόμενη, χρονικά συναρτώμενη παρακολούθηση της ταχύτητας του συρμού (Vü1) η οποία είναι σε ισχύ για 1.250m από το σημείο επιρροής. Η καμπύλη παρακολούθησης ανά είδος συρμού¹ Ο, Μ, U φαίνεται στο Διάγραμμα 2.1. Στην περίπτωση που η ταχύτητα του συρμού δεν υπερβαίνει την ταχύτητα Vum (Umschaltgeschwindigkeit) για 15 sec το όριο ταχύτητας μειώνεται σταθερά στα 45 km/h (οριακή ταχύτητα ελέγχου Vü2). Ο μηχανοδηγός έχει παρόλα αυτά τη δυνατότητα, 700 m μετά το σημείο επιρροής, πιέζοντας το πλήκτρο απελευθέρωσης (Indusi free) να ελευθερώσει το συρμό από τον έλεγχο της ταχύτητας. Αυτό είναι σκόπιμο την περίπτωση που εντωμεταξύ το Κύριο Σήμα αλλάξει σε ένδειξη: Πορεία. Στην περίπτωση λανθασμένης χρήσης του πλήκτρου απελευθέρωσης ενεργοποιείται από την επιρροή του μαγνήτη 500 Hz η πέδη έκτακτης ανάγκης.

¹ Είδη συρμού ανάλογα με τα εκατοστά πέδησης

O: oberer Bereich, M: mittlerer Bereich, U: unterer Bereich

Bremsstellung des Zuges	Einstellwert BRA	Einstellwert BRH	PZB Zugart
G	01	alle werte	U
R/P	08	bis 65	
		66-110	M
		111 und mehr	O

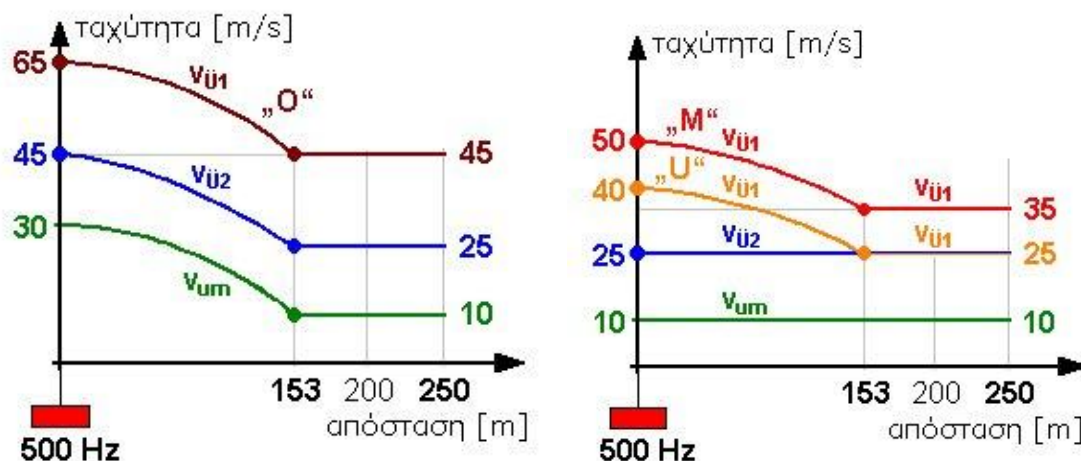
πηγή: [B.Praxis 2004]



Διάγραμμα 2.1 Καμπύλες ταχύτητας παρακολούθησης από τον μαγνήτη 1000Hz για είδη συρμού O,M,U [Smiderkal]

2.2.4 Μαγνήτης 500 Hz

Με τη διέλευση του συρμού από μαγνήτη συχνότητας 500 Hz ενεργοποιείται άμεσα έλεγχος ταχύτητας. Ο συρμός ακολουθεί την καμπύλη κανονικής παρακολούθησης ταχύτητας ($V_{ü1}$), ανάλογα με το είδος του συρμού μέχρις ότου η ταχύτητα να μειωθεί στα 45km/h, 35km/h και 25km/h για είδος συρμού O, M και U αντίστοιχα (βλ. Πίνακα 2.1). Η παρακολούθηση ισχύει για 250m μετά το σημείο επιρροής. Και εδώ, όταν η ταχύτητα του συρμού δεν υπερβαίνει την ταχύτητα V_{um} , το όριο ταχύτητας μειώνεται στην οριακή ταχύτητα ελέγχου ($V_{ü2}$). Αυτός ο περιοριστικός έλεγχος ταχύτητας μπορεί να ενεργοποιηθεί από την επιρροή του μαγνήτη των 500 Hz και σε συρμό ο οποίος βρίσκεται υπό περιοριστική παρακολούθηση από την επιρροή του μαγνήτη των 1000 Hz. Απελευθέρωση από τον έλεγχο ταχύτητας του μαγνήτη των 500 Hz δεν είναι δυνατή καθώς δεν υπάρχει άλλο επίπεδο ασφαλείας π.χ. άλλος μαγνήτης γραμμής, πριν το Κύριο Σήμα.



Διάγραμμα 2.2 Καμπύλες παρακολούθησης ταχύτητας από τον μαγνήτη 500Hz για είδη συρμού α) Ο, β) Μ, Υ [Smiderkal]

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι διάφορες ταχύτητες ελέγχου ανά μαγνήτη και είδος συρμού.

Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ελέγχου ΡΖΒ 90 [B.Praxis 2004]

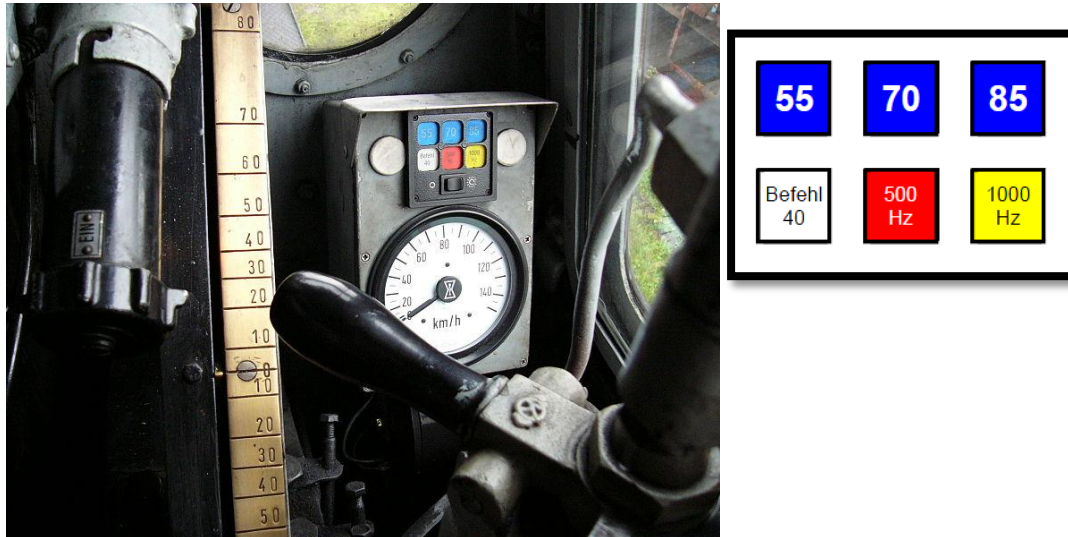
Είδος συρμού	Κανονική ταχύτητα ελέγχου $V_{\dot{u}1}$		Οριακή ταχύτητα ελέγχου $V_{\dot{u}2}$		Ταχύτητα αλλαγής ελέγχου V_{um}	
	Μαγνήτης 1000 Hz	Μαγνήτης 500 Hz	Μαγνήτης 1000 Hz	Μαγνήτης 500 Hz	Μαγνήτης 1000 Hz	Μαγνήτης 500 Hz
Ο	Από 165km/h σε 85km/h σε 23s	Από 65km/h σε 45km/h σε 153m	45km/h σταθερή	Από 45km/h σε 25km/h σε 153m	10km/h σταθερή	Από 30km/h σε 10km/h σε 153m
Μ	Από 125km/h σε 75km/h σε 26s	Από 50km/h σε 35km/h σε 153m	45km/h σταθερή	25km/h σταθερή	10km/h σταθερή	10km/h σταθερή
Υ	Από 105km/h σε 55km/h σε 34s	Από 40km/h σε 25km/h σε 153m	45km/h σταθερή	25km/h σταθερή	10km/h σταθερή	10km/h σταθερή

2.2.5 Μαγνήτης 2000 Hz

Κατά τη διέλευση του συρμού από Κύριο Σήμα με ένδειξη: Στάση, το όχημα δέχεται επιρροή από τον μαγνήτη των 2000 Hz, η οποία ενεργοποιεί αμέσως την πέδη έκτακτης ανάγκης ανεξάρτητα της ταχύτητας του συρμού. Για να προσεγγίσει ο συρμός με ταχύτητα το Κύριο Σήμα έχει ικανοποιήσει τους ελέγχους ταχύτητας από τους προηγούμενους μαγνήτες, θα έχει δηλαδή μέγιστη ταχύτητα 45 km/h, επομένως έχει τέτοια ταχύτητα ώστε με την διενέργεια της πέδης έκτακτης ανάγκης

να μπορεί να βρεθεί σε στάση πριν το σημείο κινδύνου το οποίο προστατεύεται από το Κύριο Σήμα.

2.2.6 Διεπαφή συστήματος μηχανοδηγού



Εικόνα 2.3 ΡΖΒ φωτεινός πίνακας και ταχύμετρο

Ο φωτεινός πίνακας αποτελείται από έξι τετράγωνα. Τα τρία πάνω τετράγωνα δηλώνουν τους περιορισμούς ταχύτητας ανάλογα με το είδος του συρμού, ενώ τα τρία κάτω αφορούν την επιρροή από το σύστημα. Τα στοιχεία του πίνακα μπορούν να είναι συνεχώς αναμμένα, να αναβοσβήνουν, να εναλλάσσονται ή να παραμένουν σβηστά. Οι διάφοροι συνδυασμοί των παραπάνω, με συνοδεία ανά περίπτωση και ηχητικού σήματος, δηλώνουν τις διάφορες λειτουργίες του συστήματος. [DB 2012a]

2.3 Λογική Λειτουργίας

Όταν ένα Κύριο Σήμα είναι ανοιχτό (πράσινη ένδειξη: Πορεία), οι μαγνήτες γραμμής είναι απενεργοποιημένοι και με αυτόν τον τρόπο δεν ασκούν καμία επιρροή στην κίνηση του συρμού. Όταν ένα Κύριο Σήμα είναι σε θέση Στάθμευση (κόκκινο) τότε όλοι οι μαγνήτες είναι ενεργοί.

Στο Πρόσημα είναι τοποθετημένος ένας μαγνήτης 1000 Hz. Αν αυτός ανιχνευθεί, ο μηχανοδηγός πρέπει να επιβεβαιώνει ότι έχει κατανοήσει το Πρόσημα πατώντας το κουμπί επαγρύπνησης μέσα σε 4 δευτερόλεπτα, σε αντίθετη περίπτωση ενεργοποιείται η πέδη. Στη συνέχεια θα πρέπει να μειωθεί η ταχύτητα του τρένου σε ένα ορισμένο επίπεδο μέσα σε μια ορισμένη απόσταση. Εάν υπάρχει υπέρβαση του ορίου ταχύτητας τότε ενεργοποιείται η πέδη.

Εν συνεχεία ο μαγνήτης των 500 Hz ελέγχει ξανά την ταχύτητα ως προς ένα ακόμα μικρότερο όριο ταχύτητας. Η διαδικασία αυτή υπάρχει για να εξασφαλίσει ότι,

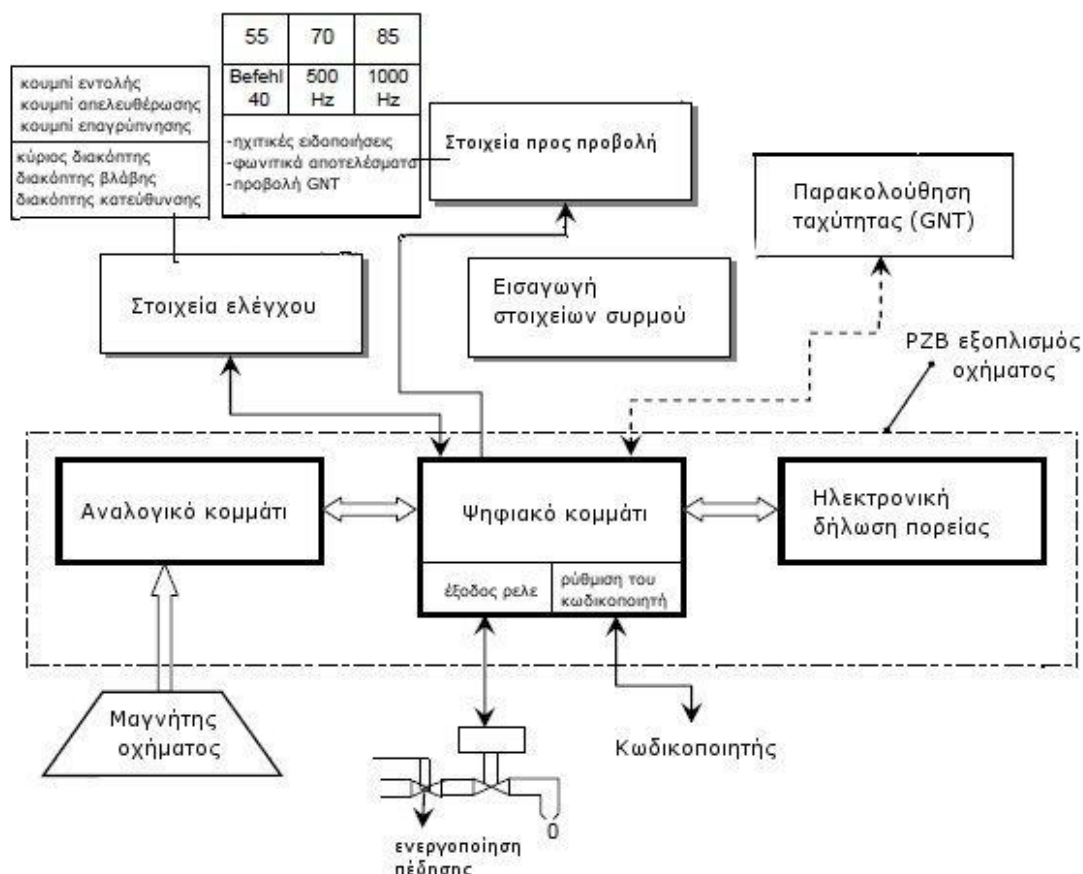
ακόμα και αν ο οδηγός αναγνωρίσει το Πρόσημα αλλά δεν φρενάρει επαρκώς ή δεν φρενάρει καθόλου, ο συρμός δεν θα διέρθει από το Κύριο Σήμα όταν αυτό βρίσκεται σε ένδειξη :Στάθμευση.

Στο Κύριο Σήμα είναι τοποθετημένος μαγνήτης 2000 Hz. Ο μαγνήτης αυτός προκαλεί πάντα την ενεργοποίηση της πέδης έκτακτης ανάγκης, όταν ανιχνεύεται ως ενεργός από το όχημα και έτσι ο συρμός θα βρεθεί σε στάση εντός ασφαλούς απόστασης μετά το Κύριο Σήμα.

Οι κύριες λειτουργίες του ΡΖΒ 90 συνοψίζονται στις παρακάτω:

- Έναρξη του προγράμματος μετά από εξοπλισμό, αλλαγή κατεύθυνσης ή αλλαγή προσωπικού. Παρακολούθηση της ταχύτητας με άνω όριο τα 40 km/h για καθορισμένη απόσταση μετά από παρατεταμένη στάθμευση.
- Παρακολούθηση της ταχύτητας του συρμού, ανάλογα με το είδος του συρμού.
- Παρακολούθηση του ορίου ταχύτητας του συρμού (διαχείριση κυκλοφορίας)
- Παρακολούθηση της επαγρύπνησης καθώς και της τήρησης της χρονικά εξαρτώμενης καμπύλης ταχύτητας από την επιρροή του μαγνήτη των 1000 Hz.
- Παρακολούθηση της τήρησης της χωρικά εξαρτώμενης καμπύλης ταχύτητας από την επιρροή του μαγνήτη των 500 Hz.
- Ενεργοποίηση της πέδης έκτακτης ανάγκης κατά την διέλευση από ενεργό μαγνήτη 2000 Hz.
- Ενεργοποίηση κατά περίπτωση, περιοριστικής κατάστασης με μειωμένα όρια ταχυτήτων.
- Ενεργοποίηση της πέδης έκτακτης ανάγκης κατά την διέλευση από ενεργό μαγνήτη 500 Hz ενώ έχει προηγηθεί λανθασμένη ελευθέρωση από την επιρροή του μαγνήτη 1000 Hz (η οποία είναι δυνατή 700m μετά το σημείο επιρροής)

Οι αρχές της δομής του συστήματος ΡΖΒ 90 φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Αρχές δομής ΡΖΒ [DB 2012a]

Σύμφωνα και με το παραπάνω διάγραμμα, οι εγκαταστάσεις του συστήματος ΡΖΒ επί του οχήματος είναι βασικά οι εξής:

- Ο μαγνήτης οχήματος για την μετάδοση των πληροφοριών από τη γραμμή στον συρμό. Ενεργός είναι κάθε φορά ο μαγνήτης οχήματος που βρίσκεται στην δεξιά πλευρά του οχήματος κατά την διεύθυνση κίνησης.
- Η συσκευή ΡΖΒ οχήματος για την μετατροπή των πληροφοριών που δέχεται από το υποσύστημα της γραμμής. Αυτή αναλαμβάνει την παρακολούθηση του ορίου της ταχύτητας, την σύγκριση την τρέχουσας ταχύτητας με την μέγιστη επιτρεπτή και ελέγχει την επαγρύπνηση του μηχανοδηγού.
- Οι ενεργοποιητές πέδησης για την εφαρμογή της πέδησης καθώς και τον προσδιορισμό της ετοιμότητας λειτουργίας του συστήματος.
- Τα στοιχεία προς προβολή αφορούν πληροφορίες για τις καταστάσεις λειτουργίας και παρακολούθησης του ΡΖΒ εξοπλισμού οχήματος σε οπτική και ηχητική μορφή.

Τα στοιχεία ελέγχου εξυπηρετούν την αναγνώριση των εντολών κίνησης, αναγνωρίζουν τις ενδείξεις της σηματοδότησης και απελευθερώνουν την κίνηση από τεχνικούς περιορισμούς.

- Η είσοδος στοιχείων συρμού. Κάθε τύπος διαθέτει στοιχεία ρύθμισης για τα δεδομένα εισόδου συρμού είτε με πλήκτρα πληκτρολογίου είτε με κέρσορα είτε, εάν είναι διαθέσιμη, με οθόνη. Τα δεδομένα που εισάγονται εδώ χρησιμοποιούνται για:
 - την επιλογή του προγράμματος παρακολούθησης
 - την καταγραφή των διαδικασιών λειτουργίας και χρήσης , των δεδομένων συρμού και πληρώματος.
- Ο κωδικοποιητής ο οποίος μεταφέρει στην συσκευή οχήματος σήματα που αφορούν την ταχύτητα και την μετατόπιση του συρμού.
- Η αποθήκευση των δεδομένων για την απόδειξη των διαδικασιών λειτουργίας και χρήσης.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ LZB

3.1 Γενικά

Το LZB (Linienzugbeeinflussung – Γραμμική επιρροή συρμού) είναι ένα σύστημα ασφάλειας και ελέγχου κυκλοφορίας συρμών που εξασφαλίζει ασφάλεια με συνεχόμενη (χωρίς κενά) επιτήρηση της ταχύτητας του συρμού και ελέγχει την κίνησή του με την βοήθεια ενδείξεων στην καμπίνα οδήγησης ή απευθείας με χρήση αυτόματης επιρροής στην κίνηση και την πέδηση.

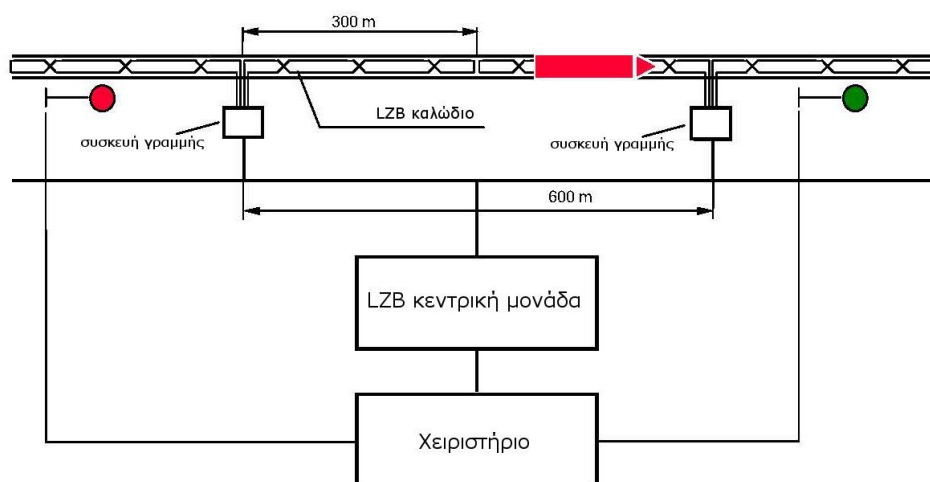
Λόγω της ικανότητας του συστήματος για παρουσίαση της κατάστασης της γραμμής που ακολουθεί καθώς και λόγω της συνεχόμενης επιτήρησης, υπάρχει δυνατότητα, για συρμούς με τα ίδια εκατοστά πέδησης, να αναπτυχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες όταν ένας συρμός λειτουργεί με LZB από ότι με ένα σύστημα σταθερής σηματοδότησης. Στην παραδοσιακή σηματοδότηση η μέγιστη ταχύτητα φτάνει τα 160 km/h καθώς το μήκος πέδης φτάνει το 1 km. Για μεγαλύτερες ταχύτητας η απόσταση Προσήματος και Κύριου Σήματος θα έπρεπε να αυξηθεί, κάτι που θα έκανε τα τμήματα αποκλεισμού μεγαλύτερα και θα μείωνε τη χωρητικότητα της γραμμής. Το σύστημα LZB δίνει πληροφορίες για τα επόμενα τμήματα αποκλεισμού (7000m για μέγιστη ταχύτητα 200 km/h, 9900m για μέγιστη ταχύτητα 280 km/h) και δίνει εκ των προτέρων τις ενδείξεις των φωτοσημάτων. Θεωρητικά μπορεί να επιτευχθεί οδήγηση σε απόσταση μήκους πέδησης.

Ο εξοπλισμός LZB λαμβάνει πληροφορίες για τις ενδείξεις των φωτοσημάτων και υπολογίζει την τρέχουσα μέγιστη ταχύτητα. Αν ένα επόμενο σήμα (θέση-στόχος) έχει ένδειξη περιορισμού ταχύτητας ή Στάση (ταχύτητα-στόχος), η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα θα μειώνεται ώστε να εξασφαλιστεί ότι ο συρμός θα κινείται με την ταχύτητα-στόχο όταν θα προσεγγίζει το θέση-στόχο.

3.2 Δομή του συστήματος

Το LZB αποτελείται από την διάταξη της γραμμής (υποσύστημα γραμμής) και τον εξοπλισμό επί του οχήματος (υποσύστημα οχήματος). Η βασική δομή του LZB φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 3.1 και Σχήμα 3.6).

3.2.1 Υποσύστημα γραμμής

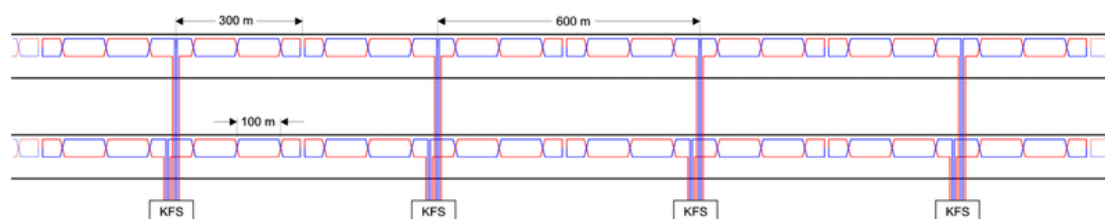


Σχήμα 3.1 LZB υποσύστημα γραμμής [DB 2009b]

Το υποσύστημα της γραμμής αποτελείται από τις συσκευές LZB και το γραμμικό διπλό καλώδιο σε βρόγχους.

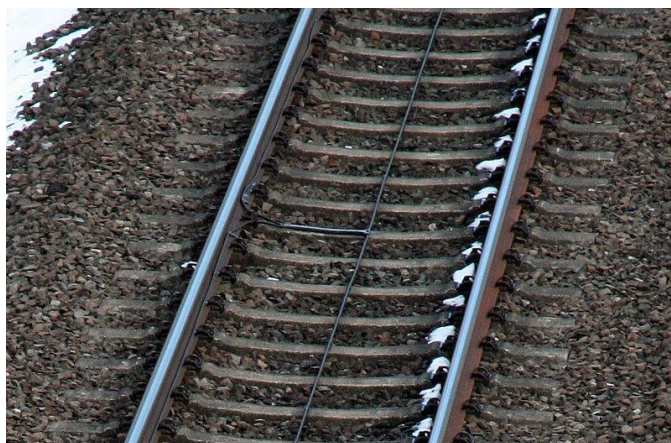
Καλώδιο LZB

Το καλώδιο LZB έχει ως λειτουργία την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ των υποσυστημάτων γραμμής και συρμού. Το καλώδιο αυτό μπορεί να είναι μέχρι 12,7 km σε μήκος, κάτι που το χωρίζει σε περιοχές (Bereich). Στην περίπτωση καλωδίων μεγάλου μήκους υπάρχει το μειονέκτημα ότι σε περίπτωση βλάβης, δεν θα είναι δυνατή η μετάδοση πληροφοριών για ολόκληρη την περιοχή του καλωδίου (έως και 12,7 km). Για τον λόγο αυτόν οι νεότερες εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων όλων των γραμμών υψηλών ταχυτήτων, χωρίζουν το καλώδιο σε τμήματα καλωδίου 300 m, καθένα από τα οποία συνδέεται με έναν αναμεταδότη (Σχήμα 3.2).



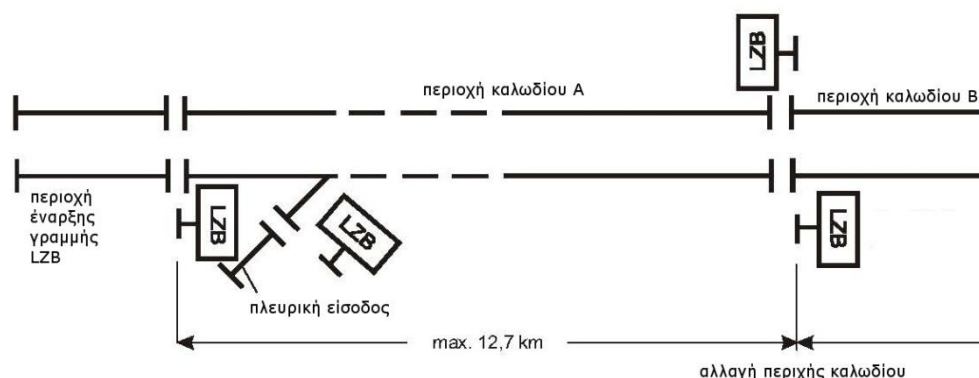
Σχήμα 3.2 LZB περιοχές καλωδίου [TUB 2011]

Τα δύο γραμμικά καλώδια είναι τοποθετημένα το ένα κατά μήκος και επί του πέλματος της μίας σιδηροτροχιάς και το άλλο κατά μήκος του άξονα της γραμμής και διασταυρώνονται ανά 100 m δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έως 127 ζώνες. Τα σημεία διασταύρωσης χρησιμοποιούνται από την μετρητή θέσης του οχήματος ως σημάδια θέσης για την διόρθωση της μέτρησης θέσης από τον εξοπλισμό οδομετρίας επί του τροχού. Με την είσοδο του συρμού στην ζώνη 100 m, η ζώνη θεωρείται κατειλημμένη.



Εικόνα 3.1 LZB καλώδιο

Στην περιοχή έναρξης γραμμής εξοπλισμένης με LZB καθώς και σε πλάγιες εισόδους υπάρχει βρόγχος αρχής. Με την είσοδο του συρμού στην περιοχή αυτή, ο εξοπλισμός LZB οχήματος λαμβάνει πληροφορίες από τη γραμμή που δίνουν την δυνατότητα οδήγησης χωρίς προβλήματα εξυπηρέτησης.



Σχήμα 3.3 LZB περιοχές καλωδίου [DB 2009 b]

Κεντρική Μονάδα LZB

Η Κεντρική Μονάδα LZB αποτελείται από τρεις υπολογιστές, δύο συνδεδεμένους με τις εξόδους δεδομένων και έναν σε αναμονή. Ο κάθε υπολογιστής έχει την δική του παροχή ενέργειας. Και οι τρεις υπολογιστές λαμβάνουν και επεξεργάζονται δεδομένα και κυρίως μεταδίδουν αποτελέσματα. Εάν κάποιος υπολογιστής διαφωνεί με τους υπόλοιπους στα αποτελέσματα, τότε αυτός απενεργοποιείται και παίρνει την θέση του αυτός που ήταν σε αναμονή.

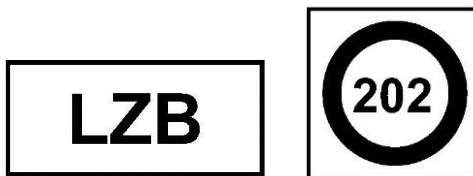
Οι υπολογιστές έχουν προγραμματιστεί με τα καθορισμένα στοιχεία της γραμμής, δηλαδή όρια ταχύτητας, κλίσεις, θέσεις αλλαγών, σημάτων και ορίων τμημάτων αποκλεισμού. Είναι επίσης συνδεδεμένοι με το σύστημα σύμπλεξης, από όπου παίρνουν πληροφορίες για τις θέσεις των αλλαγών, τις ενδείξεις των φωτοσημάτων, το κύκλωμα της γραμμής και τους μετρητές αξόνων. Τέλος η κεντρική μονάδα LZB βρίσκεται σε επικοινωνία με τους υπό έλεγχο συρμούς μέσω των βρόγχων καλωδίου που περιγράφηκαν παραπάνω.

Συμπληρωματικός εξοπλισμός

Οι συσκευές LZB γραμμής συνδέουν τους ανεξάρτητους βρόγχους καλωδίου με τον κεντρικό σύνδεσμο επικοινωνίας, ενισχύοντας το σήμα από την κεντρική μονάδα LZB προς τον συρμό και μεταδίδοντας πίσω τις αποκρίσεις του συρμού.

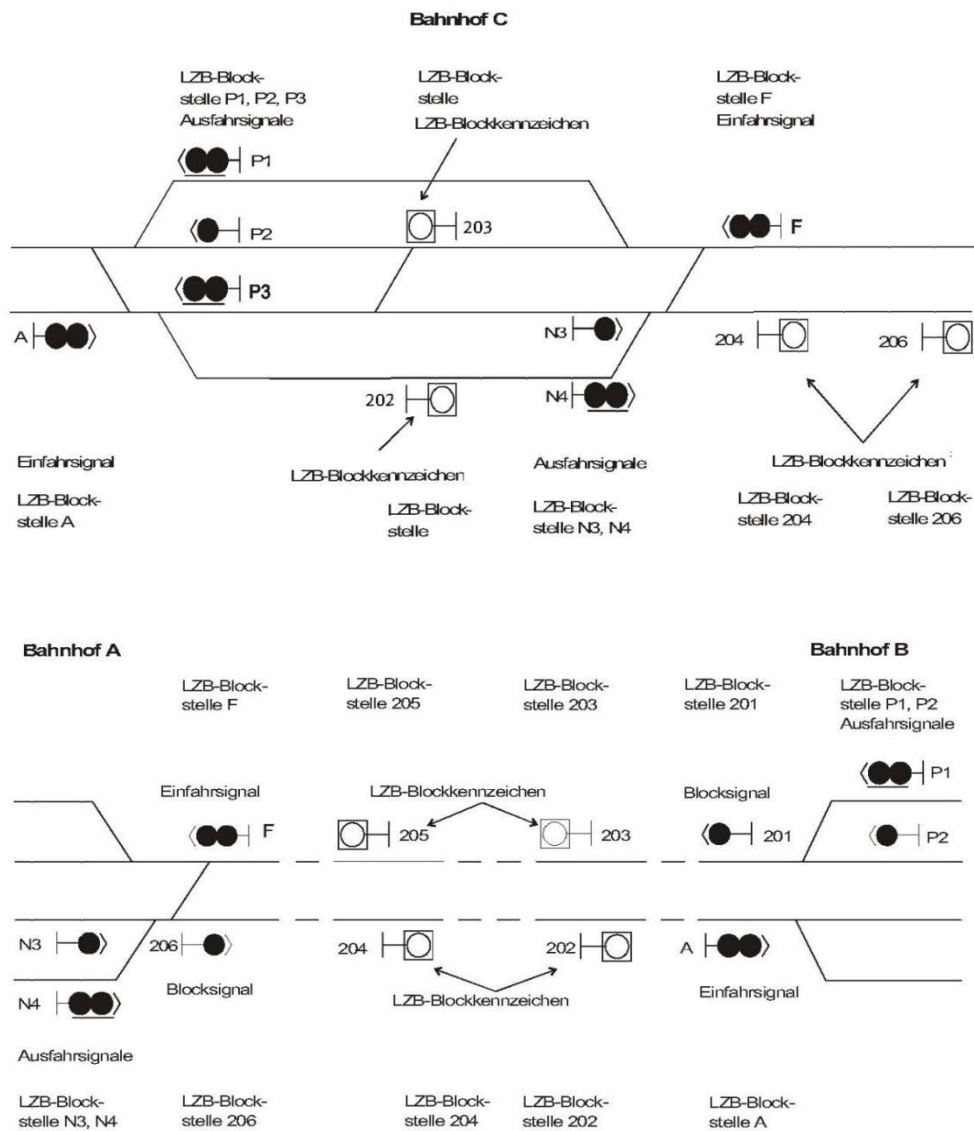
Βρόγχοι σταθερού μήκους 50 m είναι τοποθετημένοι στο τέλος της περιοχής ελέγχου. Οι βρόγχοι αυτοί μεταδίδουν στους διερχόμενους συρμούς τυποποιημένο τηλεγράφημα για το τέλος της περιοχής ελέγχου.

Για την επισήμανση της έναρξης περιοχής LZB υπάρχουν στην γραμμή ειδικές πινακίδες (Σχήμα 3.4 α). τέτοιες πινακίδες υπάρχουν κατά την είσοδο σε περιοχή LZB, για την σύνδεση δύο συνεχόμενων περιοχών (Bereich) βρόγχων και στις πλευρικές εισόδους. Οι πινακίδες αυτές συνοδεύονται από ένδειξη με την χιλιομετρική τους θέση.



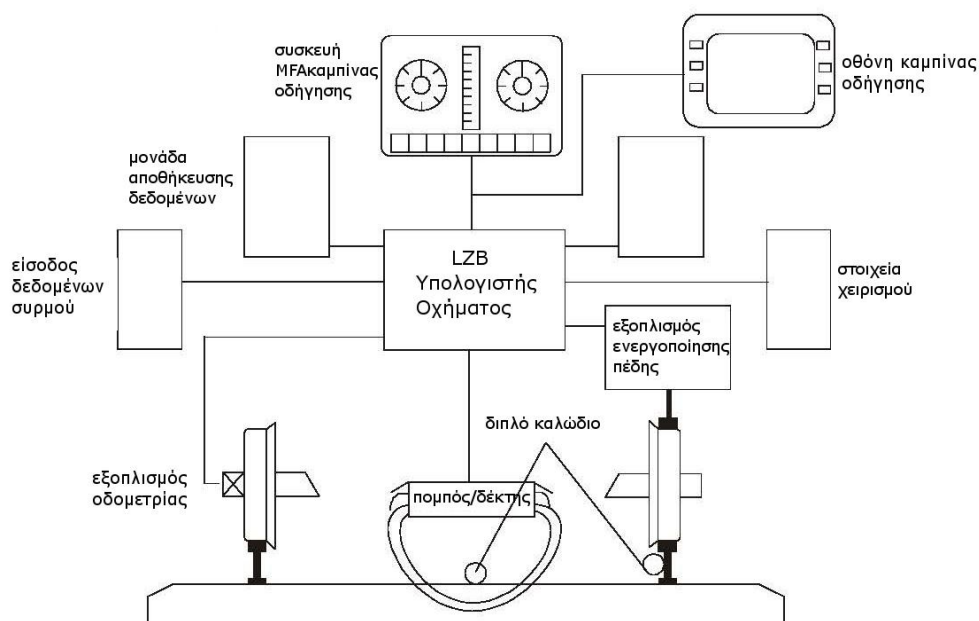
Σχήμα 3.4 α. Πινακίδα περιοχής ελέγχου LZB
β. πινακίδα αρίθμησης τμημάτων
αποκλεισμού [DB 2009 b]

Το σύστημα LZB λειτουργεί συμπληρωματικά σε περιοχές που είναι ήδη εγκατεστημένη σηματοδότηση με φωτοσήματα αλλά και ανεξάρτητα. Όταν ένας συρμός με εξοπλισμό LZB περάσει από γραμμή εξοπλισμένη με σύστημα LZB και φωτοσήματα, αυτά λειτουργούν κανονικά ενώ το σύστημα ειδοποιεί τον συρμό για τις ενδείξεις τους πολύ πριν ο συρμός προσεγγίσει το κάθε σήμα, επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερα μήκη πέδησης και άρα μεγαλύτερες ταχύτητες. Το σύστημα LZB δεν απαιτεί την ύπαρξη φωτοσημάτων. Φωτοσήματα είναι απαραίτητα μόνο στα σημεία αρχής και τέλους, στις διασταυρώσεις και ως σήματα εισόδου – εξόδου. Η γραμμή είναι χωρισμένη σε τμήματα αποκλεισμού LZB-Blocks (Σχήμα 3.5 α. και β.). Τα τμήματα αποκλεισμού αριθμούνται όπως φαίνεται στο σχήμα με ειδικές ενδείξεις (Σχήμα 3.4 β), οι οποίες τοποθετούνται για να επισημάνουν όσα δεν ορίζονται από την ύπαρξη ενός Κύριου Σήματος. Οι ενδείξεις αυτές σημειώνουν τις θέσεις στις οποίες ένας συρμός υπό το σύστημα LZB με την διενέργεια της αυτόματης πέδησης θα βρεθεί σε στάση.



Σχήμα 3.5 Τμήματα αποκλεισμού LZB α. σε σταθμό β. στην γραμμή [DB 2009 b]

3.2.2 Υποσύστημα οχήματος¹



Σχήμα 3.6 LZB υποσύστημα οχήματος [DB 2009 b]

Ο εξοπλισμός οχήματος αποτελείται από:

- την οθόνη στην καμπίνα οδήγησης και τα στοιχεία χειρισμού
- την βάση εισόδου δεδομένων συρμού και την μονάδα αποθήκευσης δεδομένων
- τον υπολογιστή οχήματος , τον εξοπλισμό ενεργοποίησης πέδης, τον εξοπλισμό οδομετρίας , τους μαγνήτες οχήματος και τους πομπούς/δέκτες.

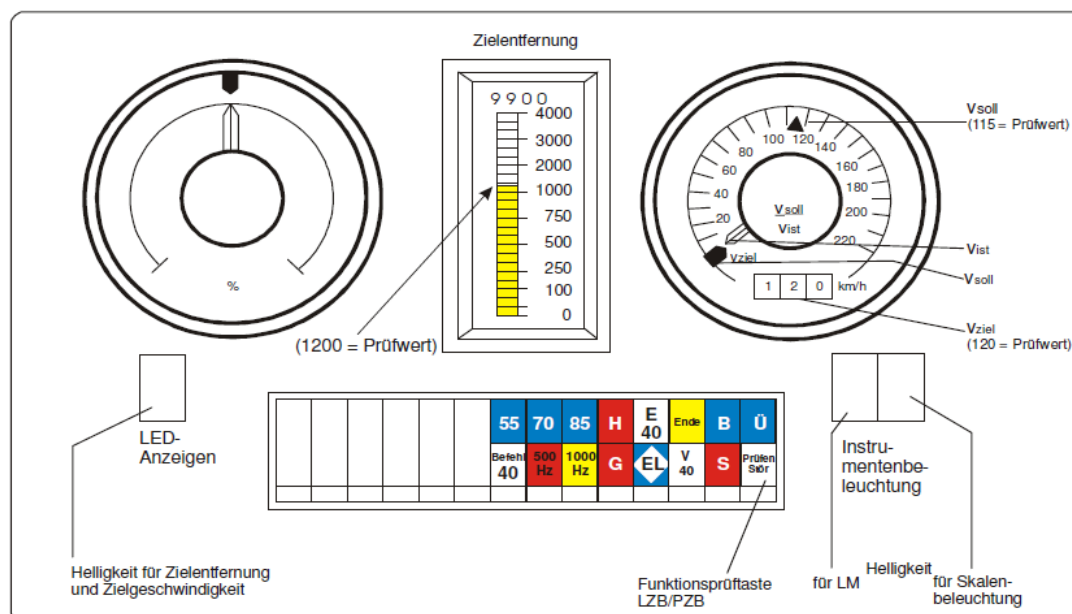
Συσκευή MFA (Modulares Führerraumanzeigegerät)



Εικόνα 3.2 Συσκευή MFA

¹ Περιγράφεται το υποσύστημα οχήματος για την έκδοση L2B 80

Η συσκευή MFA βρίσκεται στην καμπίνα οδήγησης και δίνει στον μηχανοδηγό τις παρακάτω πληροφορίες:



Σχήμα 3.7 Συσκευή MFA [DB 2009 c]

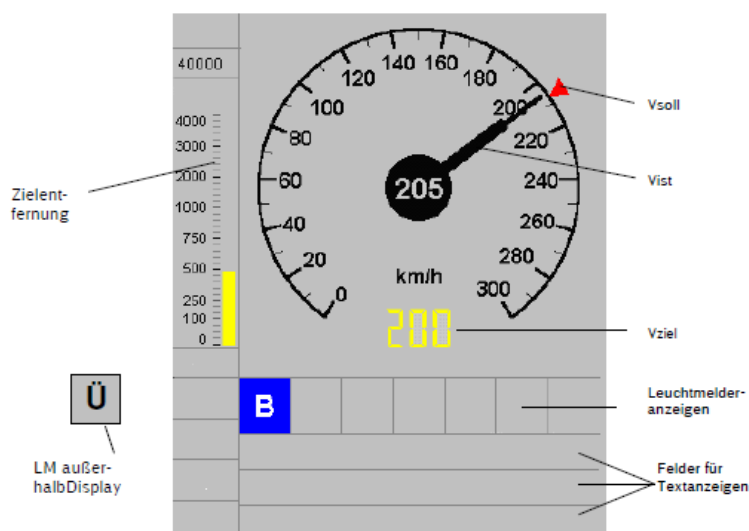
Ο αριστερός δείκτης αφορά την επιτάχυνση/επιβράδυνση του συρμού και δεξιά βρίσκεται ο μετρητής ταχύτητας. Ο μετρητής ταχύτητας δείχνει 3 ταχύτητες:

- υφιστάμενη ταχύτητα συρμού (v-ist) με τον κίτρινο δείκτη
- οφειλόμενη ταχύτητα συρμού (v-soll) με τον κόκκινο δείκτη στην περίμετρο
- ταχύτητα στόχος (v-ziel) με κόκκινη ένδειξη στο κάτω μέρος

Η απόσταση στόχου δηλώνεται στην κεντρική μπάρα. Αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη των 4000m τότε δηλώνεται με ένδειξη στο πάνω μέρος της μπάρας.

Στην οθόνη υπάρχει επίσης ένδειξη που αφορά την κατάσταση λειτουργίας του LZB

Αντί ή συμπληρωματικά της συσκευής MFA μπορεί στην καμπίνα οδήγησης να υπάρχει και οθόνη MFD (Display) με τις αντίστοιχες ενδείξεις (Σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8 Συσκευή MFD [DB 2009 c]

Τα στοιχεία χειρισμού που συνοδεύουν την MFA/ MFD είναι πλήκτρα και διακόπτες που αφορούν την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, την επαγρύπνηση του μηχανοδηγού, την ελευθέρωση από την επίβλεψη, την εκτέλεση εντολών, την ειδοποίηση έκτακτης ανάγκης ή βλάβης, την εναλλαγή από LZB σε PZB.

Βάση εισαγωγής δεδομένων συρμού

Σχήμα 3.9 Εισαγωγή δεδομένων συρμού [DB 2009 a]

Τα δεδομένα συρμού που δίνονται στο σύστημα είναι:

- είδος πέδησης (Bremsart-BRA)
- εκατοστά πέδησης (Brems-hunderstel-BRH)
- μήκος συρμού (Zuglänge-ZL)

- μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα συρμού (VMZ)

Δίνονται επίσης στοιχεία για την ώρα την ημερομηνία και τον αριθμό του συρμού.

Εξοπλισμός ενεργοποίησης πέδησης (Bremswirkgruppe)

Ο εξοπλισμός ενεργοποίησης πέδης ενεργοποιεί στην περίπτωση πέδησης έκτακτης ανάγκης την βαλβίδα ασφαλείας και μέσω αυτής την κεντρική παροχή αέρα (HL) για την ενεργοποίηση της πέδης. Σε συρμούς με κύκλωμα ακαριαίας πέδησης (Schnellbrems Schleife-SBS) ενεργοποιούνται ταυτόχρονα το σύστημα πέδησης έκτακτης ανάγκης και η κεντρική παροχή αέρα (HL).

Εξοπλισμός οδομετρίας και μετρητής ταχύτητας

Για την μέτρηση της θέσης και της ταχύτητας υπάρχουν δύο συστήματα μέτρησης. Αυτά λαμβάνουν τα δεδομένα τους από δύο κωδικοποιητές παλμών και έναν μετρητή επιτάχυνσης. Η συμφωνία των δύο αυτών συστημάτων ελέγχεται και αξιολογείται από τον κεντρικό υπολογιστή.

Πομπός/δέκτης

Σε κάθε συρμό εξοπλισμένο με LZB υπάρχουν κεραίες λήψης και εκπομπής δεδομένων. Αυτές προσφέρουν την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συρμού και γραμμής.

3.2.3 Δομή επικοινωνίας υποσυστημάτων γραμμής – οχήματος

Η επικοινωνία μεταξύ των υποσυστημάτων γραμμής – οχήματος γίνεται με τηλεγραφήματα που μεταδίδονται μεταξύ της κεντρικής μονάδας LZB και του συρμού. Τα τηλεγραφήματα αυτά μεταδίδονται περιοδικά σε κάθε συρμό μία με πέντε φορές το δευτερόλεπτο, ανάλογα με το πλήθος των συρμών υπό έλεγχο. Η κεντρική μονάδα LZB αποστέλλει ένα τηλεγράφημα κλήσης με ταχύτητα 1.200 bits/sec, σε συχνότητα $36 \text{ kHz} \pm 0,4 \text{ kHz}$, ενώ ο συρμός αποστέλλει απαντητικό τηλεγράφημα με ταχύτητα 600 bits/sec, σε συχνότητα $56 \text{ kHz} \pm 0,2 \text{ kHz}$. [E.C. 2006]

Ένα τηλεγράφημα κλήσης είναι 83,5 bits και περιλαμβάνει:

- ακολουθία αρχής: συγχρονισμός 5,5 bits, στοιχείο αρχής 3 bits
- ταυτότητα τμήματος γραμμής, θέση (1-127 ή 255-128)
- πληροφορίες οχήματος: διεύθυνση κίνησης (up/down), τύπος συρμού (επιβατικός/εμπορευματικός), αριθμός καμπύλης πέδησης (1-10, A-B)
- πληροφορίες πέδησης: απόσταση για εφαρμογή πέδης (0-1.550 m)
- πληροφορίες στόχου: απόσταση (0-2.700 m), ταχύτητα (0-315 km/h)
- πληροφορίες ενδείξεων: πληροφορίες σήμανσης 3 bits, συμπληρωματικές πληροφορίες 5 bits

- βοηθητικές πληροφορίες: ταυτότητα ομάδας (1-4) που αφορά στον τύπο απάντησης, ταυτότητα γραμμής (υψηλών ταχυτήτων/κανονική κύρια γραμμή), τύπος κεντρικής μονάδας (LZB 100/72)
- έλεγχος σφάλματος Cyclic redundancy check 8 bits.

Να σημειωθεί ότι στο τηλεγράφημα δεν περιλαμβάνονται πληροφορίες ταυτότητας συρμού, καθώς ο συρμός ταυτολογείται από την θέση του.

Υπάρχουν τεσσάρων τύπων απαντητικά τηλεγραφήματα, 41 bits το κάθε ένα, ανάλογα με την ταυτότητα ομάδας (group identity) που αποστέλλεται στον συρμό από το τηλεγράφημα κλήσης. Το πιο σύνηθες είναι αυτό τύπου 1, το οποίο χρησιμοποιείται για να ενημερώσει την κεντρική μονάδα για την θέση και την ταχύτητα του συρμού και περιλαμβάνει:

- ακολουθία αρχής και συγχρονισμό 6 bits
- ταυτότητα ομάδας (1-4) που αφορά στον τύπο απάντησης
- ενημέρωση θέσης οχήματος : αριθμός ζώνης ± 0 , ± 1 , ± 2
- θέση εντός της ζώνης : 0-87,5 m
- τύπος συρμού : επιβατικός/εμπορευματικός
- αριθμός καμπύλης πέδησης: 16 πιθανές καμπύλες
- τρέχουσα ταχύτητα: 0-315 km/h
- λειτουργικές πληροφορίες 5 bits
- έλεγχος σφάλματος Cyclic redundancy check 7 bits.

Οι άλλοι τύποι τηλεγραφημάτων χρησιμοποιούνται αρχικά, όταν ο συρμός εισέρχεται σε τμήμα γραμμής υπό τον έλεγχο LZB. Αρχίζουν και αυτά με συγχρονισμό και καταλήγουν στον έλεγχο σφάλματος και περιλαμβάνουν:

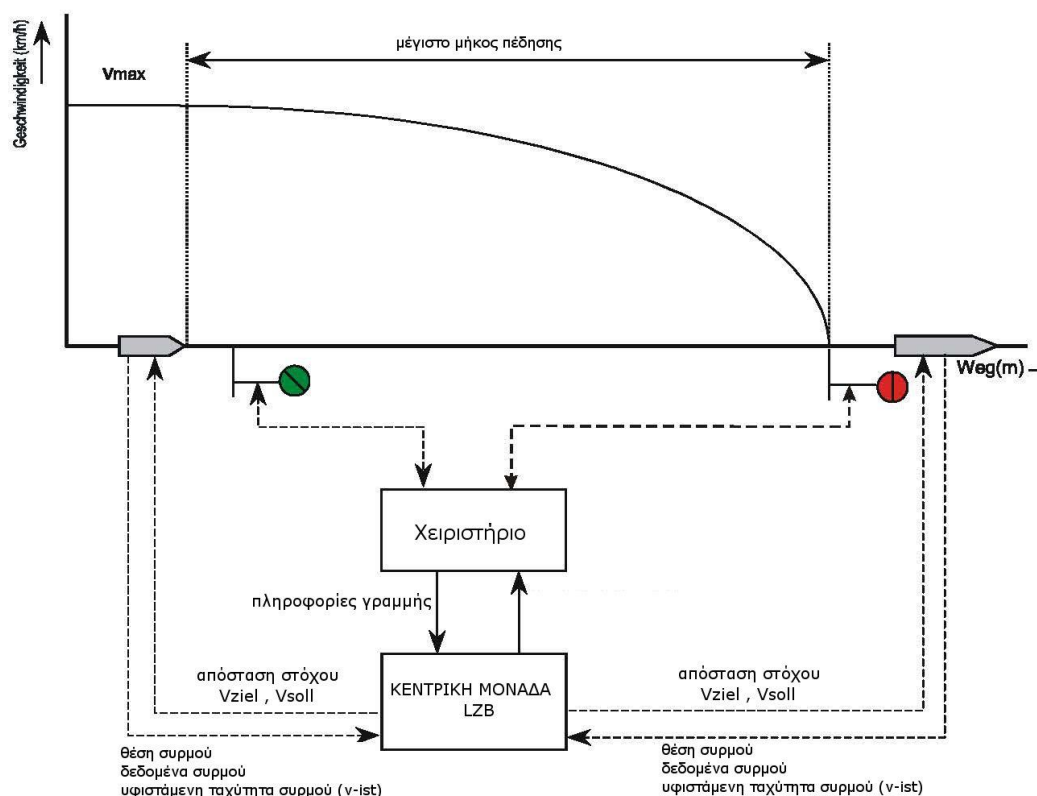
Τύπος 2: ενημέρωση θέσης οχήματος, θέση εντός της ζώνης, τύπος συρμού, αριθμός καμπύλης πέδησης, μέγιστη ταχύτητα συρμού, μήκος συρμού.

Τύπος 3: αριθμός συρμού.

Τύπος 4: σειρά συρμού, αριθμός σειράς, μήκος συρμού.

3.3 Λογική Λειτουργίας

Η βάση της λογικής της λειτουργίας του LZB παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 3.10. Η Κεντρική Μονάδα LZB της γραμμής στέλνει πληροφορίες (πακέτα δεδομένων σε μορφή τηλεγραφημάτων) μέσω του γραμμικού αγωγού, οι οποίες λαμβάνονται από τον LZB πομπό/δέκτη επί του οχήματος. Ο LZB Υπολογιστής οχήματος αξιολογεί τις πληροφορίες αυτές και τις μεταδίδει στον υπόλοιπο εξοπλισμό ανάλογα με τις απαιτούμενες λειτουργίες.



Σχήμα 3.10 Λογική λειτουργίας LZB [DB 2009 b]

Για να μπορεί η Κεντρική Μονάδα LZB να μεταδίδει κάθε φορά σωστές πληροφορίες για την οδήγηση του συρμού, ο LZB Υπολογιστής οχήματος στέλνει δεδομένα για την ήδη καλυμμένη διαδρομή, την ικανότητα πέδησης, την ταχύτητά του και το μήκος και την σύνθεση του συρμού, μέσω του γραμμικού αγωγού και του εξοπλισμού γραμμής, πίσω στην Κεντρική μονάδα LZB. Για αυτόν το σκοπό μεταδίδει αυτόματα και το Σύστημα Μέτρησης Θέσης, την ταχύτητα και τη θέση του συρμού.

Την ικανότητα πέδησης, το μήκος του συρμού και τα άλλα στοιχεία, τα εισάγει ο μηχανοδηγός στον Υπολογιστή του οχήματος κατά την έναρξη της διαδρομής.

Ο οδηγός μηχανής δεν λαμβάνει υπόψη του τις ενδείξεις των φωτοσημάτων αλλά λειτουργεί με βάση τις ενδείξεις της οθόνης στην καμπίνα οδήγησης. Τα στοιχεία που εμφανίζονται στην καμπίνα οδήγησης μετά την επεξεργασία των στοιχείων είναι:

- υφιστάμενη ταχύτητα συρμού (v-ist)
- οφειλόμενη ταχύτητα συρμού (v-soll)
- ταχύτητα στόχος (v-ziel)
- απόσταση στόχου

Η οφειλόμενη ταχύτητα συχνά ισοδυναμεί με την μέγιστη ταχύτητα συρμού, εκτός από περιπτώσεις ειδικών εντολών ή άλλων συνθηκών που απαιτούν μικρότερες ταχύτητες. Η ταχύτητα-στόχος είναι η ταχύτητα που πρέπει να έχει ο συρμός στο σημείο του στόχου, και η απόσταση στόχου είναι η απόσταση μέχρι το στόχο.

Η ένδειξη Στάση δηλώνεται με την ένδειξη 0 για ταχύτητα-στόχο και την αντίστοιχη απόσταση στην οποία αυτή πρέπει να επιτευχθεί.

Για τον υπολογισμό της οφειλόμενης ταχύτητας έχει ληφθεί υπόψη η απαραίτητη κατά περίπτωση πέδηση κατά την προσέγγιση στο σημείο αναφοράς, ώστε να συγκλίνει σταδιακά η οφειλόμενη με την επιδιωκόμενη ταχύτητα και στο σημείο αναφοράς οι δύο αυτές ταχύτητες να ταυτίζονται. Ένα σήμα σε ένδειξη «Στάθμευση» αποτελεί ένα σημείο αναφοράς (σημείο αλλαγής ταχύτητας) με επιδιωκόμενη ταχύτητα ίση με το μηδέν.

Ο εξοπλισμός οχήματος θα υπολογίσει την επιτρεπόμενη ταχύτητα για κάθε σημείο, ώστε ο συρμός, επιβραδυνόμενος σύμφωνα με την καμπύλη πέδησης, να βρεθεί σε στάση στο σημείο αναφοράς.

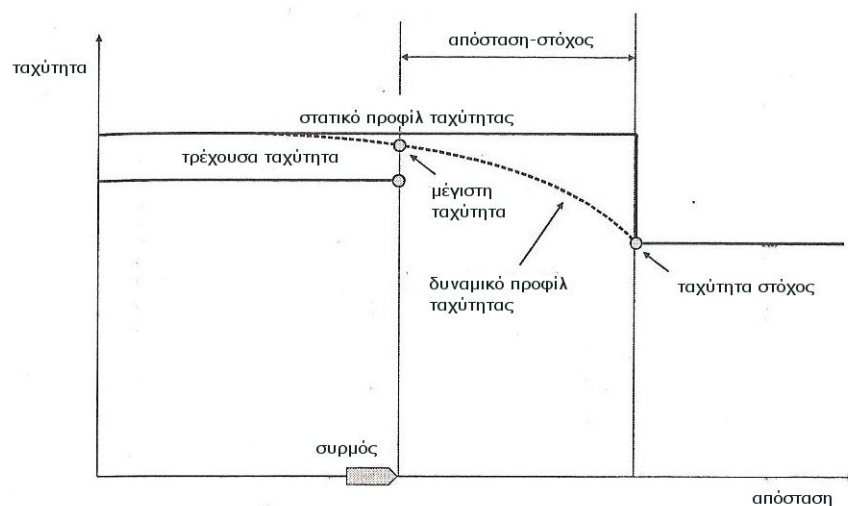
Αν το επόμενο σημείο αναφοράς βρίσκεται σε απόσταση μέχρι και 13000 m (από 4km έως 13 km, ανάλογα με την μονάδα, τον συρμό και την γραμμή)² και μέχρι εκεί δεν εμφανίζεται κάποιος περιορισμός, η επιδιωκόμενη ταχύτητα ισοδυναμεί με την μέγιστη ταχύτητα της γραμμής. Με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζεται στον οδηγό η προσβασιμότητα των επόμενων τμημάτων γραμμής με περιορισμούς ταχύτητας. Στα συμβατικά συστήματα σηματοδότησης, τα ίδια αποτελέσματα και με τους ίδιους όρους θα κωδικοποιούνταν με περισσότερα κύρια και δευτερεύοντα σήματα.

Καθώς ο συρμός προσεγγίζει την περιοχή περιορισμού ταχύτητας, το σύστημα LZB θα ειδοποιήσει τον μηχανοδηγό με ηχητική ειδοποίηση και θα εμφανίσει στην οθόνη οδήγησης την απόσταση που απομένει και την ταχύτητα περιορισμού. Καθώς ο συρμός πλησιάζει η απόσταση μειώνεται. Όσο ο συρμός πλησιάζει στην περιοχή περιορισμού, η επιτρεπόμενη ταχύτητα συγκλίνει στην ταχύτητα περιορισμού. Στο σημείο αυτό η οθόνη θα αλλάξει και θα δίνει πληροφορίες για την επόμενη θέση-στόχο.

² Μέγιστη απόσταση στόχου ανάλογα με την μέγιστη ταχύτητα και τα εκατοστά πέδησης.
[DB 2009 c]

BHR	V (km/h)			
	10-100	110-160	170-200	210-280
60	7000	990	/	/
70-240	4000		7000	9900

Σημείωση: σε συγκεκριμένες γραμμές τάξης CE (20,0t, 8,0t/m) μπορεί να φτάσει και τα 13000 m



Σχήμα 3.11 Καμπύλη πέδησης LZB [TUB 2011]

Στην περίπτωση που ο οδηγός υπερβεί την επιτρεπόμενη ταχύτητα τότε το σύστημα LZB θα ειδοποιήσει τον οδηγό με ηχητικό και φωτεινό σήμα. Εάν ο οδηγός δεν καταφέρει να μειώσει την ταχύτητα του συρμού τότε το σύστημα ενεργοποιεί την αυτόματη πέδηση και μπορεί να φέρει τον συρμό σε στάση αν αυτό απαιτείται.

Το σύστημα μετάδοσης των εντολών στην καμπίνα οδήγησης του μηχανοδηγού έχει επίσης το πλεονέκτημα της οδήγησης κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες ορατότητας (ομίχλη, μεγάλες καμπυλότητες σε σήραγγες).

Επίσης ο εξοπλισμός οχήματος LZB περιλαμβάνει το συμβατικό σύστημα PZB για χρήση σε γραμμές που δεν είναι εξοπλισμένες με LZB.

4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ETCS

4.1 Γενικά

Το ERTMS (European Rail Traffic Management System) είναι ένα ευρωπαϊκό σύστημα που έχει ως βασικούς στόχους την ανάπτυξη, τη διευκόλυνση και την βελτίωση των διεθνών υπηρεσιών σιδηροδρομικών μεταφορών εντός της ευρωπαϊκής ένωσης καθώς και την διαλειτουργικότητα του διευρωπαϊκού δικτύου σιδηροδρόμων.

Το ERTMS αποτελείται από τέσσερα στοιχεία:

- Σύστημα ETCS (European Train Control System). Το σύστημα αυτό προσφέρει αυτόματο έλεγχο και ασφάλεια συρμού. Υπάρχουν πέντε επίπεδα εφαρμογής, καθένα από τα οποία προσφέρει διαφορετικού βαθμού έλεγχο και προστασία μέσω σηματοδότησης, και δεκαέξι διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας. Δεν είναι όλες οι καταστάσεις λειτουργίας διαθέσιμες σε όλα τα επίπεδα εφαρμογής.
Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το ETCS λειτουργεί με την αρχή να προσφέρει στο συρμό την μέγιστη απόσταση στην οποία μπορεί να κινηθεί, την κατανομή ταχυτήτων που επιτρέπει η γραμμή στη συνέχεια της διαδρομής και άλλες πληροφορίες για τη γραμμή που αφορούν τη διαδρομή που έχει οριστεί. Τότε ο συρμός επιτρέπει στον οδηγό να λειτουργήσει εντός των ορίων απόστασης και ταχύτητας. Σε αντίθετη περίπτωση το εξοπλισμός οχήματος ETCS παρεμβαίνει στον έλεγχο του συρμού και τον φέρνει σε στάση όταν αυτό είναι απαραίτητο.
- Σύστημα GSM-R (Global System for Mobile communication –Railways). Το σύστημα αυτό παρέχει τηλεπικοινωνία στο σύστημα ERTMS. Μέσω αυτού γίνεται, σε κάποιες εφαρμογές, η μεταφορά πληροφοριών του ETCS μεταξύ γραμμής και οχήματος. Παρέχει επίσης και φωνητική επικοινωνία. Η

λειτουργία του βασίζεται σε συνηθισμένη τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, αλλά σε δεσμευμένες για το σιδηρόδρομο συχνότητες.

- ETML (European Traffic Management Layer) Διαχείριση της Κυκλοφορίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Το στοιχείο αυτό αφορά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σιδηρόδρομου μέσω βελτιωμένης διαχείρισης της κίνησης των συρμών, τη μεγιστοποίηση της δυναμικής μιας δεδομένης διάταξης και τη μείωση των διενέξεων του δρομολογίου.
- EOR (European Operational Rules) Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί Λειτουργίας. Το EOR αποτελεί ένα σύνολο συμφωνημένων κανονισμών που αφορούν την τυποποίηση ορισμένων πτυχών της λειτουργίας του σιδηρόδρομου σε όλη την Ευρώπη.

Το ETCS ως στοιχείο του ERTMS, αποτελεί μέρος ενός συστήματος σηματοδότησης και αποτελείται από δύο μέρη:

1. Τον ETCS εξοπλισμό γραμμής και
2. τον ETCS εξοπλισμό οχήματος.

Για το σχηματισμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος σηματοδότησης απαιτείται υποστηρικτικός εξοπλισμός καθώς και, για κάποιες εφαρμογές, εξοπλισμός για την μετάδοση πληροφοριών μεταξύ γραμμής και οχήματος.

4.2 Αρχιτεκτονική του συστήματος ETCS

4.2.1 ETCS εξοπλισμός γραμμής

Ο εξοπλισμός γραμμής του ETCS περιλαμβάνει πάντα συσκευές balise. Επίσης μπορεί να περιλαμβάνει RCB (Radio Block Centre), Euroloops και Radio In-fill Units.

4.2.1.1 Πλευρική ηλεκτρονική μονάδα (LEU- Lineside Electronic Unit)

Η μονάδα LEU είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που εγκαθίσταται δίπλα σε κάθε φωτόσημα και περιέχει αποθηκευμένες πληροφορίες για την γραμμή που ακολουθεί, όπως κλίσεις, όρια ταχύτητας, απόσταση μέχρι το επόμενο φωτόσημα. Συνδέεται με το Eurobalise, το οποίο μεταδίδει τις απαιτούμενες πληροφορίες στον συρμό. Η LEU είναι επίσης υπεύθυνη για την μετάδοση μηνυμάτων άδειας πορείας (MA) στον συρμό, δηλαδή δίνει την δυνατότητα στον συρμό να συνεχίσει την πορεία του.

4.2.1.2 Αναμεταδότης Eurobalise



Εικόνα 4.1 Eurobalise

Η συσκευή Eurobalise (ή balise) είναι ένας αναμεταδότης δεδομένων από τη γραμμή προς το όχημα και είναι εγκατεστημένος στον κύριο άξονα της γραμμής. Οι συσκευές balise λειτουργούν σε όλα τα επίπεδα λειτουργίας του ETCS (ως δείκτες θέσης στα επίπεδα 2 και 3 και στο επίπεδο 1 και για μετάδοση άδειας πορείας) και δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ενέργειας καθώς ενεργοποιούνται από τον διερχόμενο συρμό. Όταν ενεργοποιηθεί ένα balise από έναν διερχόμενο συρμό, τότε μεταδίδει σε αυτόν ένα ηλεκτρονικό μήνυμα.

Το περιεχόμενο των ηλεκτρονικών μηνυμάτων που μεταδίδει ένα balise ποικίλουν ανάλογα με το σκοπό. Τα balise διακρίνονται σε σταθερά και μεταβλητά. Ένα balise μπορεί είτε να μεταδίδει το ίδιο καθορισμένο μήνυμα σε κάθε αναμετάδοση, είτε συνδεδεμένο με κάποιο τοπικό διακόπτη να μεταδίδει διαφορετικά κάθε φορά μηνύματα σύμφωνα με τα στοιχεία που λαμβάνει.

Τα μηνύματα που μεταδίδουν τα balise αποτελούν μεμονωμένα πακέτα δεδομένων που περιέχουν πληροφορίες απαραίτητες για τον συρμό. Αφού ένας συρμός μπορεί να διέλθει πάνω από ένα balise και από τις δύο κατευθύνσεις πορείας, κάθε πακέτο δεδομένων μπορεί να είναι έγκυρο είτε για τη μία είτε και για τις δύο κατευθύνσεις πορείας. Τα μηνύματα που μεταδίδονται αφορούν άδειες πορείας, δεδομένα γραμμής: κλίσεις, δεδομένα καταλληλότητας της γραμμής, όρια ταχύτητας, αριθμός και θέση balise, επιτρεπόμενο αξονικό φορτίο, εντολές αλλαγής επιπέδου λειτουργίας ETCS, γεωγραφική θέση κ.α.

Τα balise μπορούν να λειτουργήσουν και σε ομάδες (balise groups). Οι ομάδες αυτές μπορούν να αποτελούνται από ένα μέχρι οχτώ balise καθένα από τα οποία είναι μοναδικά αναγνωρίσιμο μέσα στην κάθε ομάδα. Κάθε ομάδα επίσης έχει μοναδική ταυτότητα. Οι ομάδες balise χρησιμοποιούνται για να βοηθούν τον

εκάστοτε συρμό να προσδιορίσει την κατεύθυνση πορείας του. Ένας συρμός προσδιορίζει την κατεύθυνση πορείας του από την εντολή του δέχεται από την ομάδα balise. Μία τέτοια πληροφορία εγκαθίσταται γρηγορότερα όταν μεταδίδεται από ομάδα balise που αποτελείται από δύο ή περισσότερα balise.

Πολλαπλά balise σε μια ομάδα balise επιτρέπουν την μετάδοση περισσότερων πληροφοριών. Επίσης επιτρέπουν τον πλεονασμό μετάδοσης του ίδιου μηνύματος από περισσότερα balise, εξασφαλίζοντας έτσι την μετάδοση του μηνύματος ακόμα και αν κάποιο μήνυμα για οποιονδήποτε λόγο δεν μπορέσει να μεταδοθεί. Συλλογικά τα τηλεγραφήματα μίας ομάδας balise διαμορφώνουν ένα ηλεκτρονικό μήνυμα.

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο balise καθορίζεται από τον ελάχιστο χρόνο ανάμεσα στην λήψη των τηλεγραφημάτων από δύο διαδοχικά balise όταν ο συρμός κινείται με την μέγιστη ταχύτητα κατά την διέλευσή του πάνω από αυτά (ενδεικτικά για 180km/h 2,3m-2,6m, για 300km/h 3m και για 500km/h 5m)

4.2.1.3 Κέντρο ραδιοεπικοινωνίας Radio Block Centre (RBC)

Το Radio Block Centre (RBC) λειτουργεί στα ETCS επίπεδα λειτουργίας 2 και 3. Όταν παρέχεται RBC στο υποσύστημα της γραμμής, τότε αυτό αποτελεί το βασικό στοιχείο του εξοπλισμού γραμμής και αφήνει στις ομάδες balise μόνο την λειτουργία της αναφοράς θέσης. Το RBC βρίσκεται μαζί με άλλο εξοπλισμό έλεγχου και σηματοδότησης στο κέντρο ελέγχου ή διαχείρισης κυκλοφορίας. Το RBC στέλνει ηλεκτρονικά μηνύματα προς, και δέχεται ηλεκτρονικά μηνύματα από τον ETCS εξοπλισμό οχήματος που βρίσκεται σε συρμό, ο οποίος κινείται εντός της περιοχής την οποία ελέγχει. Τα μηνύματα αυτά μεταδίδονται μέσω κεραία εκπομπής δεδομένων GSM-R (data radio). Κάθε ηλεκτρονικό μήνυμα μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα αυτά έχουν την ίδια δομή με αυτά που μεταδίδονται μέσω των συσκευών balise.

Το RBC παρακολουθεί τα τμήματα αποκλεισμού και παράγει μηνύματα άδειας πορείας MA (Movement Authority). Ένα MA μήνυμα εκπέμπεται όταν έχει οριστεί μία διαδρομή, ικανοποιούνται όλες οι συνθήκες για την κίνηση του συρμού και το RBC βρίσκεται σε επικοινωνία με τον συρμό που είναι έτοιμος να εισέλθει στην διαδρομή αυτή.

Το RBC περιλαμβάνει επίσης δεδομένα που αφορούν την περιγραφή της διαδρομής καθώς και τους περιορισμούς ταχύτητας που θα συναντήσει ο συρμός (κλίσεις και δεδομένα περιορισμού ταχύτητας). Τα δεδομένα αυτά δεν παρέχονται από τα τμήματα αποκλεισμού, είναι όμως απαραίτητα ώστε ο συρμός να μπορεί να ακολουθήσει το υπολογισμένο προφίλ ταχύτητας.

Το RBC δέχεται επίσης πληροφορίες από το συρμό που αφορούν την θέση και την κατάσταση στην οποία αυτός βρίσκεται.

Το RBC παρέχει στον σηματοδότη μία διεπαφή μέσω της οποίας ο σηματοδότης μπορεί να παρακολουθεί και να επηρεάζει πτυχές της λειτουργίας του RBC.

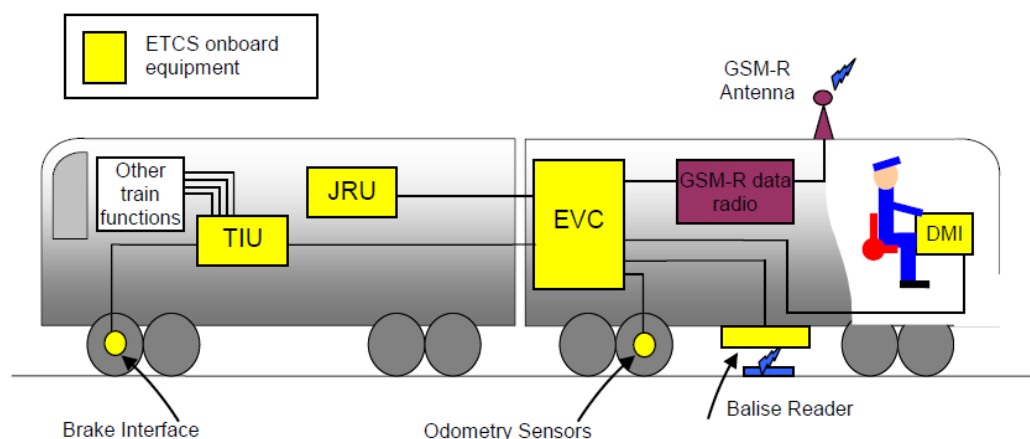
4.2.1.4 Κυκλώματα - βρόγχοι Euroloop

Η συσκευή Euroloop λειτουργεί μόνο στο ETCS επίπεδο εφαρμογής 1 και βοηθάει στην αποδοτικότητα του υπάρχοντος σταθερού συστήματος σηματοδότησης ώστε να προσεγγίσει αυτή του επιπέδου εφαρμογής 2. Το Euroloop είναι ένα κύκλωμα τοποθετημένο στην γραμμή το οποίο μπορεί να μεταφέρει μηνύματα στο συρμό επί ενός μήκους της γραμμής, αντί σημειακά όπως τα balise. Αυτό προσδίδει λειτουργική ευελιξία ως προς τη θέση όπου ο συρμός θα λάβει πληροφορίες από τη γραμμή. Κάθε ηλεκτρονικό μήνυμα μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα αυτά έχουν την ίδια δομή με αυτά που μεταδίδονται μέσω των συσκευών balise.

4.2.1.5 Ραδιοεπικοινωνία Radio In-fill Unit

Η συσκευή Radio In-fill Unit λειτουργεί μόνο στο ETCS επίπεδο λειτουργίας 1. Το Radio In-fill Unit στέλνει ηλεκτρονικά μηνύματα στον ETCS εξοπλισμό οχήματος εντός συγκεκριμένου μήκους γραμμής, αντίθετα από τα balise που μεταδίδουν μηνύματα σε συγκεκριμένες θέσεις πάνω στη γραμμή. Αυτό προσδίδει λειτουργική ευελιξία ως προς τη θέση όπου ο συρμός θα λάβει πληροφορίες από τη γραμμή. Τα μηνύματα μεταδίδονται μέσω κεραία εκπομπής δεδομένων GSM-R (data radio). Κάθε ηλεκτρονικό μήνυμα μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων. Τα πακέτα αυτά έχουν την ίδια δομή με αυτά που μεταδίδονται μέσω των συσκευών balise.

4.2.2 ETCS εξοπλισμός οχήματος



Σχήμα 4.1 ETCS εξοπλισμός οχήματος [RGGN 2010]

Κάθε καμπίνα οδήγησης πρέπει να είναι συνδεδεμένη με μία μονάδα ETCS εξοπλισμού οχήματος. Περισσότερες όμως καμπίνες οδήγησης ενός συρμού ή ενός σχηματισμού πολλαπλών μονάδων μπορεί να είναι συνδεδεμένες με την ίδια μονάδα εξοπλισμού. Όταν ένας συρμός ή ένας σχηματισμός πολλαπλών μονάδων λειτουργεί με πολλαπλούς εξοπλισμούς τότε μόνο μια μονάδα ETCS εξοπλισμού οχήματος παρέχει την επίβλεψη.

4.2.2.1 Υπολογιστικός πυρήνας European Vital Computer (EVC)

Ο συρμός είναι εξοπλισμένος με έναν υπολογιστή με ονομασία European Vital Computer (EVC). Ο υπολογιστής αυτός αποτελεί τον πυρήνα του ETCS εξοπλισμού οχήματος. Είναι αυτός που παρέχει επίβλεψη της κίνησης του συρμού σε σχέση με τα δεδομένα που δέχεται από το υποσύστημα της γραμμής (balise/ RCB /Euroloops/ Radio In-fill Units), τον μετρητή θέσης του οχήματος, τον οδηγό και άλλες αποθηκευμένες πληροφορίες και παρέχει αποτελέσματα προς τον οδηγό, μέσω της οθόνης καμπίνας οδήγησης (in-cab display), προς το σύστημα πέδησης του συρμού, προς άλλες λειτουργίες του συρμού μέσω της μονάδας διεπαφής του συρμού TIU (Train Interface Unit) και μεταδίδει πληροφορίες πίσω στο RCB αν αυτό απαιτείται.

Για την επίβλεψη της κίνησης του συρμού απαιτούνται τα παρακάτω στοιχεία:

- κλίση γραμμής
- τύπος έλξης/ πέδησης
- συντελεστής πρόσφυσης
- κατηγορία συρμού
- μέγιστη ταχύτητα συρμού
- μήκος συρμού
- αξονικό φορτίο
- περιορισμοί ταχύτητας ανάλογα με την εκάστοτε κατάσταση λειτουργίας

- περιορισμοί ταχύτητας που σχετίζονται με την σηματοδότηση
- δεδομένα άδειας πορείας
- υφιστάμενη ταχύτητα συρμού
- υφιστάμενο τέλος άδειας πορείας

Με τα δεδομένα αυτά ο EVC υπολογίζει:

- I. το στατικό προφίλ ταχυτήτων
- II. το δυναμικό προφίλ ταχυτήτων
- III. την ταχύτητα απελευθέρωσης

συγκρίνει τις ταχύτητες και ελέγχει την παρέμβαση του συστήματος.

4.2.2.2 Μονάδα διασύνδεσης συρμού Train Interface Unit (TIU)

Η μονάδα διασύνδεσης συρμού, Train Interface Unit (TIU), είναι το μέσο με το οποίο το ETCS ελέγχει τις λειτουργίες του συρμού και περιλαμβάνει:

- το σύστημα πέδησης του συρμού (train braking system). Περιλαμβάνει και τα δύο συστήματα πέδησης του συρμού, το σύστημα λειτουργίας και το σύστημα έκτακτης ανάγκης. Το σύστημα πέδησης έκτακτης ανάγκης είναι και κρίσιμο για την ασφάλεια του συρμού.
- τον έλεγχο του συρμού (train control). Το ETCS έχει τη δυνατότητα να ορίσει την αλλαγή της δύναμης έλξης, την ανύψωση ή το χαμήλωμα ενός παντογράφου και να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει που ορισμένα δεδομένα έχουν ληφθεί από τον εξοπλισμό γραμμής.
- τον έλεγχο της μηχανής (engine control). Περιλαμβάνεται και μια διεπαφή που σταματάει την έλξη. Αυτή χρησιμοποιείται όταν ο ETCS εξοπλισμός οχήματος έχει ενεργοποιήσει την πέδη ,είτε λειτουργίας είτε έκτακτης ανάγκης, ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν είναι ενεργή η ελκτική διαδικασία.
- τις πληροφορίες κατάστασης της καμπίνας (cab status information). Αυτές περιλαμβάνουν τον καθορισμό της θέσης του ελεγκτή κατεύθυνσης και το αν οι ενδείξεις στην καμπίνα οδήγησης είναι ενεργές ή όχι.

4.2.2.3 Κεραία ανάγνωσης Balise Reader

Οι συρμοί είναι εξοπλισμένοι με μία κεραία ανάγνωσης Balise (Balise Reader) . Αυτή ενεργοποιεί το Balise της γραμμής το οποίο μεταδίδει το μήνυμά του προς τον συρμό. Η κεραία ανάγνωσης Balise δέχεται το μήνυμα και το μεταδίδει μέσω μίας μονάδας μετάδοσης Balise (Balise Transmission Module – BTM) στον EVC. Η κεραία ανάγνωσης Balise μπορεί να δεχτεί και μηνύματα από τα Euroloops και να τα μεταβιβάσει στον EVC μέσω μίας μονάδας μετάδοσης Loop (Loop Transmission Module – LTM).

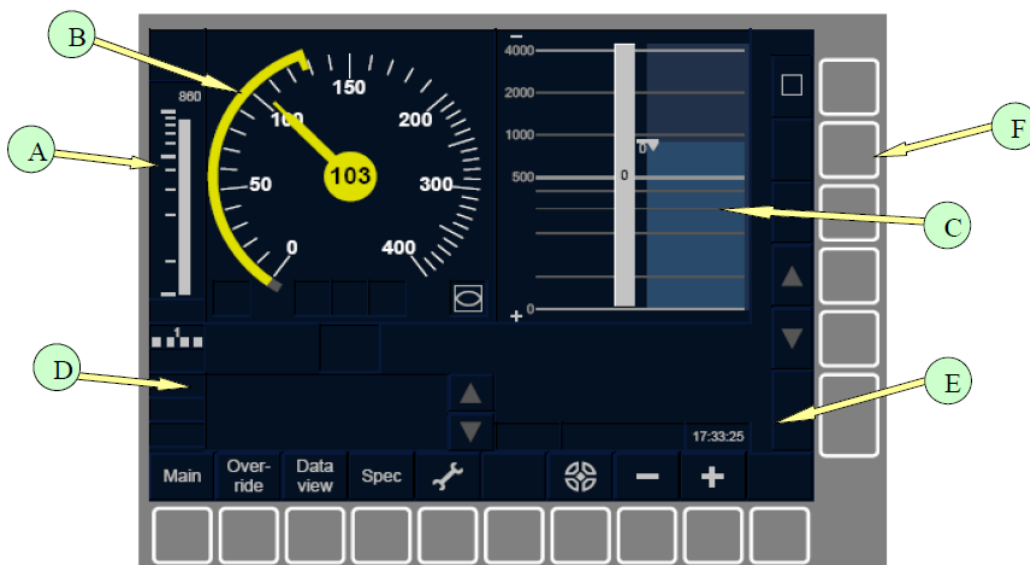
4.2.2.4 Διεπαφή μηχανοδηγού - συστήματος (DMI)

Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος επικοινωνεί με τον οδηγό του οχήματος μέσω της Διεπαφής μηχανοδηγού και μηχανημάτων Driver Machine Interface (DMI), μια οθόνη, τοποθετημένη σε κυρίαρχη θέση εντός της καμπίνας οδήγησης. Η οθόνη DMI παρέχει στον οδηγό όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζεται για να προσδιορίσει:

- την απόσταση στην οποία ο συρμός έχει την άδεια να κινηθεί,
- την μέγιστη ταχύτητα την οποία ο συρμός δεν πρέπει να υπερβεί και
- το σημείο στο οποίο ο οδηγός πρέπει να αρχίσει την πέδηση ώστε να αποφευχθεί η παρέμβαση του ETCS εξοπλισμός οχήματος.

Η οθόνη DMI μπορεί να είναι οθόνη αφής ή/και να έχει πλήκτρα με τα οποία ο οδηγός εισάγει πληροφορίες, αιτεί άδεια κίνησης και δηλώνει ενήμερος για ορισμένες καταστάσεις.

Μια εκδοχή της οθόνης DMI φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Να σημειωθεί ότι τα πλήκτρα που βρίσκονται στην δεξιά μεριά της οθόνης μπορεί να αλλάζουν λειτουργία ανάλογα με την ισχύουσα κατάσταση λειτουργίας.



Σχήμα 4.2 Οθόνη DMI [RGGN 2010]

Οι πληροφορίες που παρέχονται από την οθόνη DMI είναι οι εξής:

- πληροφορίες που αφορούν την απόσταση επίβλεψης (περιοχή A). Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η κατακόρυφη μπάρα στην αριστερή πλευρά της οθόνης, με την ένδειξη απόστασης 800 m, απόσταση στην οποία ο συρμός θα πρέπει να έχει αποκτήσει άλλη ταχύτητα. Αυτή εμφανίζεται μόνο όταν ο οδηγός καλείται να ενεργοποιήσει την πέδηση ώστε να αποφευχθεί η παρέμβαση

του ETCS εξοπλισμός οχήματος στην ταχύτητα του συρμού. Για την μελλοντική επιδιωκόμενη ταχύτητα ο οδηγός παίρνει πληροφορίες είτε από τις πληροφορίες ταχύτητας (περιοχή B) είτε από την περιοχή σχεδιασμού (περιοχή C).

- πληροφορίες που αφορούν την ταχύτητα (περιοχή B). Η ταχύτητα εμφανίζεται σε km/h. Στο σχήμα φαίνεται η τρέχουσα ταχύτητα 103 km/h, η τρέχουσα επιτρεπόμενη ταχύτητα 135 km/h, η οποία δηλώνεται με τον κίτρινο δείκτη και την γραμμή γύρω από το ταχύμετρο, και η επιδιωκόμενη ταχύτητα στόχου, εδώ 0 km/h, που δηλώνεται από το τέλος της κίτρινης γραμμής που καταλήγει στο 0. Στο κάτω δεξιά μέρος του ταχύμετρου εμφανίζεται το σύμβολο που δηλώνει την εκάστοτε κατάσταση λειτουργίας του ETCS (εδώ FS mode).
- περιοχή σχεδιασμού διαδρομής (περιοχή C). Αυτό το τμήμα της οθόνης DMI δίνει στον οδηγό μια επισκόπηση της γραμμής που ακολουθεί και παρέχει πληροφορίες εκ των προτέρων για τα ακόλουθα 4 km (η απόσταση απεικονίζεται γραμμικά από 0m έως 100m και με λογαριθμική κλίμακα για >100m). Στο σχήμα φαίνεται και άλλη μία κατακόρυφη μπάρα στη μέση του τμήματος αυτού. Η ένδειξη της μπάρας αυτής δηλώνει την κλήση της γραμμής, εδώ 0 , για τα επόμενα 4 km. Στα δεξιά της μπάρας αυτής δηλώνεται με ειδικό σύμβολο, εδώ 0 στην απόσταση 800m, σε λογαριθμική κλίμακα απόστασης, η μελλοντική ταχύτητα στόχος. Αυτή είναι η ίδια ένδειξη που εμφανίζεται και στην περιοχή A.
- Συμπληρωματικό παράθυρο οδήγησης (περιοχή D). Το παράθυρο αυτό βρίσκεται κάτω από την επίβλεψη της απόστασης. Η ένδειξη που εμφανίζεται εκεί αλλάζει ανάλογα με το ETCS επίπεδο εφαρμογής. Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται επίσης μηνύματα κειμένου και άλλα γεγονότα που απαιτούν την αναγνώριση από τον οδηγό, όπως η είσοδος σε μία σήραγγα ή το κατέβασμα του παντογράφου.
- Παράθυρο ελέγχου (περιοχή E). Το παράθυρο αυτό βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης και δίνει συμπληρωματικές πληροφορίες, όπως την γεωγραφική θέση του συρμού. Επίσης δείχνει και την τοπική ώρα, όπως φαίνεται και στο σχήμα.
- Κύριο παράθυρο μενού/ εισαγωγή δεδομένων (περιοχή F).το παράθυρο αυτό βρίσκεται στην δεξιά άκρη της οθόνης. Εκεί υποδεικνύονται τυπικές λειτουργίες που παρέχονται από τα πλήκτρα που βρίσκονται δεξιά της οθόνης.

4.2.2.5 Εξοπλισμός Οδομετρίας

Το σύστημα οδομετρίας (Odometry) επί του οχήματος παρέχει στον συρμό πληροφορίες τόσο για την ταχύτητα όσο και για την απόσταση που έχει διανυθεί. Πρέπει να είναι υψηλής πιστότητας, για αυτό παρέχεται από πάνω από έναν

μηχανισμούς. Τυπικά ο ECV δέχεται δεδομένα από ταχύμετρα και από ραντάρ ταχύτητας που είναι τοποθετημένα στο κάτω μέρος του οχήματος. Ο ECV χρησιμοποιεί τις πληροφορίες αυτές για να υπολογίσει την ταχύτητα και τη θέση του συρμού ώστε να μπορεί να επιβλέπει τον συρμό σωστά. Ο ECV χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες και για να κάνει περιοδικά αναφορές θέσης στον ETCS εξοπλισμό γραμμής.

Τα πρότυπα του ETCS απαιτούν για την οδομετρία ακρίβεια τουλάχιστον $\pm(5\text{m} + 5\%)$ της διανυθείσας απόστασης από την τελευταία διέλευση από ομάδα Balise.

4.2.2.6 Μονάδα καταγραφής Juridical Recorder Unit

Το ETCS απαιτεί την ύπαρξη μίας μονάδας καταγραφής δεδομένων επί του οχήματος, Juridical Recorder Unit (JRU). Η μονάδα αυτή είναι σχεδιασμένη να αντέχει και στα πιο σοβαρά από τα πιθανά σιδηροδρομικά ατυχήματα, ώστε μετά από κάποιο τέτοιο συμβάν να υπάρχει η δυνατότητα να αναγνωριστούν τα συμβάντα που οδήγησαν σε αυτό το ατύχημα. Για την επίτευξη αυτού, η μονάδα JRU καταγράφει όλα τα μηνύματα που εκπέμπει και λαμβάνει ο συρμός, τις αντιδράσεις του οδηγού του οχήματος και τις εντολές του ECV.

4.2.2.7 Μονάδα STM

Η μονάδα STM (Specific Transmission Module) επιτρέπει στον ETCS εξοπλισμό οχήματος να παρέχει λειτουργία στα εθνικά συστήματα ελέγχου και επιρροής συρμού. Το STM προσφέρει τη δυνατότητα ανάγνωσης μηνυμάτων από τον εξοπλισμό γραμμής των εθνικών συστημάτων ελέγχου. Όταν το ETCS βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας STM, η οθόνη DMI και το ETCS TIU παρέχουν τις πληροφορίες από το εκάστοτε εθνικό σύστημα.

Η χρησιμότητα του STM έγκειται στο γεγονός ότι δεν χρειάζεται η εγκατάσταση στον συρμό επιπλέον εξοπλισμού για το εκάστοτε εθνικό σύστημα και στο ότι μπορεί να αλλάζει επιτήρηση από ETCS σε κάποιο εθνικό σύστημα υπό τον έλεγχο λογισμικού.

4.2.3 Υποστηρικτικός εξοπλισμός

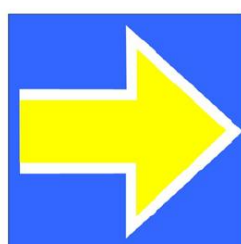
4.2.3.1 Γενική διάταξη

Το σύστημα ETCS αποτελεί μέρος ενός συστήματος σηματοδότησης. Για το σχηματισμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος σηματοδότησης απαιτείται υποστηρικτικός εξοπλισμός καθώς και, για κάποια επίπεδα εφαρμογής, εξοπλισμός GSM-R (Global System for Mobile communication – Railways) για την μετάδοση πληροφοριών μεταξύ γραμμής και οχήματος.

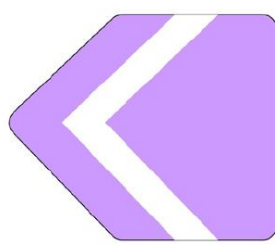
Ο συμβατικός εξοπλισμός σηματοδότησης περιλαμβάνει: σύστημα αποκλεισμού, διεπαφή σηματοδότη, τεχνικό σταθμό, ανιχνευτή συρμού, ισόπεδες διαβάσεις,

σημεία ενεργοποιητές, απελευθερωτές γραμμής, έμβολα, δείκτες και σήμανση. Ο συμβατικός εξοπλισμός σηματοδότησης μπορεί να περιλαμβάνει και φωτοσήματα.

Όταν ένα σύστημα εφαρμοστεί ως ETCS επίπεδο 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση, παρέχεται πρόσθετη σήμανση στη μορφή των δεικτών των τμημάτων αποκλεισμού (ETCS block markers) και σε πλακέτες εισόδου (shunt Entry Boards). Τα block markers σημειώνουν την αρχή και το πέρας μιας σεσημασμένης κίνησης, ενώ τα shunt Entry Boards μόνο την αρχή. Κάθε ένα από αυτά παρέχεται μαζί με μία συνοδευτική πινακίδα. Αν ένα block marker συνοδεύεται από πινακίδα της εικόνας 4.2 (passable plate) είναι βατό. Σε αντίθετη περίπτωση είναι μη βατό (non-passable). Όλα τα shunt Entry Boards είναι μη βατά.



Block Marker



Shunt Entry Board

**Εικόνα 4.2**

Passable plate
[RGGN 2010]

Εικόνα 4.3 Block Marker- Shunt Entry Board [RGGN 2010]

Μόνιμοι πίνακες περιορισμού ταχύτητας μπορεί να υπάρχουν, για χρήση σε υποβαθμισμένες καταστάσεις λειτουργίας, όταν η επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι μικρότερη από την μέγιστη ταχύτητα που θα έδινε το σύστημα ETCS σε κατάσταση λειτουργίας SR.

Πρόσθετη σηματοδότηση παρέχεται και στα όρια της περιοχής με ETCS επίπεδο 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση, στις παρακάτω μορφές:

- Προειδοποίηση για έναρξη σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης,
- Έναρξη σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης,
- Πέρασ σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης.

4.2.3.2 Δίκτυο εκπομπής δεδομένων GSM-R (GSM-R data radio network)

Παρόλο που το GSM-R (Global System for Mobile communication –Railways) δεν αποτελεί τμήμα του ETCS, χρησιμοποιείται από αυτό σε κάποια επίπεδα λειτουργίας για την επικοινωνία μεταξύ RBC και ETCS εξοπλισμού οχήματος.

Το RBC είναι συνδεδεμένο μέσω ενός σταθερού τηλεπικοινωνιακού δικτύου με ένα κινητό κέντρο μεταγωγής. Αυτό ελέγχει και διαχειρίζεται το σύστημα GSM-R. Το κέντρο μεταγωγής είναι συνδεδεμένο με βάσεις πομποδέκτη. Αυτές είναι τοπικές κεραιές επικοινωνίας τοποθετημένες κατά μήκος της γραμμής για την μετάδοση

πληροφοριών ασύρματα, μεταξύ γραμμής και οχήματος σε φάσμα συχνοτήτων 4 MHz.

Ο εξοπλισμός GSM-R επί του οχήματος περιλαμβάνει μία κεραία τοποθετημένη στην οροφή του οχήματος. Μέσω αυτής επικοινωνεί ο συρμός με τον ETCS εξοπλισμό γραμμής.

Δεν είναι απαραίτητο για το GSM-R data radio να έχει συνεχόμενη κάλυψη. Κενά μπορούν να έχουν προγραμματιστεί κατά τον σχεδιασμό του συστήματος. Παρόλα αυτά, όταν σχεδιάζονται τέτοια κενά, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο πώς ο συρμός θα λειτουργήσει σε ένα τέτοιο κενό και κυρίως σε μη ομαλές συνθήκες ή σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης.

Το GSM-R, ως τμήμα του ERTMS, χρησιμοποιείται επίσης και ως κομμάτι της φωνητικής επικοινωνίας μεταξύ σηματοδότη και του οδηγού του οχήματος. Επειδή όμως η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς σήματος για αξιόπιστη επικοινωνία ETCS δεδομένων είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτεί τη φωνητική επικοινωνία GSM-R, μπορεί να κριθεί απαραίτητη κάποια αναβάθμιση της υποδομής GSM-R γραμμής.

4.3 Η συμπεριφορά του συστήματος

Το ETCS επιβλέπει την κίνηση του συρμού, ώστε να εξασφαλίσει ότι ο συρμός δεν θα κινηθεί πέρα από την απόσταση για την οποία έχει άδεια και ταυτόχρονα δεν θα κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα από την επιτρεπόμενη. Ο βαθμός επίβλεψης εξαρτάται από το επίπεδο εφαρμογής και την κατάσταση λειτουργίας του ETCS. Το επίπεδο εφαρμογής αφορά το επίπεδο ETCS (ETCS Level) της διαδρομής, ενώ η κατάσταση λειτουργίας αφορά τους ελέγχους που εφαρμόζει το σύστημα σε κάθε κίνηση του συρμού.

Όπως και με την συμβατική σηματοδότηση, ο σηματοδότης ζητά τον ορισμό ή την ακύρωση μίας διαδρομής στο σύστημα αλληλομανδάλωσης. Όταν μία διαδρομή οριστεί, κλειδωθεί και εντοπιστεί στο σύστημα αλληλομανδάλωσης και είναι ασφαλής προς χρήση, το υποσύστημα ETCS της γραμμής παρέχει στον εξοπλισμό ETCS οχήματος άδεια πορείας (Movement Authority- MA), ότι δηλαδή ο συρμός μπορεί να εισέλθει στη διαδρομή. Η MA περιέχει πληροφορίες για την μέγιστη απόσταση για την οποία έχει άδεια να διανύσει ο συρμός, την επιτρεπόμενη ταχύτητα της γραμμής και τις κλίσεις της γραμμής στην απόσταση αυτή. Ο εξοπλισμός οχήματος συνδυάζει τις πληροφορίες αυτές με πιθανά όρια ταχύτητας οχήματος και υπολογίζει ένα προφίλ ταχύτητας για την διαδρομή, το οποίο ο μηχανοδηγός δεν επιτρέπεται να υπερβεί. Το προφίλ ταχύτητας αυτό, είναι υπολογισμένο με μηδενική ταχύτητα στο τέλος της άδειας πορείας του,

λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά πέδησης του συρμού. Οι πληροφορίες αυτές δίνονται στον οδηγό μέσω της διεπαφής DMI.

Σε κάθε περίπτωση ο οδηγός είναι υπεύθυνος για την κίνηση του συρμού. Το σύστημα ETCS παρέχει επίβλεψη της κίνησης. Στην περίπτωση που ο οδηγός υπερβεί την επιτρεπόμενη απόσταση ή ταχύτητα, το ETCS προειδοποιεί τον οδηγό και στη συνέχεια παρεμβαίνει είτε μειώνοντας την ταχύτητα του συρμού είτε φέρνοντάς τον σε στάση.

Ανάλογα με το επίπεδο εφαρμογής του ETCS μεταδίδονται στον συρμό οι κατάλληλες πληροφορίες από έναν συνδυασμό ομάδων Balise και μέσω του δικτύου GSM-R. Με την χρήση του GSM-R, ο συρμός έχει την δυνατότητα να μεταδώσει στο υποσύστημα της γραμμής πληροφορίες όπως αναφορές θέσης και καταστάσεις οχήματος.

4.3.1 Επίπεδα Εφαρμογής (Application Levels)

Το ETCS παρέχει πέντε επίπεδα εφαρμογής. Αυτά είναι:

- Επίπεδο εφαρμογής 0
- Επίπεδο εφαρμογής STM
- Επίπεδο εφαρμογής 1
- Επίπεδο εφαρμογής 2
- Επίπεδο εφαρμογής 3

Συγκεκριμένα είναι ο ETCS εξοπλισμός οχήματος που λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο εφαρμογής. Η λειτουργία του όμως εξαρτάται από τον υποστηρικτικό εξοπλισμό γραμμής.

4.3.1.1 Επίπεδο εφαρμογής 0

Το Επίπεδο εφαρμογής 0 καλύπτει την λειτουργία συρμών με εξοπλισμό ETCS που κινούνται σε γραμμές που δεν έχουν ETCS εξοπλισμό, ή σε γραμμές με εξοπλισμό ETCS στις οποίες όμως αυτός αγνοείται.

Ως τέτοιο, το επίπεδο εφαρμογής 0 παρέχει επίβλεψη ταχύτητας, ώστε να μην ξεπεραστεί η μέγιστη ταχύτητα συρμού και η μέγιστη ταχύτητα σε μη συμβατές περιοχές. Ο οδηγός είναι υπεύθυνος να διασφαλίσει ότι ο συρμός δεν θα ξεπεράσει την απόσταση για την οποία του έχει δοθεί άδεια πορείας και ότι η ταχύτητα του συρμού θα παραμένει εντός των ορίων της σήμανσης της γραμμής.

Σε αυτό το επίπεδο εφαρμογής, κάθε εθνικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού παραμένει.

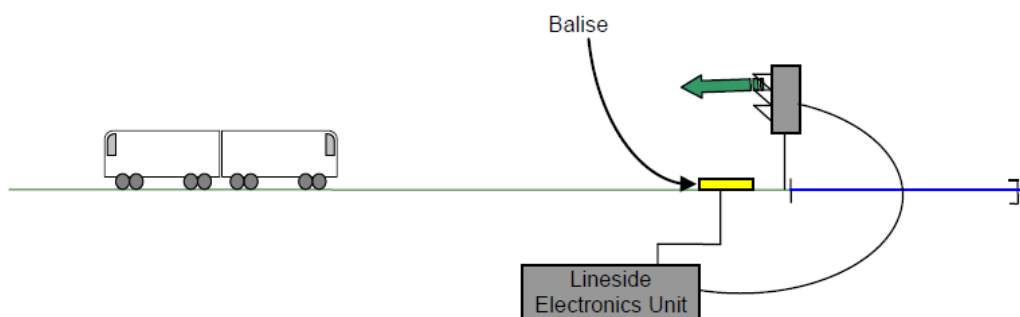
4.3.1.2 Επίπεδο εφαρμογής STM

Το επίπεδο STM αποτελεί ένα ιδιαίτερο επίπεδο εφαρμογής καθώς επιτρέπει κάθε εθνικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού να λειτουργεί με το ETCS.

Η περιγραφή του επιπέδου αυτού γίνεται στον εξοπλισμό οχήματος ETCS (παράγραφος 4.2.2.7).

4.3.1.3 Επίπεδο εφαρμογής 1

Το επίπεδο αυτό λειτουργεί μαζί με το ήδη υπάρχων σύστημα σηματοδότησης μέσω της παροχής, από πλευράς γραμμής, σημειακής ενημέρωσης προς τον εξοπλισμό ETCS οχήματος, για την σηματοδότηση. Λειτουργεί δηλαδή επικαλύπτοντας την ήδη υπάρχουσα σηματοδότηση.



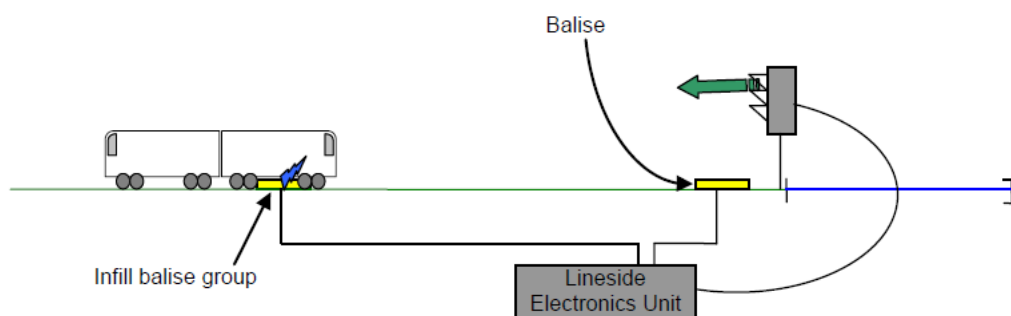
Σχήμα 4.3 Επίπεδο εφαρμογής 1 (βασική διάταξη) [RGGN 2010]

Μία ομάδα Balise είναι τοποθετημένη σε μικρή απόσταση κατά την προσέγγιση κάθε φωτοσήματος. Η κάθε ομάδα Balise είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη με το φωτόσημα, ή μέσω μίας τοπικής μονάδας LEU, ώστε οι πληροφορίες που μεταδίδονται στον συρμό από την ομάδα Balise να καθορίζονται από την παρούσα ένδειξη του φωτοσήματος. Επομένως ο συρμός μπορεί να δεχτεί διαφορετική άδεια πορείας ανάλογα με την ένδειξη του φωτοσήματος. Μπορεί να αποφευχθεί η διέλευση ενός συρμού από μία κόκκινη ένδειξη από την έκδοση άδειας πορείας πολύ μικρής απόστασης (της απόστασης της ομάδας Balise από το φωτόσημα). Εκτός από τις πληροφορίες της απόστασης της διαδρομής, μεταδίδονται στο όχημα και πληροφορίες για την ταχύτητα της γραμμής και την κλίση, επιτρέποντας έτσι στον εξοπλισμό οχήματος να επιβλέπει την ταχύτητα του συρμού.

Το μειονέκτημα της σημειακής ενημέρωσης για τη σηματοδότηση είναι το ότι τα δεδομένα που έχει κάθε φορά ο συρμός για τη σηματοδότηση είναι αυτά που έλαβε κατά την τελευταία του διέλευση από κάποιο σημείο ενημέρωσης, και αυτό είναι στο τελευταίο σήμα. Επομένως, εάν ένα σήμα είναι σε πράσινη ένδειξη ενώ το προηγούμενο από αυτό ήταν σε κίτρινη ένδειξη, ο συρμός θα βρίσκεται υπό επίβλεψη για στάση καθώς το επικείμενο σήμα θα αναμενόταν σε κόκκινη ένδειξη.

Ο οδηγός βλέποντας την πράσινη ένδειξη δεν μπορεί να χειριστεί τον συρμό σύμφωνα με αυτήν. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα σε ικανοποιητικό βαθμό χρησιμοποιούνται πρόσθετες ομάδες Balise (infill Balise groups), Euroloops, ή Radio In-fill Units.

Οι πρόσθετες ομάδες Balise (infill Balise groups) είναι τοποθετημένες σε μεγαλύτερη απόσταση κατά την προσέγγιση στο φωτόσημα στο οποίο αναφέρονται και είναι και αυτές ηλεκτρικά συνδεδεμένες με αυτό. Με αυτόν τον τρόπο ο συρμός δέχεται νωρίτερα ενημέρωση για την άδεια πορείας του και δεν παρεμποδίζεται έτσι η πορεία του.



Σχήμα 4.4 Επίπεδο εφαρμογής 1 με infill balise group [RGGN 2010]

Όσο περισσότερες πρόσθετες ομάδες Balise υπάρχουν τόσο πιο ακριβείς είναι οι πληροφορίες που κατέχει ο συρμός. Αυτό όμως μπορεί να αυξήσει το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης χωρίς και πάλι να εξασφαλίζει ότι ο εξοπλισμός οχήματος θα είναι πάντα σε συμφωνία με την τρέχουσα ένδειξη του φωτοσήματος καθώς αυτή θα μπορούσε να αλλάξει κάθε στιγμή. Ο αριθμός των πρόσθετων ομάδων επομένως μπορεί να καθοριστεί με βάση τις απαιτήσεις επίδοσης του σχεδιασμού του συστήματος.

Τα Euroloops και τα Radio In-fill Units παρέχουν παρόμοια λειτουργία με τις πρόσθετες ομάδες Balise. Με αυτά, η μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ γραμμής και συρμού μπορεί να γίνει επί ενός μήκους της γραμμής αντί σε συγκεκριμένα σημεία.

4.3.1.4 Επίπεδο εφαρμογής 2

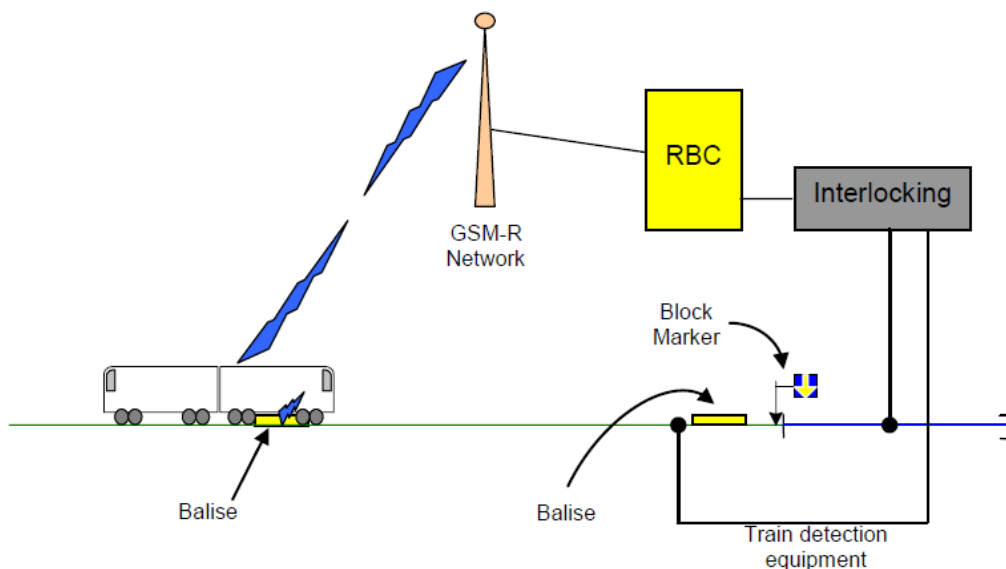
Το επίπεδο 2 μπορεί να λειτουργήσει με και χωρίς πλευρική σηματοδότηση. Στο επίπεδο αυτό χρειάζεται ακόμα ανίχνευση συρμού για την παροχή πληροφοριών θέσης. Στο επίπεδο 2 η μετάδοση των πληροφοριών σήμανσης στον συρμό γίνεται μέσω κεραίας ραδιοκυμάτων. Αυτό γίνεται μέσω του GSM-R data radio (§ 4.2.3.2)

Το επίπεδο εφαρμογής 2 με πλευρική σηματοδότηση αποτελεί μεταβατικό στάδιο για την επίτευξη του επιπέδου 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση. Σε αυτό μπορούν να λειτουργήσουν τόσο συρμοί με εξοπλισμό ETCS τόσο και χωρίς. Μόνο όμως οι

συρμοί με εξοπλισμό ETCS έχουν τα οφέλη που παρέχει το ETCS. Για να λειτουργήσει ένας συρμός σε επίπεδο εφαρμογής 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση πρέπει να είναι εξοπλισμένος με εξοπλισμό οχήματος ETCS.

Για το επίπεδο 2 οι ομάδες Balise δεν παρέχουν πια πληροφορίες για την απόσταση διαδρομής, την ταχύτητα και τις κλίσεις, αλλά η κύρια λειτουργία τους είναι να παρέχουν αναφορές θέσης. Ο εξοπλισμός οχήματος ETCS παρέχει μία λίστα με τις ομάδες Balise από τις οποίες θα διέλθει ο συρμός καθώς και την απόσταση μεταξύ αυτών. Ο εξοπλισμός οχήματος ETCS χρησιμοποιεί τις πληροφορίες αυτές για:

- να επιβεβαιώσει ότι ο συρμός κινείται στην αναμενόμενη διαδρομή,
- να επιβεβαιώσει ότι ο εξοπλισμός οδομετρίας του οχήματος λειτουργεί εντός των αναμενόμενων ανοχών και
- να διορθώσει το συσσωρευμένο λάθος οδομετρίας.



Σχήμα 4.5 Επίπεδο εφαρμογής 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση [RGGN 2010]

Το επίπεδο εφαρμογής 2 επιτρέπει την συντόμευση της διαδρομής που ακολουθεί ένας συρμός, χωρίς τη χρήση χρονοδιακόπτη, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκληση μιας διαδρομής για οποιονδήποτε συρμό. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται co-operative shortening of MA. Στην περίπτωση που ο σηματοδότης θελήσει να συντομεύσει την διαδρομή της άδειας πορείας ο ETCS εξοπλισμός γραμμής ζητάει αρχικά άδεια από τον εξοπλισμό οχήματος. Αν ο εξοπλισμός οχήματος προσδιορίσει ότι η συντόμευση της διαδρομής πορείας δεν θα ενεργοποιήσει την αυτόματη πέδηση λόγω της μικρής απόστασης του συρμού από το προτεινόμενο κοντινότερο τέλος πορείας, τότε ο εξοπλισμός οχήματος δέχεται την συντόμευση της διαδρομής και ενημερώνει το υποσύστημα της γραμμής ότι ο συρμός δεν θα χρησιμοποιήσει πλέον την

μεγαλύτερη άδεια πορείας. Επομένως η διαδρομή αυτή απελευθερώνεται. Εάν ο εξοπλισμός οχήματος προσδιορίσει ότι με την συντόμευση της άδειας πορείας θα ενεργοποιηθεί η αυτόματη πέδηση, τότε απορρίπτει την αίτηση για μείωση της άδειας πορείας και διατηρεί την προηγούμενη, μεγαλύτερη διαδρομή, ενημερώνοντας το υποσύστημα της γραμμής για αυτήν την απόφαση.

Το επίπεδο 2 επιτρέπει επίσης την ανάκληση μιας διαδρομής λόγω έκτακτης ανάγκης, μειώνοντας την άδεια πορείας αμέσως. Ανάλογα με την θέση του συρμού σε σχέση με το νέο, κοντινότερο πέρας της άδειας πορείας, ο εξοπλισμός οχήματος ενεργοποιεί ή όχι την πέδη έκτακτης ανάγκης.

4.3.1.5 Επίπεδο εφαρμογής 3

Η αρχιτεκτονική του συστήματος στο επίπεδο εφαρμογής 3 είναι παρόμοια με αυτήν του επιπέδου 2 χωρίς πλευρική σηματοδότηση, εκτός του ότι εδώ δεν απαιτείται εξοπλισμός ανίχνευσης συρμού από πλευράς γραμμής. Παρόλα αυτά για τη βελτίωση της επίδοσης, επιτρέπεται απαιτείται εξοπλισμός ανίχνευσης συρμού στη γραμμή στα σημεία αλλαγών και διασταυρώσεων.

Αφού δεν παρέχεται ανίχνευση συρμού από τον εξοπλισμό της γραμμής, ο εξοπλισμός οχήματος είναι υπεύθυνος για τον εντοπισμό του συρμού. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο εξοπλισμός οχήματος αναλαμβάνει να ελέγχει την ακεραιότητα του συρμού και να δηλώνει την πληρότητά του στο υποσύστημα της γραμμής.

Ο διαχωρισμός του συρμού δεν περιορίζεται πια από το τμήμα ανίχνευσης της γραμμής. Η κατάληψη της γραμμής καθορίζεται από την τελευταία αναφορά θέσης του συρμού προς το υποσύστημα της γραμμής.

4.3.2 Καταστάσεις Λειτουργίας

Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος έχει δεκαέξι διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας, κάθε μία από τις οποίες παρέχει διαφορετικού βαθμού επίβλεψη και προστασία (Πίνακας 4.1). Το εικονίδιο που φαίνεται δίπλα σε κάθε κατάσταση λειτουργίας είναι αυτό που εμφανίζεται στην οθόνη της καμπίνας οδήγησης κατά την ενεργοποίηση της. [ERA 2009]

Πίνακας 4.1 Επίβλεψη και προστασία ανά κατάσταση λειτουργίας ETCS [GE/GN8605]

Κατάσταση λειτουργίας	επίπεδα εφαρμογής			επίβλεψη										προστασία				
	0	STM	1,2,3	Επίβλεψη ταχύτητας	Στατικό προφίλ ταχύτητας	Προφίλ ταχύτητας ανάλογα με το φορτίο ανά άξονα	Προσωρινών περιορισμών ταχύτητας	Περιορισμών ταχύτητας σχετικούς με την κατάσταση λειτουργίας	Περιορισμών ταχύτητας σχετικούς με τον αριθμό	Κλήσης	Απόστασης	Ταχύτητας ελευθέρωσης	Σταθερότητας διαδρομής	Σε κύλιση	όπισθεν κίνησης	Ακινησία	Ενεργή πέδηση	Αίστα Balise
Πλήρης Επίβλεψη (FS)			✓	Δυναμική	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Πορεία εν όψει (OS)			✓	Δυναμική	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ευθύνη Μηχανοδηγού (SR)			✓	Δυναμική			✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓
Ελιγμός (SH)	✓		✓	Άνω όριο				✓	✓					✓				✓
Unfitted (UN)	✓			Δυναμική			✓	✓	✓					✓				
Απομόνωση (IS)	✓	✓	✓	Καμία										✓				
Non-Leading (NL)	✓	✓	✓	Καμία														
Διαδρομή (TR)		✓	✓	Καμία														
Επιβεβαίωση Διαδρομής (PT)			✓	Καμία										✓	✓			
Sleeping (SL)	✓	✓	✓	Καμία														
Σε ετοιμότητα (SB)	✓	✓	✓	Καμία												✓		
Αστοχία συστήματος (SF)	✓	✓	✓	Καμία													✓	
Όπισθεν (RV)			✓	Άνω όριο				✓	✓					✓	✓			
Έλλειψη ισχύος (NP)	✓	✓	✓	Καμία													✓	
Ευρωπαϊκό STM (SE)		✓		Η παρακολούθηση και η προστασία εξαρτάται από το εθνικό σύστημα														
Εθνικό STM (SN)		✓		Η παρακολούθηση και η προστασία εξαρτάται από το εθνικό σύστημα														

a. Full Supervision (FS) - Πλήρης Επίβλεψη

Η πλήρης επίβλεψη για το αντίστοιχο επίπεδο εφαρμογής εφαρμόζεται στην κατάσταση Full Supervision (FS), συμπεριλαμβανομένης και την άδειας πορείας.

Για να βρίσκεται στην κατάσταση λειτουργίας FS, ο εξοπλισμός οχήματος χρειάζεται άδεια από τον εξοπλισμό γραμμής και πρέπει να γνωρίζει το προφίλ κλίσεων, την ταχύτητα της γραμμής και την απόσταση στην οποία μπορεί να κινηθεί ο συρμός. Στην περίπτωση που οι πληροφορίες για την ταχύτητα και την κλίση της γραμμής αφορούν μόνο το μπροστινό τμήμα του συρμού (για παράδειγμα: είναι γνωστή η κλίση μετά από ένα φωτόσημα από το οποίο διέρχεται ο συρμός), τότε ο συρμός θα λειτουργεί σε κατάσταση FS αλλά με συνοδευτικό μήνυμα στην οθόνη DMI που θα δηλώνει ότι οι πληροφορίες για την κλίση και την ταχύτητα δεν αφορούν όλο το μήκος του συρμού. Το μήνυμα θα παραμένει έως ότου ο συρμός βρεθεί σε περιοχή που είναι διαθέσιμες οι απαιτούμενες πληροφορίες.

b. On-Sight (OS) - Πορεία εν όψει

Η πλήρης επίβλεψη για το αντίστοιχο επίπεδο εφαρμογής εφαρμόζεται στην κατάσταση On-Sight (OS), συμπεριλαμβανομένης και την άδειας πορείας MA. Η διαφορά με την κατάσταση λειτουργίας

FS είναι ότι το σύστημα επιτρέπει στον συρμό να κινηθεί και σε κατελημμένο τμήμα γραμμής. Εδώ η ασφάλεια του συρμού είναι υπό την ευθύνη του μηχανοδηγού. Η επίβλεψη της ταχύτητας στην κατάσταση αυτή γίνεται ως προς μία συγκεκριμένη άνω τιμή, το ξεπέρασμα την οποίας ενεργοποιεί την αυτόματη πέδη.

c. Staff Responsible (SR) - Ευθύνη Μηχανοδηγού

Η κατάσταση λειτουργίας SR παρέχεται στον μηχανοδηγό όταν ο εξοπλισμός οχήματος δεν έχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για να λειτουργήσει σε FS ή OS, συνήθως κατά την εκκίνηση όταν ο συρμός έχει άγνωστη θέση.

Η κατάσταση SR τίθεται σε λειτουργία και στην περίπτωση που ο μηχανοδηγός δηλώνει 'υπέρβαση', δηλαδή κατά την υπέρβαση φωτοσήματος με κόκκινη ένδειξη.

Στην κατάσταση αυτή η επίβλεψη της ταχύτητας γίνεται ως προς μία συγκεκριμένη άνω τιμή.

Είναι δυνατό να περιοριστεί η διανυθείσα απόσταση σε κατάσταση SR είτε με όριο απόστασης είτε με μία ομάδα Balise. Όταν παρέχεται όριο απόστασης, η ταχύτητα του συρμού θα επιτηρείται δυναμικά μέχρι να μηδενιστεί στο τέλος αυτής της απόστασης. Όταν ο περιορισμός της απόστασης παρέχεται από ομάδα Balise, αυτή θα φρενάρει τον συρμό όταν αυτός διέλθει από εκεί σε κατάσταση SR.

d. Shunting (SH) - Ελιγμός



Ο μηχανοδηγός επιλέγει χειροκίνητα την κατάσταση SH και είναι αυτός υπεύθυνος για την κίνηση του συρμού. Στην κατάσταση αυτή η επίβλεψη της ταχύτητας γίνεται ως προς μία συγκεκριμένη άνω τιμή.

Είναι δυνατό να περιοριστεί η διανυθείσα απόσταση σε κατάσταση SR είτε με όριο απόστασης είτε με μία ομάδα Balise, όπως και στην κατάσταση SR.

e. Unfitted (UN)



Όταν η λειτουργία γίνεται σε επίπεδο εφαρμογής 0 (δηλαδή σε περιοχή γραμμής μη εξοπλισμένης με ETCS), ο ETCS εξοπλισμός οχήματος λειτουργεί σε κατάσταση UN. Η επίβλεψη της ταχύτητας γίνεται ως προς μία συγκεκριμένη άνω τιμή, η οποία θα είναι η μικρότερη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα γραμμής ή η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα συρμού, όπως δοθεί από τον μηχανοδηγό.

Στην κατάσταση λειτουργίας UN μπορεί να εφαρμοστεί προσωρινός περιορισμός ταχύτητας TSR (Temporary Speed Restriction) μέσω της διενέργειας μίας ομάδας Balise. Η ταχύτητα του συρμού επιτηρείται τότε δυναμικά μέχρι την ταχύτητα TSR πλησιάζοντας στο σημείο έναρξης της επίβλεψης.

Το UN επιτρέπει την κίνηση του συρμού και προς τα εμπρός και προς τα πίσω.

f. Isolation (IS) - Απομόνωση



Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος μπορεί να απομονωθεί από τα υπόλοιπα λειτουργικά συστήματα του συρμού και να εισέλθει στην κατάσταση απομόνωσης IS. Στην κατάσταση αυτή το σύστημα ETCS δεν παρέχει ούτε προστασία ούτε επίβλεψη (συμπεριλαμβανομένης και της πέδης έκτακτης ανάγκης). Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος μπορεί να βρεθεί στην κατάσταση IS μόνο από έναν τεχνικό συντήρησης.

g. Non-Leading (NL)

Ένας εξοπλισμένος με ETCS συρμός είναι στην κατάσταση λειτουργίας NL όταν ισχύουν όλα τα παρακάτω:

Ο συρμός:

- i) είναι μηχανικά, αλλά όχι και ηλεκτρικά, συνδεδεμένος με κάποιο άλλο όχημα
- ii) δεν είναι το οδηγητήριο όχημα
- iii) παρέχει ελκτική δύναμη
- iv) ελέγχεται από μηχανοδηγό.

Στην κατάσταση λειτουργίας NL δεν παρέχεται επίβλεψη, καθώς παρέχεται από άλλον επί του οχήματος ETCS εξοπλισμό.

h. Trip (TR) - Διαδρομή

Εάν ο ETCS εξοπλισμός οχήματος εκτιμήσει ότι ο συρμός έχει ξεπεράσει την δοσμένη άδεια πορείας MA, εφαρμόζει την πέδη έκτακτης ανάγκης και εισέρχεται στην κατάσταση λειτουργίας TR. Για την έξοδο από την κατάσταση TR πρέπει ο οδηγός να δηλώσει αναγνώριση της κατάστασης.

Η κατάσταση λειτουργίας TR συνοδεύεται από συνεχόμενη απαίτηση για πέδηση έκτακτης ανάγκης.

i. Post-Trip (PT) - Επιβεβαίωση Διαδρομής

Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος εισέρχεται στην κατάσταση λειτουργίας PT όταν ο οδηγός δηλώσει αναγνώριση για την κατάσταση TR και ο συρμός είναι ακινητοποιημένος. Εδώ έχει ελευθερωθεί η πέδη έκτακτης ανάγκης.

j. Sleeping (SL)

Ένας συρμός μπορεί να διαθέτει πάνω από ένα σετ ETCS εξοπλισμού οχήματος. Όταν κάποιο από τα σετ είναι ενεργό, όλα τα υπόλοιπα βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας SL.

Στην κατάσταση λειτουργίας SL δεν παρέχεται επίβλεψη, καθώς παρέχεται από άλλον επί του οχήματος ETCS εξοπλισμό

k. Standby (SB) - Σε ετοιμότητα

Είναι η προεπιλεγμένη κατάσταση λειτουργίας του ETCS εξοπλισμού οχήματος. Ο εξοπλισμός βρίσκεται στην κατάσταση SB σε αναμονή για την ενεργοποίηση κάποιας άλλης κατάστασης λειτουργίας.

l. System Failure (SF) - Αστοχία συστήματος

Ένα ο ETCS εξοπλισμός οχήματος εντοπίζει κάποιο σφάλμα στο σύστημα ETCS, τότε εισέρχεται στην κατάσταση SF. Η κατάσταση λειτουργίας SF συνοδεύεται από συνεχόμενη απαίτηση για πέδηση έκτακτης ανάγκης.

Για να εξέλθει ο συρμός από την κατάσταση SF πρέπει να εισέλθει σε κατάσταση IS ή NP.

m. Reversing (RV) - Όπισθεν

Η κατάσταση λειτουργίας RV μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση ανάγκης διαφυγής, π.χ. από μία σήραγγα, όπου αυτό επιτρέπεται από την χάραξη της γραμμής. Ο μηχανοδηγός μπορεί να παραμείνει εκεί όπου μέχρι πριν ήταν η καμπύνα οδήγησης.

n. No Power (NP) - Έλλειψη ισχύος

Η κατάσταση NP ενεργοποιείται όταν δεν παρέχεται ενέργεια στο υποσύστημα του συρμού. Η κατάσταση λειτουργίας NP συνοδεύεται από συνεχόμενη απαίτηση για πέδηση έκτακτης ανάγκης.

o. STM European (SE) - Ευρωπαϊκό STM

Η κατάσταση λειτουργίας SE επιτρέπει την χρήση του εξοπλισμού των εθνικών συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού. Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος δέχεται πληροφορίες από το εθνικό υποσύστημα γραμμής και τις παρουσιάζει στον μηχανοδηγό.

p. STM National (SN) - Εθνικό STM

Η κατάσταση λειτουργίας SN επιτρέπει την χρήση του εξοπλισμού των εθνικών συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού. Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος χρησιμοποιείται για παρέχει έλεγχο και ενδείξεις για τον εξοπλισμό του εθνικού συστήματος ασφάλειας στην οθόνη ETCS DMI.

4.3.3 Λειτουργίες προστασίας

Το σύστημα ETCS παρέχει κάποιες λειτουργίες προστασίας, οι οποίες όμως δεν είναι διαθέσιμες σε όλα τα επίπεδα εφαρμογής και σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας.

Αξιοπιστία στοιχείων

Κατά την λειτουργία του, ο εξοπλισμός ETCS θεωρεί ότι τα γεωγραφικά στοιχεία (ταχύτητες γραμμής, αποστάσεις, χρονόμετρα τμημάτων) που δέχεται είναι αληθή. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να ελέγχονται ως προς την ακρίβειά τους όταν εισάγονται στον εξοπλισμό ETCS. Παρόλα αυτά το υποσύστημα ETCS οχήματος μπορεί να εφαρμόσει ορισμένους ελέγχους αξιοπιστίας στοιχείων. Αυτοί περιλαμβάνουν :

- a. Σύνδεση. Το σύστημα ETCS μπορεί να ελέγξει εάν τα μηνύματα από τα Balise groups έχουν ληφθεί στην αναμενόμενη θέση, όταν τα Balise είναι συνδεδεμένα. Το υποσύστημα της γραμμής στέλνει στο όχημα μία λίστα από τα Balise groups και την θέση αυτών, από τα οποία θα διέλθει ο συρμός στην διάρκεια της πορείας του. Στην περίπτωση που ένα Balise group δεν αναγνωριστεί ή αναγνωριστεί σε λάθος τοποθεσία, το σύστημα μπορεί να είναι ρυθμισμένο ώστε να φέρει τον συρμό σε στάση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται σύνδεση (linking) και τα Balise groups (linked Balise groups) αυτά αναγνωρίζονται ως τμήματα αυτής της συνδεδεμένης ακολουθίας.
- b. Αξιοπιστία μηνυμάτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν τα μηνύματα που λαμβάνονται δεν είναι αυτά που αναμένονταν (π.χ. τα δεδομένα που λήφθηκαν αφορούν συρμούς που κινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση από την κατεύθυνση κίνησης) ο ETCS εξοπλισμός οχήματος μπορεί να είναι ρυθμισμένος ώστε να φέρει τον συρμό σε στάση.

Προσδιορισμός ταχύτητας και θέσης συρμού

Ο εξοπλισμός ETCS οχήματος μπορεί να προσδιορίσει την ταχύτητα και την θέση του και να τα δηλώσει στο υποσύστημα της γραμμής. Η θέση του συρμού δηλώνεται πάντα σε σχέση με ένα Balise group και ο συρμός λαμβάνει υπόψη του την απόσταση μεταξύ του μπροστινού μέρους του συρμού και της κεραίας. Η ακριβής θέση των Balise groups είναι σημαντική.

Η ταχύτητα προσδιορίζεται από τον εξοπλισμό παρακολούθησης ταχύτητας επί του οχήματος. Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος επιβλέπει την κίνηση του συρμού ώστε να μην υπερβαίνει ένα δοσμένο προφίλ ταχύτητας.

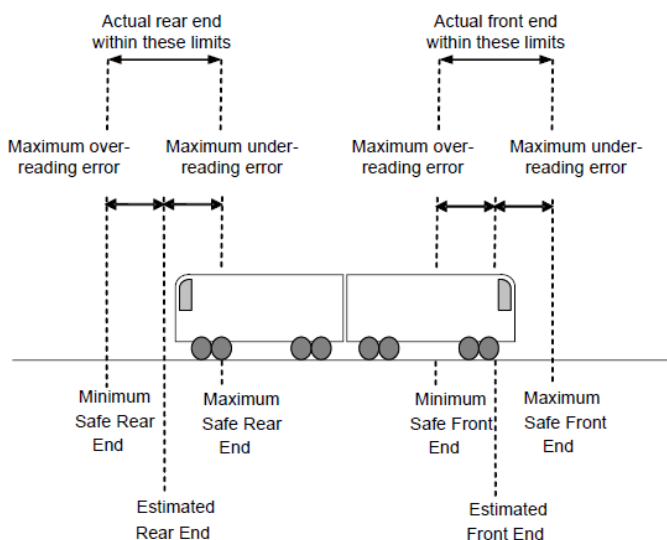
Ούτε η ο εξοπλισμός οδομετρίας του συρμού, ούτε η θέση ενός συγκεκριμένου Balise group θα είναι απόλυτα ακριβής. Αυτό σημαίνει ότι η υπολογισμένη θέση του

συρμού δεν θα συμπίπτει με την πραγματική θέση του στο έδαφος. Κατά την εκτίμηση της θέσης του, η θέση του συρμού θα είναι είτε:

- Υπό-εκτιμημένη, δηλαδή θεωρείται ότι έχει διανύσει μικρότερη απόσταση από ότι στην πραγματικότητα, είτε
- Υπέρ-εκτιμημένη, δηλαδή θεωρείται ότι έχει διανύσει μεγαλύτερη απόσταση από ότι στην πραγματικότητα.

Όταν χρειαστεί, για λόγους ασφαλείας, ο συρμός χρησιμοποιεί την δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος οδομετρίας.

Για την διαχείριση της ανακρίβειας της οδομετρίας, ο ETCS εξοπλισμός οχήματος υπολογίζει ένα περιθώριο ανεκτικότητας περί των εκτιμημένων τιμών θέσης. (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 Max/min safe front/rear end [RGGN 2010]

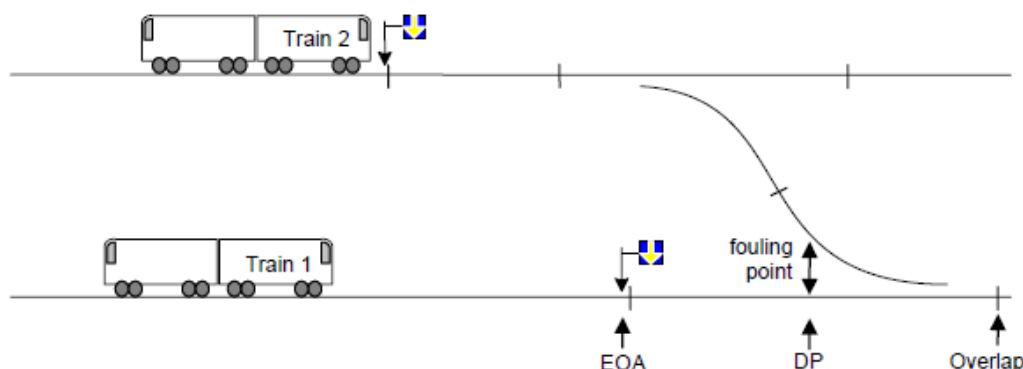
Η πιο μπροστά θέση που μπορεί να έχει το εμπρός μέρος του συρμού, με το μέγιστο υποεκτιμημένο σφάλμα, ονομάζεται μέγιστο ασφαλές εμπρός μέρος (maximum safe front end). Παρόμοια, η πιο μπροστά θέση που μπορεί να έχει το πίσω μέρος του συρμού ονομάζεται μέγιστο ασφαλές πίσω μέρος (maximum safe rear end).

Η πιο πίσω θέση που μπορεί να έχει το εμπρός μέρος του συρμού, με το μέγιστο υποεκτιμημένο σφάλμα, ονομάζεται ελάχιστο ασφαλές εμπρός μέρος (minimum safe front end). Παρόμοια, η πιο πίσω θέση που μπορεί να έχει το πίσω μέρος του συρμού ονομάζεται ελάχιστο ασφαλές πίσω μέρος (minimum safe rear end).

Διαχείριση άδειας πορείας MA

Ένας συρμός εξοπλισμένος με ETCS μπορεί να διαχειριστεί την άδεια πορείας του όταν βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας FS ή OS. Διαχείριση της άδειας πορείας

σημαίνει ότι ο ETCS εξοπλισμός οχήματος προσδιορίζει την θέση του συρμού σε σχέση με το τέλος της άδειας πορείας (End of Authority - EOA) και την θέση επίβλεψης (Supervised Location- SvL). Η SvL είναι είτε η θέση τέλους άδειας πορείας EOA, είτε το σημείο κινδύνου (Danger Point-DP), είτε ένα τμήμα προστασίας (Overlap-OL). Τα σημεία EOA, DP και OL είναι παράμετροι που δίνονται στον εξοπλισμό οχήματος από τον εξοπλισμό γραμμής ως τμήματα της άδειας πορείας MA. Αυτά αντιστοιχούν σε θέσεις επί τις γραμμής όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7 Χαρακτηριστικές θέσεις άδειας πορείας [RGGN 2010]

Το σημείο EOA είναι η θέση μέχρι την οποία έχει άδεια ο συρμός να κινηθεί. Η τοποθεσία αυτή παρέχεται πάντα από την άδεια πορείας MA. Συχνά στη θέση αυτή υπάρχει και ένδειξη ETCS block marker, όπως φαίνεται και στο σχήμα. Στη θέση αυτή ο συρμός αναμένεται να βρεθεί σε στάση. Αναμένεται επίσης ο συρμός να μην προσπεράσει την θέση αυτή. Σε περίπτωση που ο συρμός προσπεράσει το σημείο EOA, ο εξοπλισμός οχήματος ETCS θα έρθει σε κατάσταση λειτουργίας TR και θα ενεργοποιηθεί αυτόματα η πέδη έκτακτης ανάγκης, μέχρι ο συρμός να βρεθεί σε στάση.

Το DP είναι ένα σημείο μετά το EOA στο οποίο είναι δυνατό, ο συρμός να συγκρουστεί με κάποιο άλλο όχημα ή να εκτροχιαστεί. Σημείο DP δεν παρέχεται από κάθε άδεια πορείας MA, καθώς στην περίπτωση π.χ. ευθείας γραμμής, δεν θα είχε νόημα.

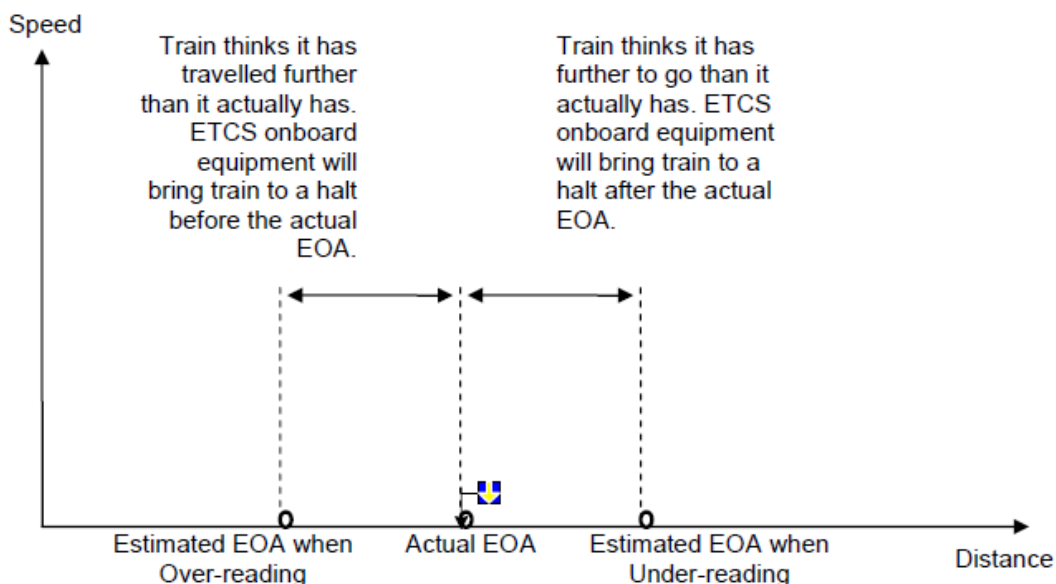
Το σημείο OL βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση και είναι προαιρετικό να υπάρχει ως στοιχείο της άδειας πορείας MA. Όταν παρέχεται σημείο OL, ένας χρονοδιακόπτης μπορεί προαιρετικά να είναι συνδεδεμένος με αυτό, για την περίπτωση που ο συρμός αφήσει την δυνατότητά του να κινηθεί στο κομμάτι αυτό της γραμμής, όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες. Αυτό δίνει την δυνατότητα στο τμήμα αποκλεισμού να ελευθερωθεί στο σύστημα αλληλομανδάλωσης και με αυτόν τον τρόπο να είναι διαθέσιμο για την κίνηση κάποιου άλλου συρμού. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 4.7 η απελευθέρωση του OL από τη χρήση του από τον

συρμό 1, δίνει την δυνατότητα χρήσης του επόμενου τμήματος αποκλεισμού, μέσω της αλλαγής από την συρμό 2.

Με τη χρήση των EOA, DP και OL, ο εξοπλισμός ETCS οχήματος προσδιορίζει την θέση επίβλεψης SvL. Είναι η θέση SvL την οποία χρησιμοποιεί ο εξοπλισμός οχήματος ως θέση την οποία δεν πρέπει ο συρμός να υπερβεί. Η SvL προσδιορίζεται ως:

- Το σημείο OL, εάν υπάρχει και πριν από πιθανή απελευθέρωση,
- εάν όχι, το σημείο DP, εάν υπάρχει
- εάν όχι, το σημείο EOA.

Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος υπολογίζει την απόσταση προς διάνυση μέχρι το σημείο EOA με βάση την εκτιμημένη θέση του συρμού και την δοσμένη θέση του EOA. Λόγω του σφάλματος οδομετρίας, η εκτιμημένη απόσταση προς διάνυση δεν θα είναι απαραίτητα όση και η πραγματική.



Σχήμα 4.8 Υπολογισθείσα θέση EOA [RGGN 2010]

Αντίστοιχα με την απόσταση έως το EOA, και η απόσταση έως το SvL θα περιέχει σφάλμα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι ο συρμός δεν θα ξεπεράσει ποτέ το πραγματικό σημείο SvL, ο εξοπλισμός οχήματος χρησιμοποιεί τη δυσμενέστερη περίπτωση της υποεκτιμημένης οδομετρικής εκτίμησης (δηλαδή επιβλέπει τον συρμό με βάση το maximum safe front end).

Για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος οδομετρίας είναι απαραίτητη η ύπαρξη Balise groups κατά την προσέγγιση της περιοχής στάσης. Για λόγους επίδοσης του συστήματος και για την βελτίωση της χωρητικότητας της γραμμής σε περιοχές λειτουργικά κρίσιμες, ένα Balise group μπορεί να βελτιώσει τις πληροφορίες θέσης του συρμού ελαχιστοποιώντας το σφάλμα οδομετρίας.

Προσδιορισμός του πλέον περιοριστικού προφίλ ταχύτητας Most restrictive speed profile (MRSP)

Ο ETCS εξοπλισμός οχήματος επιτηρεί την ταχύτητα του συρμού. Οι περιορισμοί που θέτονται είναι έναντι του χαμηλότερου από ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω, ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του συρμού.

- a. Στατικό προφίλ ταχύτητας (Static Speed Profile-SSP). Αφορά την ταχύτητα γραμμής της υποδομής και περιλαμβάνει διαφορετικά όρια ταχύτητας ανάλογα με το είδος του συρμού όταν απαιτείται.
- b. Προφίλ ταχύτητας ανάλογα με το φορτίο ανά άξονα (Axle-load Speed Profile-ASP). Αφορά τους ειδικούς περιορισμούς ταχύτητας της υποδομής, ανάλογα με το φορτίο ανά άξονα.
- c. Προσωρινοί περιορισμοί ταχύτητας (Temporary Speed Restrictions-TSRs).
- d. Περιορισμός ταχύτητας συσχετιζόμενος με την σήμανση. Ο περιορισμός αυτός έχει εφαρμογή μόνο στο επίπεδο εφαρμογής 1 και χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές σήμανσης ταχύτητας. Η ταχύτητα γραμμής μεταδίδεται στον συρμό από την σήμανση.
- e. Περιορισμός ταχύτητας κατάστασης λειτουργίας. Ορισμένες καταστάσεις λειτουργίας έχουν όρια ανώτατης ταχύτητας και ορισμένες καταστάσεις δεν προσφέρουν επιτήρηση ως προς το SSP. Στις καταστάσεις λειτουργίας αυτές οι κύριοι περιορισμοί είναι τα όρια ανώτατης ταχύτητας που θέτουν αυτές και που τυπικά είναι μικρότερα από τις κανονικές ταχύτητες γραμμής.
- f. Περιορισμοί ταχύτητας σε συσχετισμό με τον συρμό. Οι τιμές αυτές διαχειρίζονται από τον συρμό και εισάγονται στο σύστημα από τον μηχανοδηγό στην αρχή της διαδρομής. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το είδος του συρμού, το φορτίο του, και πιθανούς λειτουργικούς περιορισμούς (π.χ. βλάβη στο σύστημα πέδησης, σπασμένο παράθυρο κ.α.).

Επίβλεψη ταχύτητας συρμού

Για την επίβλεψη της ταχύτητας του συρμού, ο ETCS εξοπλισμός οχήματος προσδιορίζει μία σειρά από όρια επίβλεψης. Υπάρχουν τέσσερα τέτοια όρια:

1. Η επιτρεπόμενη ταχύτητα ή 'P' limit (Permitted speed) που αφορά την ταχύτητα που ο συρμός δεν πρέπει να υπερβεί. Είναι το όριο ταχύτητας που παρουσιάζεται στον μηχανοδηγό μέσω της οθόνης DMI.
2. Η προειδοποίηση ή 'W' limit (Warning) που παράγει προειδοποίηση στον μηχανοδηγό στην περίπτωση που η ταχύτητα του συρμού υπερβεί την επιτρεπόμενη. Το όριο αυτό υπολογίζεται επί του οχήματος ώστε να είναι μικρότερο από το όριο αυτόματης ενεργοποίησης πέδης.

3. Το όριο αυτόματης ενεργοποίησης πέδης ή SBI (Service break intervention limit) το οποίο εάν υπερβεί η ταχύτητα, εφαρμόζεται η αυτόματη πέδη μέχρις ότου η ταχύτητα του συρμού να είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης.
4. Το όριο της πέδης έκτακτης ανάγκης ή EBI (Emergency break intervention limit), το οποίο εάν υπερβεί η ταχύτητα του συρμού, ενεργοποιείται η πέδη έκτακτης ανάγκης μέχρις ότου ο συρμός να βρεθεί σε στάση.

Στην περίπτωση της παρέμβασης του συστήματος, ο συρμός επιτηρείται μέσω της πέδης και, δεδομένου ότι δεν έχει εφαρμοστεί η πέδη έκτακτης ανάγκης, ο έλεγχος του συρμού επιστρέφει στον οδηγό όταν η ταχύτητα βρίσκεται κάτω από το επιτρεπτό όριο. Η λειτουργία αυτή δεν πρέπει να συγχέεται με την κατάσταση λειτουργίας Trip που αφορά μόνο περιπτώσεις παραβίασης του τέλους άδειας πορείας.

Υπάρχουν τρία είδη επιτήρησης ταχύτητας συρμού από το σύστημα ETCS:

- a. Παρακολούθηση άνω οριακής ταχύτητας
- b. Παρακολούθηση ταχύτητας στόχου
- c. Παρακολούθηση ελευθέρωσης ταχύτητας

Παρακολούθηση άνω οριακής ταχύτητας

Η παρακολούθηση άνω οριακής ταχύτητας είναι η επιτήρηση της ταχύτητας που χρησιμοποιεί ο ETCS εξοπλισμός οχήματος όταν προσδιορίσει ότι το προφίλ ταχύτητας του συρμού είναι σταθερό. Υπάρχουν καθορισμένα περιθώρια μεταξύ των ορίων που έχουν περιγραφεί πιο πάνω.

Παρακολούθηση ταχύτητας στόχου

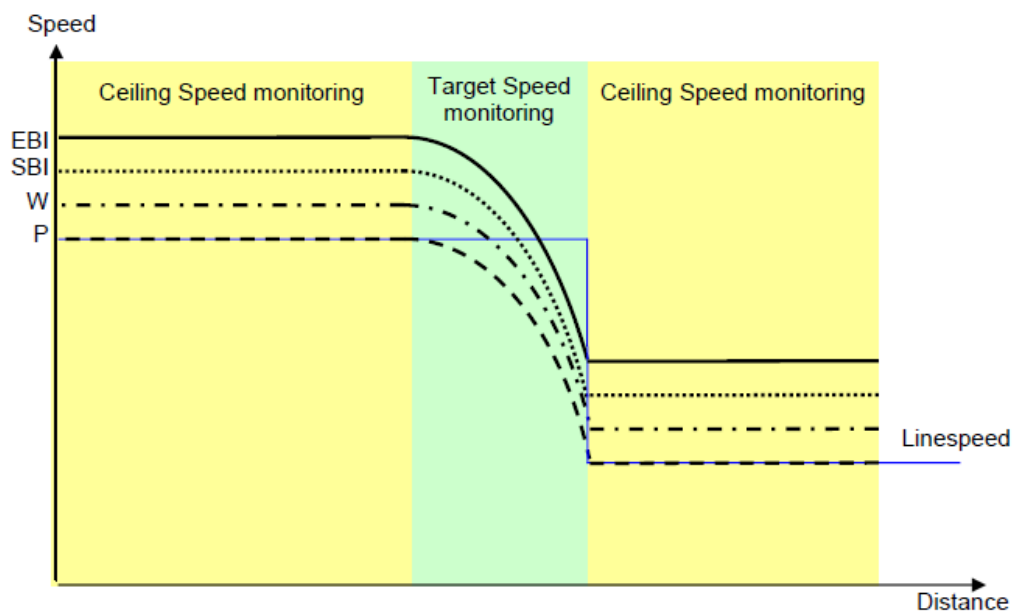
Η παρακολούθηση ταχύτητας στόχου αποτελεί δυναμική παρακολούθηση της ταχύτητας καθώς ο συρμός προσεγγίζει μια χαμηλότερη ταχύτητα στόχο (π.χ. σε μια μικρότερη επιτρεπόμενη ταχύτητα γραμμής ή σε μηδενική ταχύτητα στο τέλος μίας άδειας πορείας).

Η παρακολούθηση ταχύτητας στόχου είναι δυνατή μονό στις καταστάσεις λειτουργίας FS, OS, SR και UN και λειτουργεί ως εξής:

- Στις καταστάσεις λειτουργίας FS και OS. Η παρακολούθηση ταχύτητας στόχου ενεργοποιείται κάθε φορά που ο συρμός προσεγγίζει μία χαμηλότερη ταχύτητα στόχο ή το τέλος μίας άδειας πορείας ΕΟΑ. Στις καταστάσεις αυτές λαμβάνονται υπόψη και οι κλίσεις της γραμμής.
- Στην κατάσταση λειτουργίας SR. Η παρακολούθηση ταχύτητας στόχου ενεργοποιείται έως την μηδενική ταχύτητα όταν ο συρμός προσεγγίζει το τέλος της απόστασης στην οποία επιτρέπεται να κινηθεί. Στην κατάσταση αυτή δεν λαμβάνονται υπόψη οι κλίσεις της γραμμής.

- Στην κατάσταση λειτουργίας UN. Η παρακολούθηση ταχύτητας στόχου ενεργοποιείται όταν ο συρμός προσεγγίζει περιοχές με προσωρινούς περιορισμούς ταχύτητας TSRs. Στην κατάσταση αυτή δεν λαμβάνονται υπόψη οι κλίσεις της γραμμής.

Όταν η ταχύτητα βρίσκεται υπό δυναμική παρακολούθηση μέχρι μία μικρότερη, μη μηδενική, ταχύτητα στόχο, τα όρια επίβλεψης υπολογίζονται στο όχημα, ώστε ο συρμός να επιβραδύνει έως την ταχύτητα στόχο. Τα όρια P,W, SBI και EBI στο τμήμα παρακολούθησης ταχύτητας στόχου υπολογίζονται έτσι ώστε να καταλήγουν στο επόμενο τμήμα παρακολούθησης άνω οριακής ταχύτητας. Για όλες τις καμπύλες λαμβάνεται υπόψη η δυσμενέστερη εκτίμηση οδομετρίας, δηλαδή το maximum safe front end του συρμού χρησιμοποιείται ως αρχή για την χαμηλότερη ταχύτητα στόχο.



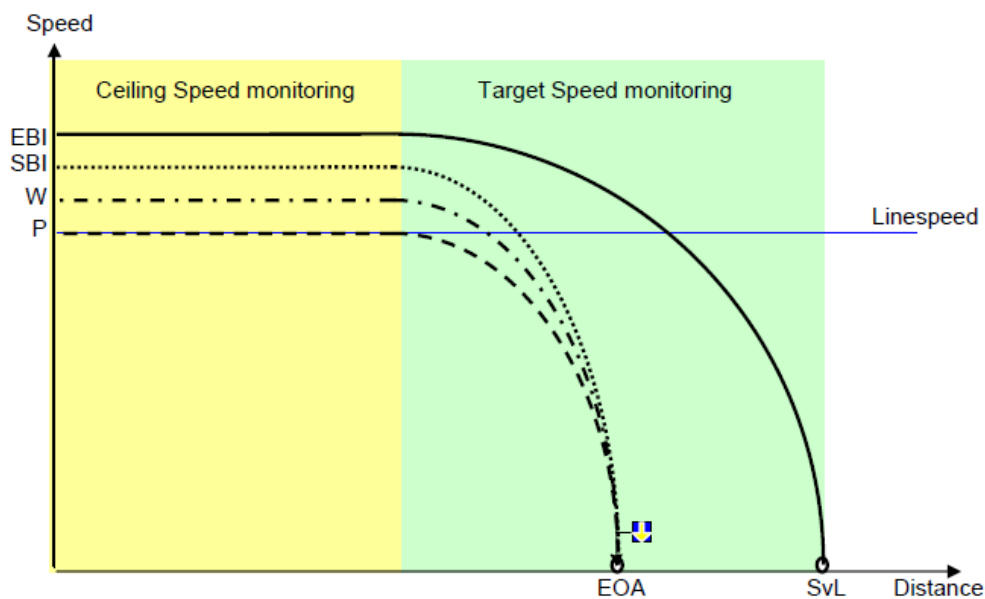
Διάγραμμα 4.1 Προφίλ πέδησης σε μικρότερη ταχύτητα στόχο [RGGN 2010]

Όταν η ταχύτητα βρίσκεται υπό δυναμική παρακολούθηση μέχρι μηδενική ταχύτητα, δηλαδή στο τέλος μιας άδειας πορείας ΕΟΑ, τα όρια επίβλεψης υπολογίζονται στο όχημα, ώστε ο συρμός να φτάσει σε στάση, με τον εξής τρόπο:

- Τα όρια P,W και SBI υπολογίζονται επί του οχήματος, για να εξασφαλίσουν ότι ο συρμός δεν θα ξεπεράσει το τέλος της άδειας πορείας ΕΟΑ. Η αυτόματη πέδη ενεργοποιείται στην περίπτωση που το SBI ξεπεραστεί. Το SBI υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η ταχύτητα του συρμού το ξεπεράσει να φέρει τον συρμό σε στάση πριν το τέλος της άδειας πορείας ΕΟΑ.

- β. Το όριο EBI υπολογίζεται στο όχημα ώστε ο συρμός να μην ξεπεράσει την θέση επίβλεψης SvL (το οποίο είναι είτε κάποιο από τα σημεία DP και OL είτε το EOA) μέσω της διενέργειας της πέδης έκτακτης ανάγκης. Κατά τον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος που χρειάζεται για να διακοπεί η ελκτική δύναμη (αν αυτό δεν έχει ήδη συμβεί) καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη εφαρμογή της πέδης έκτακτης ανάγκης.

Στο Διάγραμμα 4.2 φαίνονται τα όρια παρέμβασης του συστήματος. Στην περίπτωση του σχήματος η θέση επίβλεψης SvL βρίσκεται σε κάποια απόσταση από το EOA, συμπίπτει δηλαδή με κάποιο σημείο DP ή OL.



Διάγραμμα 4.2 Προφίλ πέδης σε EOA [RGGN 2010]

Παρακολούθηση ελευθέρωσης ταχύτητας

Μια υπερεκτίμηση στην οδομετρία μπορεί να αποτρέψει τον συρμό από το να καταλήξει σε σήμα ή block marker στο τέλος της άδειας πορείας EOA. Για να ξεπεραστεί αυτό, το σύστημα μπορεί να αλλάξει τον τρόπο επίβλεψης της ταχύτητας κατά την προσέγγιση στο EOA μέσω της ελευθέρωσης της ταχύτητας.

Υπό την παρακολούθηση ελευθέρωσης της ταχύτητας ο συρμός επιτρέπεται να προσπεράσει το υπολογισθέν τέλος άδειας πορείας EOA με ταχύτητα όχι μεγαλύτερη από αυτήν που είχε κατά την ελευθέρωση από την προηγούμενη παρακολούθηση. Στην περίπτωση που το minimum safe front end του συρμού προσπεράσει την υπολογισθείσα θέση του EOA, τότε ο συρμός εισέρχεται σε κατάσταση λειτουργίας TR. Αυτό γίνεται γιατί ο ETCS εξοπλισμός οχήματος είναι σίγουρος ότι το εμπρός μέρος του συρμού έχει προσπεράσει την πραγματική θέση EOA όταν το minimum safe front end του συρμού έχει προσπεράσει την υπολογισθείσα θέση EOA.

Η ταχύτητα ελευθέρωσης είναι υπολογισμένη ώστε έχοντας ο συρμός εισέλθει σε κατάσταση λειτουργίας TR να μπορεί να βρεθεί σε στάση πριν από το σημείο επιτήρησης SvL. Η ταχύτητα ελευθέρωσης μπορεί είτε :

- a. Να μεταδοθεί από το υποσύστημα της γραμμής στον εξοπλισμό οχήματος, είτε
- b. Να υπολογιστεί από τον εξοπλισμό οχήματος με βάση την διαφορά των σημείων EOA και SvL, λαμβάνοντας υπόψη την δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος οδομετρίας.

Ο σχεδιασμός λειτουργίας είναι αυτός που καθορίζει εάν η ταχύτητα ελευθέρωσης θα μεταδίδεται από τον εξοπλισμό γραμμής στο όχημα ή θα υπολογίζεται από τον εξοπλισμό οχήματος.

Συνήθως υπολογίζεται επί του οχήματος ώστε ο συρμός να μπορεί να χρησιμοποιήσει το δικό του μοντέλο πέδησης για να προσδιορίσει την ταχύτητα ελευθέρωσης ώστε να ακινητοποιηθεί πριν το σημείο SvL. Παρόλα αυτά η ταχύτητα ελευθέρωσης από πλευράς γραμμής μπορεί να πλεονεκτεί στις παρακάτω περιπτώσεις :

- a. Για την αποφυγή ταχύτητας ελευθέρωσης λειτουργικά πολύ υψηλής στην περίπτωση που η απόσταση του EOA από το SvL είναι αρκετά μεγάλη.
- b. Για να μπορεί ο συρμός να έχει καλή προσέγγιση κατά τις στάσεις ρύθμισης, κάτι που και το μικρό σφάλμα οδομετρίας θα εμπόδιζε.

Επίβλεψη κινήσεων συρμού

Σε ορισμένες καταστάσεις λειτουργίας, μπορεί να αποτραπεί η κίνηση του συρμού σε κατεύθυνση στην οποία δεν προοριζόταν να κινηθεί. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει:

- a. Παρακολούθηση απόστασης σε όπισθεν κίνηση, η οποία περιορίζει την απόσταση την οποία μπορεί να διανύσει ο συρμός σε όπισθεν, στις καταστάσεις λειτουργίας RV και PT.
- b. Προστασία από κύλιση, η οποία περιορίζει την απόσταση στην οποία ο συρμός μπορεί να κινηθεί στην περίπτωση που η κίνηση του συρμού συγκρούεται με την τρέχουσα θέση του ελεγκτή κατεύθυνσης του συρμού. Εάν ο ελεγκτής είναι σε ουδέτερη θέση, η προστασία αυτή θα αποτρέψει την κίνηση και προς τα εμπρός και προς τα πίσω.
- c. Προστασία όπισθεν κίνησης, η οποία περιορίζει την απόσταση στην οποία ο συρμός μπορεί να κινηθεί στην αντίθετη κατεύθυνση της επιτρεπόμενης κατεύθυνσης κίνησης. Η επιτρεπόμενη κατεύθυνση κίνησης είναι αυτή της τρέχουσας άδειας πορείας.

- d. Επίβλεψη ακινησίας, η οποία περιορίζει την απόσταση στην οποία μπορεί ο συρμός να κινηθεί όταν δεν έχει άδεια πορείας.
- e. Οι λίστες των Balise groups μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις καταστάσεις λειτουργίας SR και SH, στις οποίες παρέχεται η λίστα των Balise groups από τα οποία ο συρμός θα διέλθει κατά την κίνησή του. Αν ο συρμός διέλθει από κάποιο εκτός λίστας Balise group, ο εξοπλισμός οχήματος εφαρμόζει την πέδη έκτακτης ανάγκης.
- f. Ένα μήνυμα STOP μπορεί να σταλεί από ένα Balise group προς τον διερχόμενο συρμό που θα του προκαλέσει στάση εάν ο συρμός είναι σε κατάσταση λειτουργίας SR ή SH. Ο εξοπλισμός οχήματος ενεργοποιεί την πέδη έκτακτης ανάγκης. Εάν ο συρμός βρίσκεται σε άλλη κατάσταση λειτουργίας από τις SR και SH, τότε το μήνυμα αυτό παραβλέπεται.
- g. Η πέδη έκτακτης ανάγκης εφαρμόζεται αυτόματα όταν ο συρμός είναι σε κατάσταση λειτουργίας NP, TR ή SF αποτρέποντας την κίνηση του συρμού.

Άλλες λειτουργίες

Άλλες λειτουργίες που παρέχει ο εξοπλισμός ETCS είναι:

- Παράκαμψη παρακολούθησης. Είναι δυνατό για τον μηχανοδηγό να παρακάμψει προσωρινά την επίβλεψη ταχύτητας και απόστασης που παρέχει το ETCS. Η λειτουργία αυτή περιορίζει τον χρόνο και την απόσταση που ο συρμός μπορεί να κινείται χωρίς καμία επίβλεψη. Εάν ο συρμός είναι σε κατάσταση λειτουργίας FS ή OS και η λειτουργία παράκαμψης παρακολούθησης (Override) είναι ενεργή, ο συρμός εξέρχεται από τις καταστάσεις αυτές και εισέρχεται στην κατάσταση λειτουργίας SR.
- Κατάσταση γραμμής. Ο εξοπλισμός γραμμής ενημερώνει τον εξοπλισμό οχήματος για ορισμένες συνθήκες τις γραμμής οι οποίες θα επηρεάσουν τον συρμό. Αυτές μπορεί να είναι μεταλλικά αντικείμενα που μπορεί να αλληλεπιδράσουν με την κεραία Balise του συρμού και να τον φέρουν σε στάση, περιοχές που δεν καλύπτονται από ραδιοεπικοινωνία ή περιοχές από τις οποίες πρέπει να διέλθει ο συρμός χωρίς στάση.
- Νομικά δεδομένα. Σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας (εκτός NP και IS) ο εξοπλισμός οχήματος συνεχόμενα καταγράφει δεδομένα, τα οποία μπορούν να αναλυθούν στην περίπτωση ατυχήματος ή κάποιου περιστατικού.
- Μηνύματα κειμένου μπορούν να σταλούν από τον εξοπλισμό γραμμής για προβολή στην οθόνη DMI. Είναι δυνατό να γίνεται εμφάνιση του μηνύματος μόνο όταν ο συρμός βρίσκεται μεταξύ καθορισμένων θέσεων της γραμμής.

5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

5.1 Γενικά

5.1.1 Ορισμός

Ο ορισμός της χωρητικότητας¹ της σιδηροδρομικής γραμμής παρουσιάζει μια σχετική δυσκολία, καθώς πρέπει να συνδυάσει την υποδομή (infrastructure) και το δρομολόγιο. Με το πέρασμα των χρόνων έχει λάβει διάφορους ορισμούς:

- Χωρητικότητα (κυκλοφοριακή ικανότητα) νοείται το πλήθος των συρμών που μπορούν να κυκλοφορήσουν μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε μία γραμμή, λαμβάνοντας υπόψη:
 - τις ειδικές συνθήκες εκμετάλλευσης και λειτουργίας της γραμμής
 - την τήρηση ορισμένων περιορισμών που εξασφαλίζουν ένα καλό επίπεδο εξυπηρέτησης. [Πυργίδης 2006]
- χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής είναι η ικανότητα της να προσφέρει λειτουργία στους συρμούς με αποδεκτή ακρίβεια. [Kaas 2006]
- χωρητικότητα μπορεί να οριστεί ως η δυνατότητα της σιδηροδρομικής υποδομής να χειριστεί ένα ή περισσότερα δρομολόγια. [Kaas 2006]
- χωρητικότητα ως γενικό μέγεθος δεν μπορεί να προσδιοριστεί. Η χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής εξαρτάται από τον λόγο για τον οποίο χρησιμοποιείται. [UIC 2004 a]

Η δυσκολία του ορισμού της χωρητικότητας έγκειται στο γεγονός ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι για τον προσδιορισμό της.

¹ Ο όρος χωρητικότητα προέρχεται από το αγγλικό Capacity, ενώ στους γερμανικούς σιδηρόδρομους η λέξη Kapazität εμπεριέχεται στην έννοια Systemleistungsfähigkeit, δηλαδή ικανότητα απόδοσης του συστήματος.

5.1.2 Παράμετροι επιρροής της χωρητικότητας της γραμμής

- **Παράμετροι που αφορούν στη σιδηροδρομική υποδομή**

Η χωρητικότητα μιας σιδηροδρομικής υποδομής εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γραμμής όπως:

- Το πλήθος των διαθέσιμων στην κυκλοφορία γραμμών
- τον εξοπλισμό σηματοδότησης (συστήματα κεντρικού ελέγχου, ηλεκτρική σηματοδότηση, τρόπος ανίχνευσης παρουσίας συρμών, μήκος τμημάτων αποκλεισμού)
- τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα στα διάφορα επιμέρους τμήματα γραμμής
- τους περιορισμούς ταχύτητας που επιβάλλονται από την χάραξη. Την παρουσία ισόπεδων διαβάσεων και τις προδιαγραφές σχηματισμών γραμμής (διασταυρώσεις, διακλαδώσεις)
- τις απαιτήσεις συντήρησης.

- **Παράμετροι που αφορούν στο τροχαίο υλικό**

Τα κινηματικά χαρακτηριστικά των συρμών, τα ελκτικά στοιχεία των κινητήριων οχημάτων και ο τύπος των διερχόμενων συρμών έχουν σημαντική επίδραση στην χωρητικότητα και ιδιαίτερα στη δυνατότητα της ολικής ή μερικής χρήσης μιας δεδομένης γραμμής.

Επίσης για έναν συρμό που κάνει συχνές στάσεις, είναι πολύ σημαντικά τα χαρακτηριστικά επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

Τέλος, το μήκος του συρμού επιδρά στην τιμή του ελάχιστου χρονικού διαστήματος διαδοχής μεταξύ δύο συρμών. Όσο πιο επιμήκης είναι ένας συρμός, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για να απελευθερωθεί το τμήμα αποκλεισμού.

- **Παράμετροι που αφορούν στις συνθήκες εκμετάλλευσης**

- **Βαθμός ανομοιογένειας της κυκλοφορίας**

Η ανομοιογένεια σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα των συρμών που κυκλοφορούν στην γραμμή. Είναι γενικά προτιμότερο να ομαδοποιούνται οι συρμοί σε κατηγορίες με ίδιες ταχύτητες κυκλοφορίας ώστε να εξοικονομείται χωρητικότητα. (ο παράγοντας της ανομοιογένειας παρουσιάζεται αναλυτικά στην παράγραφο 5.3.1.4)

- **Τρόπος διαδοχής συρμών**

Η διαδοχή των συρμών αναφέρεται στη σειρά με την οποία κυκλοφορούν συρμοί διαφορετικών ταχυτήτων.

- **Ειδικές απαιτήσεις ωραρίων δρομολόγησης συρμών**

Ο αριθμός των στάσεων σε μια γραμμή και η ικανότητα υποδοχής και απορρόφησης της κυκλοφορίας στους ενδιάμεσους και στους τερματικούς σταθμούς έχουν σημαντική επίδραση στη χωρητικότητα. Όσες περισσότερες στάσεις κάνει ένας συρμός τόσο περισσότερη χωρητικότητα καταναλώνει.

Για παράδειγμα, για τους τοπικούς επιβατικούς συρμούς, οι οποίοι σταματούν σχεδόν σε κάθε σταθμό, εκτός από τους περιορισμούς ταχύτητας της γραμμής και την απόσταση μεταξύ των στάσεων, λαμβάνουμε υπόψη και τους ακόλουθους παράγοντες, που επηρεάζουν την ταχύτητα τους:

- τα ελκτικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά πέδησης
- τα όρια ταχύτητας, για τεχνικούς ή κανονιστικούς λόγους, κυρίως κατά την είσοδο και έξοδο από τους σταθμούς
- την διάρκεια στάσης στους σταθμούς.

- **Επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης**

Το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης σχετίζεται άμεσα με την τήρηση του δρομολογίου.

Στην περίπτωση καθυστέρησης ενός συρμού σε μια αλληλουχία συρμών σε μικρά χρονικά διαστήματα, θα προκληθούν αλυσιδωτές καθυστερήσεις και στους επόμενους συρμούς. Επομένως όσο υψηλότερο είναι το απαιτούμενο επίπεδο εξυπηρέτησης τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος να μειωθεί η χωρητικότητα.

Για την αντιμετώπιση αυτού προστίθενται στο δρομολόγιο περιθώρια άνεσης (είτε σταθερά είτε κατά ένα ποσοστό) μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών, ή δημιουργούνται πρόσθετες διαδρομές στο δρομολόγιο που δεν θα χρησιμοποιηθούν.

5.1.3 Σκοπιμότητα γνώσης της χωρητικότητας της γραμμής

Όσον αφορά στα έργα υποδομής, ο υπολογισμός της χωρητικότητας της γραμμής αποτελεί τμήμα της μελέτης σκοπιμότητας σχεδιασμού μιας νέας γραμμής (μονής ή διπλής), διπλασιασμού μιας γραμμής, κατάργησης μιας γραμμής, εγκατάστασης ηλεκτρικής σηματοδότησης κ.α.

Από άποψη λειτουργίας, η γνώση της χωρητικότητας ενός τμήματος γραμμής είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση άμεσων προβλημάτων όπως η δρομολόγηση νέων τακτών, περιοδικών ή έκτακτων συρμών σε ένα τμήμα γραμμής, η διάρθρωση του ωραρίου των δρομολογίων, η ασφαλής κυκλοφορία των συρμών και η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού γραμμής για τον σκοπό αυτό, η διερεύνηση των

καθυστερήσεων, ποσοτική εκτίμηση τους, η πρόβλεψη περιθωρίων άνεσης για τη μείωση ή απόσβεσή τους κ.α.

Η γνώση της κυκλοφοριακής ικανότητας ενός τμήματος γραμμής και κατ' επέκταση ενός σιδηροδρομικού δικτύου βοηθά επιπλέον στη λήψη μακροπρόθεσμων μέτρων που αφορούν στην πολιτική επένδυσης σε έργα υποδομής και γενικότερα στην πολιτική σχεδιασμού των μεταφορών σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Τέλος ο υπολογισμός της χωρητικότητας της γραμμής είναι το πρώτο βήμα προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις από την διαχείριση μιας υποδομής για χορήγηση διαδρομών (κατανομή χωρητικότητας) στις διάφορες επιχειρήσεις που επιθυμούν να μεταφέρουν εμπορεύματα μέσω της συγκεκριμένης σιδηροδρομικής υποδομής.

5.2 Υπολογισμός της χωρητικότητας γραμμής

Η χωρητικότητα ενός τμήματος γραμμής εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων. Ο μεγάλος αριθμός παραγόντων επιρροής και κυρίως η διαφορετική τους φύση (γεωμετρικά, λειτουργικά, κινηματικά χαρακτηριστικά), καθιστούν σχεδόν αδύνατο τον ακριβή υπολογισμό της.

Στα πλαίσια λειτουργικών παραδοχών και μαθηματικών απλοποιήσεων έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς πολλά μαθηματικά μοντέλα υπολογισμού της χωρητικότητας, η εφαρμογή και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των οποίων, έχουν άμεση σχέση με τα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του δικτύου μελέτης.

Οι βασικότερες μέθοδοι παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.1, ταξινομημένες ανάλογα με την μεθοδολογία υπολογισμού.

Πίνακας 5.1 Βασικές μέθοδοι προσδιορισμού χωρητικότητας [Πυργίδης 2006]

Αναλυτικές μέθοδοι	Σχέσεις βασισμένες στη θεωρία πιθανοτήτων	Μέθοδοι δόμησης γραφήματος δρομολογίων	Μοντέλα προσομοίωσης
- Μέθοδος UIC 405 I - Μέθοδος Ιταλικών Σιδ/μων (FS) - Μέθοδος Ολλανδικών Σιδ/μων (NS) - Μέθοδος Ελβετικών Σιδ/μων (CFF) - Μέθοδος Σουηδικών Σιδ/μων (Simon) - Μέθοδος Haker - Μέθοδος Hiller - Μέθοδος Ιαπωνικών Σιδ/μων (JNR) - Μέθοδος Αμερικάνικων Σιδ/μων (AREA)	- Μέθοδος Γερμανικών Σιδ/μων (DB) - Μέθοδος Ελβετικών Σιδ/μων (DGCF) - Μέθοδος Schwanhäuber	- Μέθοδος συμπίεσης γραφήματος δρομολογίων - Μέθοδος κορεσμού γραφήματος δρομολογίων - Μέθοδος 'τυπικής' διαδρομής (standard path) - Μέθοδος CAPRES - Μέθοδος DONS - Μέθοδος SCAN	- Μοντέλο προσομοίωσης χωρητικότητας γραμμής που λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες εκμετάλλευσης - Μοντέλο προσομοίωσης χωρητικότητας γραμμής που η ομαλή λειτουργία της έχει διαταραχθεί - Μοντέλο CHAO/SOFTIME - Μοντέλο FASTA - Μοντέλο RAILSIM - Μοντέλο SERGOB - Μοντέλο SIMON - Μοντέλο SISYFE - Μοντέλο ομάδας SLS - Μοντέλο Ux-SIMU - Μοντέλο VISION - Μοντέλο RAILCAP

Οι μέθοδοι διαφοροποιούνται ως προς την ποιότητα λειτουργίας και εξυπηρέτησης που επιθυμεί κάθε Σιδηροδρομικός Οργανισμός. Επομένως στον υπολογισμό της χωρητικότητας υπεισέρχονται παράγοντες οι οποίοι κυρίως αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των ανωμαλιών (καθυστερήσεων) που πιθανώς να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Έτσι τα περιθώρια άνεσης προκύπτουν διαφορετικά και επομένως και η τιμή της χωρητικότητας στο ίδιο τμήμα γραμμής. Συνήθως η τιμή $r=5$ min του περιθωρίου άνεσης θεωρείται ικανοποιητική. [Λυμπέρης 1998]

Η τιμή της χωρητικότητας επομένως, για ένα δεδομένο τμήμα γραμμής δεν αποτελεί σταθερό μέγεθος και μεταβάλλεται ανάλογα με την εκτίμηση των παραγόντων που υπεισέρχονται στις σχέσεις υπολογισμού της.

5.2.1 Μέθοδος UIC - οδηγία 405 I

Με βάση την οδηγία 405 I της UIC για την χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής (για γραμμές μιας κατεύθυνσης κυκλοφορίας) η χωρητικότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$C = \frac{\text{χρονικό διάστημα μέτρησης}}{\text{μέση χρονοαπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών}} \quad [\text{συρμ/χρον.διαστ.}]$$

Επειδή το χρονικό διάστημα μέτρησης καθορίζεται κάθε φορά από τον επιθυμητό στόχο, επικεντρώνεται η διερεύνηση χωρητικότητας της γραμμής στον καθορισμό της μέσης ελάχιστης χρονοαπόστασης μεταξύ δύο συρμών. [Πυργίδης 2006]

Η χρονοαπόσταση περιλαμβάνει δύο επιμέρους χρόνους:

- Την ελάχιστη ή μέση ελάχιστη χρονοαπόσταση $\bar{z}$ μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών, η οποία εξαρτάται από:
 - Την ταχύτητα των συρμών εκφραζόμενη από τη διαφορά χρόνου διαδρομής δύο διαδοχικών συρμών από την αρχή του τμήματος της γραμμής μέχρι το κρίσιμο τμήμα.
 - Τον χρόνο αποκλεισμού ή τον χρόνο κατάληψης του υπόψη τμήματος αποκλεισμού που αποτελεί το κρίσιμο τμήμα.
 - Το ποσοστό των συρμών κάθε κατηγορίας στο σύνολο των συρμών
 - Την τεχνική και τεχνολογία της σηματοδότησης.
- Το μέσο περιθώριο άνεσης $\bar{r}$.

Επομένως:

$$C = \frac{T}{\bar{z} + \bar{r}} \quad [\text{συρμ/χρον.διαστ.}]$$

T	χρονικό διάστημα παρατήρησης
C	χωρητικότητα γραμμής [συρμ/χρον.διαστ.]
$\bar{z}$	μέση ελάχιστη χρονοαπόσταση [min]
$\bar{r}$	μέσο περιθώριο άνεσης [min]

Για την αντιμετώπιση των διαφοροποιήσεων των δικτύων η UIC λαμβάνει υπόψη της, από εμπειρικές τιμές διαφόρων σιδηροδρομικών δικτύων, μια ποιοτική λειτουργία δικτύου όπου η μέγιστη κάλυψη του κρίσιμου τμήματος λαμβάνεται ίση με 60%. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα περιθώριο άνεσης ίσο με 67% της μέσης ελάχιστης χρονοαπόστασης.

Μέσα σε αυτές τις τιμές συμπεριλαμβάνονται όλες οι παράμετροι που η αντιμετώπισή τους διαφέρει από οργανισμό σε οργανισμό.

Η χωρητικότητα υπολογίζεται από τη σχέση

$$C = \frac{T}{\bar{z} + \bar{r} + t_{zu}} \quad [\text{συρμ/χρον.διαστ.}]$$

όπου

$\bar{r} = 0,67 \cdot \bar{z}$ μέσο περιθώριο άνεσης [min]

$t_{zu} = \alpha \cdot 0,25$ πρόσθετος χρόνος με α = πλήθος τμημάτων γραμμής [min]

Ο υπολογισμός της χωρητικότητας γίνεται με βάση τις σχετικές συνθήκες που ισχύουν στο κρίσιμο επιμέρους τμήμα γραμμής.

5.3 Προσδιορισμός χωρητικότητας – μέθοδος UIC, οδηγία 406

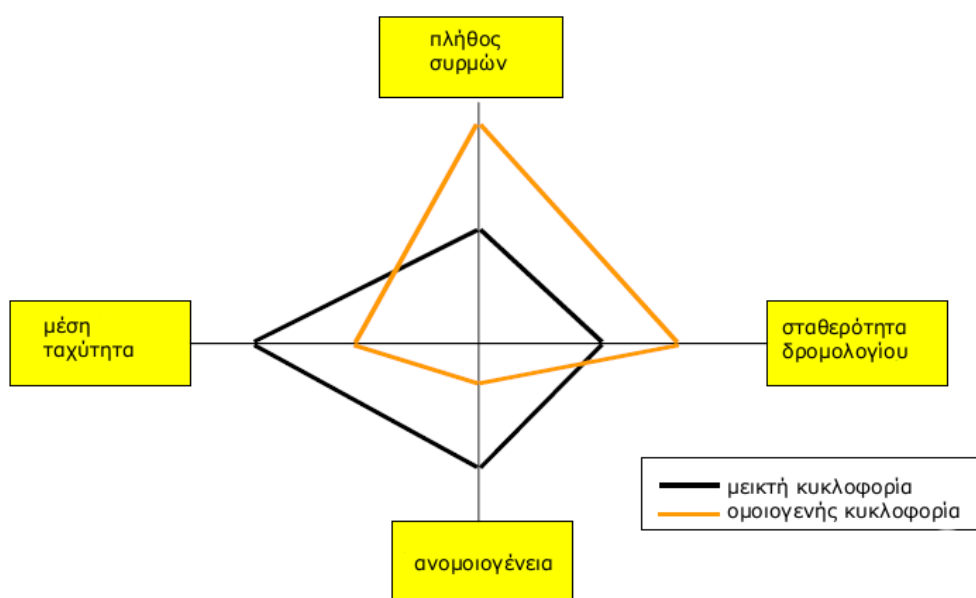
5.3.1 Βασικοί παράμετροι που διέπουν την χωρητικότητα

Οι βασικοί παράμετροι που διέπουν την χωρητικότητα της σιδηροδρομικής υποδομής είναι τα χαρακτηριστικά της ίδιας της υποδομής, και αυτά περιλαμβάνουν το σύστημα σηματοδότησης, το πρόγραμμα των μετακινήσεων και το επιβαλλόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Σε μία δοσμένη σιδηροδρομική υποδομή, η χωρητικότητα βασίζεται στις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ:

- Του πλήθους των συρμών (ανά χρονικό διάστημα). Όσο αυξάνεται το πλήθος των συρμών / χρονικό διάστημα, τόσο μειώνεται η ποιότητα.
- Της μέσης ταχύτητας. Η απόσταση πέδησης αυξάνεται ανάλογα με την μέση ταχύτητα.
- Τη σταθερότητα. Περιθώρια άνεσης πρέπει να προστίθενται στους χρόνους διάνυσης των συρμών και μεταξύ των διαδρομών για να εξασφαλίζουν τον περιορισμό των μικρών καθυστερήσεων και όχι την ενίσχυση τους, και κατά συνέπεια στην πρόκληση μεγάλων καθυστερήσεων στους επόμενους συρμούς.
- Την ανομοιογένεια. Όταν οι διαφορές στον χρόνο διάνυσης μεταξύ των συρμών που κυκλοφορούν στην ίδια γραμμή είναι μεγάλες, η κατανάλωση της χωρητικότητας από το ίδιο πλήθος συρμών αυξάνεται αναλογικά.

Η σχέση μεταξύ των παραμέτρων αυτών φαίνεται στο παρακάτω Διάγραμμα 5.1 ‘ισορροπία χωρητικότητας’.



Διάγραμμα 5.1 Capacity balance [UIC 2004 a]

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.1, η χωρητικότητα είναι ένας ισορροπημένος συνδυασμός του πλήθους των συρμών, της σταθερότητας του δρομολογίου, της μέσης ταχύτητας που επιτυγχάνεται και της ανομοιογένειας της κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να επιτευχθεί μία υψηλή μέση ταχύτητα σε ένα σιδηροδρομικό δίκτυο με μεγάλη ανομοιογένεια. Παρόλα αυτά όμως, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, έλλειμμα στο πλήθος των συρμών και την σταθερότητα των δρομολογίων τους, σε σχέση με ένα αντίστοιχο δίκτυο, η κυκλοφορία του οποίου ήταν ομοιογενής. Εάν είναι επιθυμητό να κυκλοφορεί στο δίκτυο μεγαλύτερο

πλήθος συρμών, τότε θα πρέπει να υπάρχει μικρότερη ανομοιογένεια και κατ'επέκταση, μικρότερη μέση ταχύτητα.

5.3.1.1 Το πλήθος των συρμών

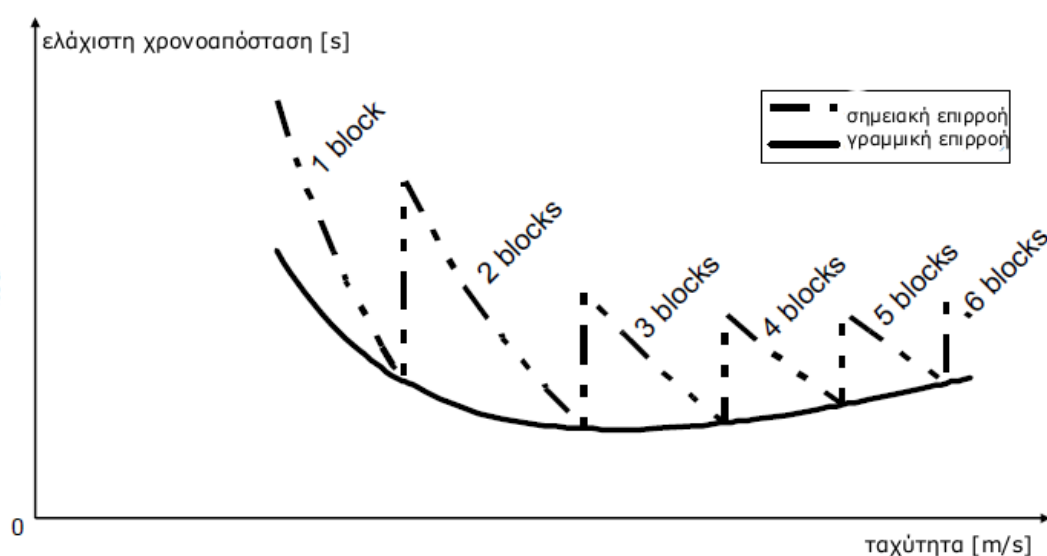
Το πλήθος των συρμών διαμορφώνεται ανάλογα με την ζήτηση και τις υπηρεσίες που προσφέρουν (επιβατικοί συρμοί υψηλής/χαμηλής ταχύτητας, εμπορευματικοί συρμοί).

Όταν στο δίκτυο απαιτείται μεγάλο πλήθος συρμών, είναι δύσκολος ο συνδυασμός διαδρομών συρμών με συχνές στάσεις και συρμών υψηλής ταχύτητας. Αυτό συμβαίνει γιατί ένας συρμός υψηλής ταχύτητας θα προφτάσει τον προπορευόμενο συρμό πολλών στάσεων δημιουργώντας συμφόρηση.

5.3.1.2 Μέση ταχύτητα

Ένας συρμός καταναλώνει διαφορετική ποσότητα χωρητικότητας ανάλογα με την ταχύτητα με την οποία κινείται. Όταν ένας συρμός είναι ακινητοποιημένος, καταναλώνει όλη την χωρητικότητα καθώς καταλαμβάνει το τμήμα αποκλεισμού στο οποίο βρίσκεται για όσο χρόνο βρίσκεται εκεί. Όταν ένας συρμός αυξάνει την ταχύτητά του, τότε καταλαμβάνει για λιγότερο χρόνο το τμήμα αποκλεισμού και εφόσον και άλλοι συρμοί μπορούν να διανύσουν το τμήμα αποκλεισμού η χωρητικότητα αυξάνεται.

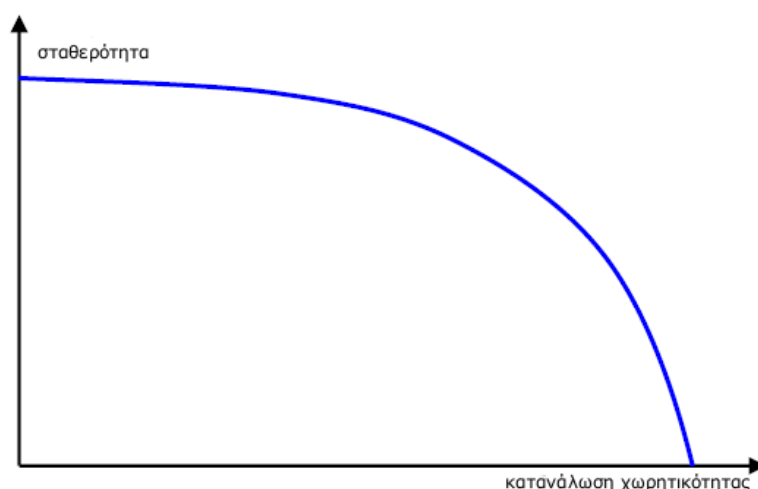
Παρόλα αυτά, αυξανόμενης της ταχύτητας, αυξάνεται και το μήκος πέδησης, κάτι που σημαίνει αύξηση της απόστασης και του χρόνου διαδοχής και άρα μείωση της χωρητικότητας.



Διάγραμμα 5.2 Ελάχιστη χρονοαπόσταση συναρτήσει της ταχύτητας του συρμού [Kaas 2006]

5.3.1.3 Σταθερότητα δρομολογίου

Όσον αφορά στην σταθερότητα του σιδηροδρομικού συστήματος ή την ακρίβεια του δρομολογίου, είναι δύσκολο να αξιολογηθεί όταν ένα δρομολόγιο δεν έχει τεθεί ακόμη σε λειτουργία. Η εμπειρία στη σχεδίαση δρομολογίων θα μπορούσε να βοηθήσει στον προσδιορισμό της επιρροής της υποδομής στο δρομολόγιο ή μικρών αλλαγών που θα κριθούν απαραίτητες. Για τον σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εργαλεία προσομοίωσης. Παρόλη την δυσκολία προσδιορισμού της μελλοντικής ακρίβειας του συστήματος, ισχύει ο γενικός κανόνας ότι η ακρίβεια των δρομολογίων μειώνεται όσο αυξάνεται η κατανάλωση της χωρητικότητας.



Διάγραμμα 5.3 Σχέση ακρίβειας δρομολογίου- κατανάλωσης χωρητικότητας [Kaas 2006]

Σε πολλές περιπτώσεις, ενώ μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη κατανάλωση χωρητικότητας από μία σιδηροδρομική γραμμή, αυτό δεν είναι επιτρεπτό γιατί θα οδηγήσει την ακρίβεια των δρομολογίων κάτω από τα επιτρεπτά επίπεδα. Αλλαγές στο δρομολόγιο μπορούν παρόλα αυτά να επιφέρουν καλύτερα αποτελέσματα.

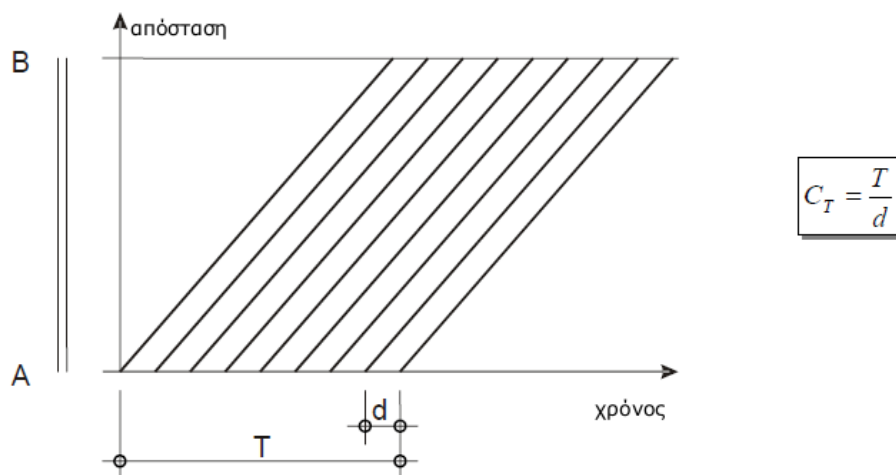
5.3.1.4 Ανομοιογένεια κυκλοφορίας

Η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των συρμών, που κυκλοφορούν στην ίδια γραμμή, αποτελεί έναν από τις κρίσιμότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την χωρητικότητα της γραμμής. Αυξάνοντας την διαφορά ταχύτητας μεταξύ του ταχύτερου και του βραχύτερου συρμού μειώνεται η διαθέσιμη χωρητικότητα. Η μείωση της διαφοράς ταχύτητας μεταξύ των δρομολογίων οδηγεί, με την προϋπόθεση σταθερής υποδομής, σε αύξηση της χωρητικότητας.

- Χωρητικότητα σε γραμμή ομοιογενούς κυκλοφορίας

Ο προσδιορισμός της χωρητικότητας σε μία γραμμή, στην οποία κυκλοφορούν μόνο συρμοί ίδιας ταχύτητας, είναι απλός. Με βάση το διάγραμμα χώρου-

χρόνου (Διάγραμμα 5.4) μιας τέτοιας περίπτωσης, η χωρητικότητα προκύπτει αντιστρόφως ανάλογη της ελάχιστης χρονοαπόστασης, του ελάχιστου δηλαδή δυνατού χρονικού διαστήματος μεταξύ δύο διαδοχικών δρομολογίων.



Διάγραμμα 5.4 Χωρητικότητα γραμμής με ομοιογενή κυκλοφορία [Buri 2009]

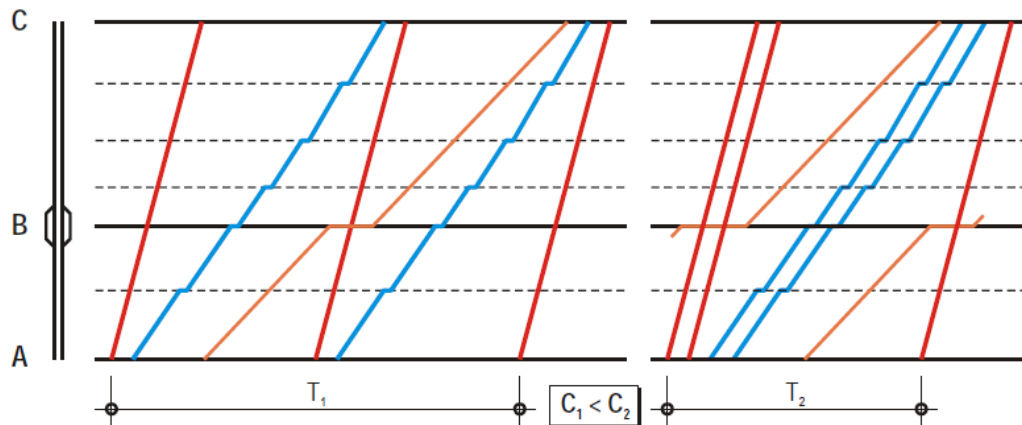
Χαρακτηριστικό παράδειγμα ομοιογενούς κυκλοφορίας αποτελούν οι γραμμές του μετρό. Αντίστοιχα θα μπορούσαν να μελετηθούν και τμήματα υψηλού φόρτου εθνικών δικτύων. Αυτή είναι η διαμόρφωση των λειτουργιών που μεγιστοποιεί την χωρητικότητα, όσο η επίδραση του δικτύου δεν προκαλεί επιπλέον περιορισμούς στο πέρας των πιο φορτωμένων τμημάτων.

- Χωρητικότητα σε γραμμή μεικτής κυκλοφορίας

Οι περισσότερες γραμμές υποστηρίζουν μεικτή κυκλοφορία με διαφόρων τύπων συρμούς, διαφορετικών υπηρεσιών και διαφορετικού πλήθους στάσεων. Στις περιπτώσεις αυτές λαμβάνονται υπόψη και άλλες δύο παράμετροι για τον προσδιορισμό της χωρητικότητας:

- η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σταθμών στους οποίους είναι δυνατή η υπέρβαση (προσπέραση) ενός αργού συρμού από έναν ταχύ και
- η αλληλουχία των διαδρομών (δηλαδή η σειρά με την οποία είναι προγραμματισμένα τα δρομολόγια)

για την διερεύνηση της χωρητικότητας είναι απαραίτητη η σχηματική απεικόνιση του δρομολογίου. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 5.5, δύο διαφορετικές ακολουθίες των ίδιων συρμών, για το ίδιο τμήμα γραμμής, οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα ως προς την χωρητικότητα.



Διάγραμμα 5.5 Χωρητικότητα γραμμής με μικτή κυκλοφορία [Buri 2009]

Στις γραμμές μικτής κυκλοφορίας, οι διαδρομές των συρμών έρχονται πιο κοντά η μία στην άλλη κατά την είσοδο ή έξοδο από κύριους σταθμούς, στους οποίους ένας ταχύς συρμός προσπερνά έναν αργό συρμό. Η μέγιστη χωρητικότητα στις περιπτώσεις αυτές επιτυγχάνεται όταν οι συγκλίνουσες ή αποκλίνουσες πορείες των συρμών διαφέρουν κατά την ελάχιστη χρονοαπόσταση που επιτρέπει το σύστημα ελέγχου και ασφαλείας.

5.3.2 Διαφορετικές όψεις της χωρητικότητας

Λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων, η χωρητικότητα εκλαμβάνεται διαφορετικά από την οπτική της αγοράς, του σχεδιασμού της υποδομής, του δρομολογίου και της λειτουργίας. Αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Η χωρητικότητα από διαφορετική οπτική γωνία [UIC 2004 a]

Αγορά (ανάγκες πελατών)	Σχεδιασμός υποδομής	Σχεδιασμός δρομολογίου	Λειτουργίες
- Αναμενόμενο πλήθος διαδρομών (αιχμής) - Αναμενόμενη σύνθεση κυκλοφορίας και ταχύτητας (αιχμής) - Ποιότητα υποδομής - Βέλτιστοι χρόνοι ταξιδιού - Βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες απαιτήσεις για την επίτευξη του βέλτιστου φόρτου	- Αναμενόμενο πλήθος διαδρομών (μέσος) - Αναμενόμενη σύνθεση κυκλοφορίας και ταχύτητας (μέση) - Αναμενόμενες συνθήκες υποδομής - Συμπληρωματικοί χρόνοι για τις αναμενόμενες διαταραχές - Στρατηγικές συντήρησης	- Ζητούμενο πλήθος διαδρομών - Ζητούμενη σύνθεση κυκλοφορίας και ταχύτητας - Υπάρχουσες συνθήκες υποδομής - Συμπληρωματικοί χρόνοι για τις αναμενόμενες διαταραχές - Ανταποκρίσεις σε σταθμούς - Απαιτήσεις εκτός δρομολογίου	- Πραγματικό πλήθος συρμών - Πραγματική σύνθεση κυκλοφορίας και ταχύτητα - Πραγματικές συνθήκες υποδομής - Καθυστερήσεις από λειτουργικά συμβάντα - Καθυστερήσεις από εργασίες γραμμής - Καθυστερήσεις από ελλειπείς ανταποκρίσεις - Επιπλέον χωρητικότητα από χρονικά συμπληρώματα που δεν χρησιμοποιήθηκαν

Ενώ η απαιτήσεις χωρητικότητας, από την οπτική της αγοράς, είναι προσανατολισμένες στην ικανοποίηση των τιμών αιχμής, οι απαιτήσεις του σχεδιασμού υποδομής προσανατολίζονται στον προσδιορισμό της χωρητικότητας που, κατά μέσο όρο, εγγυάται αποδοτική αξιοποίηση των υποδομών. Από την πλευρά του σχεδιασμού δρομολογίου, η χωρητικότητα συνδυάζει μία δεδομένη υποδομή με τις υπάρχουσες απαιτήσεις διαδρομών, ενώ τέλος, από λειτουργική άποψη, διαμορφώνεται συνεχώς σε σχέση με την διαθέσιμη υποδομή, τις καθυστερήσεις, τις εκτροπές και το πλήθος πρόσθετων συρμών.

Κάθε παραπάνω περίπτωση είναι σωστή υπό το δικό της υπόβαθρο. Οι παράμετροι, παρόλα αυτά, ορίζουν ότι κάθε οπτική οδηγεί σε διαφορετικό αποτέλεσμα απαίτησης χωρητικότητας.

5.3.3 Χωρητικότητα – σχετικοί περιορισμοί

Κάθε μία από τις παρακάτω συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικούς περιορισμούς της χωρητικότητας. Σε περίπτωση που εμφανιστεί συνδυασμός τέτοιων καταστάσεων μπορούν να προκύψουν σχεδόν άλυτα προβλήματα.

- **Προτεραιότητα**

Οι υπάρχοντες κανονισμοί προτεραιότητας επηρεάζουν την διαθέσιμη χωρητικότητα, καθώς αυτοί προσδιορίζουν την αναλογία στη σύνθεση της κυκλοφορίας. Διαφορετικοί κανονισμοί προτεραιότητας μπορεί να έχουν περισσότερο περιοριστικό αποτέλεσμα στην κυκλοφορία από ότι διαφορετικής αιτίας περιορισμοί στην χωρητικότητα.

- **Δομή δρομολογίου**

Η δικτύωση κυκλοφορίας τόσο μεγάλης όσο και μικρής κλίμακας δημιουργεί μία ποικιλία περιορισμών τόσο στην ελεύθερη γραμμή όσο και στους κόμβους. Τα δρομολόγια γραμμής, καθώς και τα ολοκληρωμένα συστήματα δρομολογίων είναι σχετικά άκαμπτα και οδηγούν σε κατάληψη της υποδομής με μικρή ευελιξία στο σχεδιασμό διαδρομών. Ιδιαίτερα κρίσιμη είναι η περίπτωση υπέρθεσης πολλών διαφορετικών συστημάτων στην ίδια υποδομή, κάτι που δεν αφήνει σχεδόν κανένα περιθώριο για άλλη κυκλοφορία.

- **Διαδικασία κατανομής χωρητικότητας**

Διαφορετικές μεθοδολογίες κατανομής χωρητικότητας αποτελούν περιοριστικό παράγοντα στην κατανομή της χωρητικότητας, ιδιαίτερα στις διασυνοριακές μετακινήσεις.

- **Κανόνες σχεδιασμού**

Ο προσδιορισμός του χρόνου διάνυσης, η διαχείριση του χρόνου ρύθμισης καθώς και το πόσο λαμβάνονται υπόψη τα μέτρα κατασκευής και συντήρησης διαφέρουν ανάλογα με μέθοδο σχεδιασμού και μπορούν να αποτελούν περιοριστικό παράγοντα.

- **Προστασία περιβάλλοντος**

Κανονισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος (π.χ. για την ηχορύπανση) έχουν περιοριστικό αντίκτυπο τόσο στον όγκο της κυκλοφορίας, όσο και σε ειδικές περιπτώσεις κίνησης (π.χ. για συγκεκριμένες ώρες την ημέρα). Επίσης απαγορεύσεις για επικίνδυνα φορτία αποκλείουν τη χρήση ορισμένων διαδρομών και οδηγούν την κίνηση σε προκαθορισμένες διαδρομές και συνδέσεις.

- **Θέματα ασφάλειας και τεχνικοί περιορισμοί**

Απαγορεύσεις διέλευσης σε ορισμένου τύπου κυκλοφορία, για διάφορους λόγους, προκαλεί περιορισμούς, για παράδειγμα σε διαδρομές με πολλές σήραγγες ή σε γραμμές υψηλών ταχυτήτων, κάτι που περιορίζει και την χωρητικότητα. Αντίστοιχες απαγορεύσεις ισχύουν και σε ορισμένου τύπου συστήματα πέδησης. Η παροχή ισχύος μπορεί επίσης να έχει περιοριστική επίδραση στη χωρητικότητα, δηλαδή σε σχέση με τον τύπο παροχής ενέργειας και την διαθέσιμη ισχύ.

- **Θεωρητική χωρητικότητα**

Η θεωρητική μέγιστη χωρητικότητα εκφρασμένη με το μέγιστο πλήθος συρμών μπορεί να υπολογιστεί καθορίζοντας ιδανικές συνθήκες. Για τον υπολογισμό αυτό πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- απόλυτη αρμονία συρμών- διαδρομών (ίδιες παράμετροι)
- η μικρότερη δυνατή χρονοαπόσταση μεταξύ των συρμών
- η λήψη του κρίσιμου τμήματος της γραμμής υπό τις απαιτήσεις των εθνικών συνθηκών ποιότητας.

5.3.4 Ορισμοί

5.3.4.1 Χωρητικότητα (κυκλοφοριακή ικανότητα) σιδηροδρομικής υποδομής είναι:

- το συνολικό πλήθος των δυνατών διαδρομών σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική σύνθεση της κυκλοφορίας ή υποθετική ανάπτυξή της,
- σε κόμβους, μεμονωμένες γραμμές ή τμήματα δικτύου,
- στο επιδιωκόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης.

5.3.4.2 Πρόσθετοι ορισμοί



Σχήμα 5.1 Διάρθρωση γραμμής σε τμήματα [Kaas 2006]

Άξονας (corridor): όλες οι δυνατές διαδρομές (κύριες ή εναλλακτικές διαδρομές) σύμφωνα με τις ανάγκες της αγοράς, μεταξύ μιας προέλευσης και ενός προορισμού.

Διαδρομή (route): διαδοχικές γραμμές και κόμβοι ως σύνολο μεταξύ μίας ορισμένης πηγής και στόχου.

Γραμμή (line): η σύνδεση μεταξύ δύο μεγάλων κόμβων και συνήθως το άθροισμα από περισσότερα από ένα τμήματα γραμμής.

Κόμβοι (nodes): σημεία ενός δικτύου στα οποία συγκλίνουν τουλάχιστον δύο γραμμές. Κόμβος μπορεί να είναι ένας σταθμός ή μία διασταύρωση. Μπορούν να διαφέρουν ως προς το μέγεθος ανάλογα με το πλήθος των συγκλινόντων γραμμών και την λειτουργία τους.

Σταθμοί (stations): σημεία του δικτύου στα οποία είναι δυνατή η διέλευση, η υπέρβαση και η αλλαγή κατεύθυνσης ενός συρμού, συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ταξινόμησης.

Διασταύρωση (junction): σημείο ενός δικτύου στο οποίο συγκλίνουν τουλάχιστον δύο γραμμές, χωρίς όμως να επιτρέπεται υπέρβαση ή αλλαγή κατεύθυνσης.

Τμήμα γραμμής (line section): κομμάτι της γραμμής στο οποίο:

- Η σύνθεση της κυκλοφορίας (σχετική αναλογία διαφόρων τύπων συρμών) και/ή το πλήθος των συρμών (έως 10%),
- Οι υποδομές και οι συνθήκες σηματοδότησης

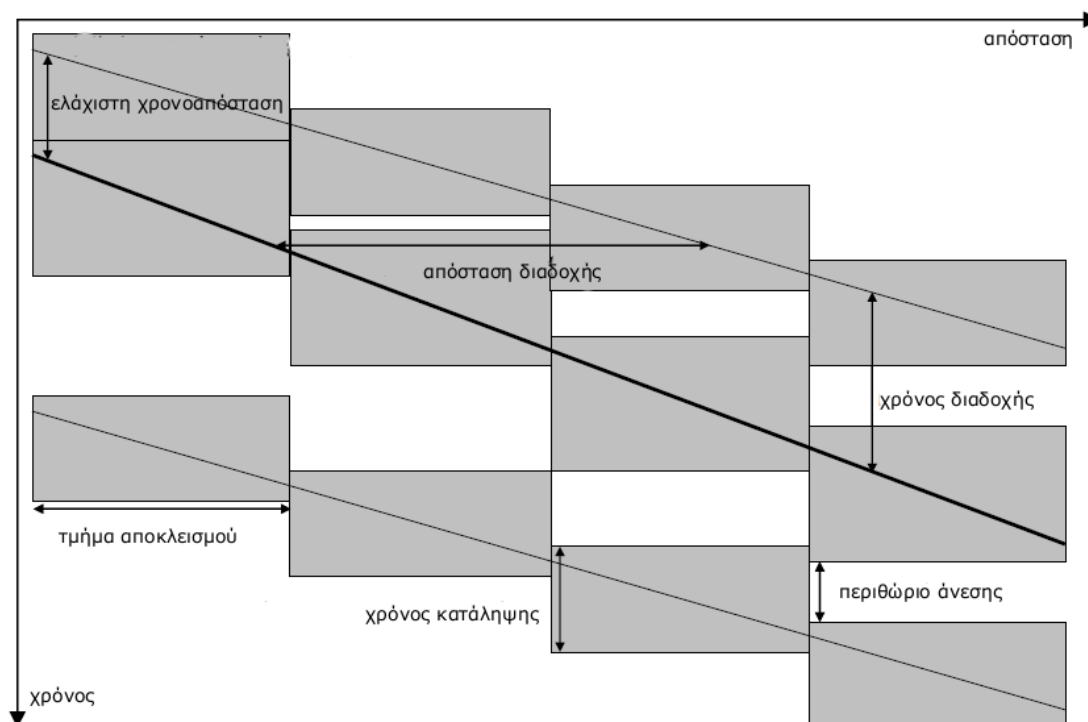
δεν μεταβάλλονται σημαντικά.

Τμήμα δικτύου (part of a network): συγκεκριμένος συνδυασμός κόμβων και γραμμών που πληρούν συγκεκριμένες λειτουργίες και ελέγχους.

Κρίσιμο τμήμα αποκλεισμού (relevant block section): τμήμα αποκλεισμού εντός του επιλεγμένου τμήματος γραμμής, που καθορίζει τον ελάχιστο χρόνο διαδοχής συρμών, σε όλα το μήκος του τμήματος γραμμής.

Χρόνος διαδοχής συρμών (headway time): ο χρονικός διαχωρισμός ή το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο συρμών που κινούνται στην ίδια γραμμή και προς την ίδια κατεύθυνση.

Απόσταση διαδοχής συρμών (headway distance): η απόσταση μεταξύ των εμπρόσθιων άκρων δύο διαδοχικών συρμών που κινούνται στην ίδια γραμμή και προς την ίδια κατεύθυνση. Η ελάχιστη απόσταση διαδοχής είναι η ελάχιστη δυνατή απόσταση σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα πορείας η οποία επιτρέπεται από το σύστημα σηματοδότησης και το σύστημα ασφαλείας.



Σχήμα 5.2 Ορισμοί

5.3.5 Υπολογισμός της κατανάλωσης της χωρητικότητας

5.3.5.1 Προσέγγιση

Η προτεινόμενη από την UIC (International Union of Railways) μέθοδος υπολογισμού της χωρητικότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τον ορισμό της έννοιας της χωρητικότητας. Λαμβάνεται υπόψη ότι σαν υπολογίσιμη τιμή μπορεί να θεωρηθεί ο βαθμός χρήσης της παρεχόμενης χωρητικότητας με αναφορά στις παραμέτρους που έχουν αναφερθεί στον ορισμό.

Απαραίτητη συνθήκη για την διερεύνηση της χωρητικότητας είναι η ύπαρξη προσχεδιασμένου δρομολογίου (είτε πραγματικό λειτουργικό είτε μία περίπτωση μελέτης) για την λειτουργία των συρμών σε συγκεκριμένη σιδηροδρομική υποδομή. Το δρομολόγιο αυτό, το οποίο αποτυπώνει τη ζήτηση της αγοράς, πρέπει να αναλυθεί ως προς την κατανάλωση-χρήση της χωρητικότητας, ώστε να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση οι συρμοί που είναι προγραμματισμένοι ή και αυτοί που μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

Η κατανάλωση της χωρητικότητας πρέπει να αναλυθεί εντός ενός τμήματος γραμμής μέσω της συμπίεσης των διαδρομών των συρμών, εντός ενός προορισμένου χρονικού διαστήματος. Η επίδραση της συμπίεσης αυτής στα γειτονικά τμήματα γραμμής δεν λαμβάνεται υπόψη. Αυτό είναι αποδεκτό καθώς η ανάλυση γίνεται στο κρίσιμο τμήμα της γραμμής και δεν αναμένονται επιπτώσεις στα γειτονικά τμήματα γραμμής.

Στην περίπτωση που προκύψει, σαν αποτέλεσμα της διερεύνησης, περίσσεια χωρητικότητας, αυτή μπορεί είτε να μείνει αχρησιμοποίητη είτε να χρησιμοποιηθεί μέσω της προσθήκης νέων διαδρομών. Αυτό εξαρτάται από τις ανάγκες της αγοράς σε σχέση με το είδος και την ακριβή ώρα της προσθήκης της εκάστοτε διαδρομής. Παρόλα αυτά η περίσσεια χωρητικότητας δεν σημαίνει αυτόματα και δυνατότητα εισαγωγής πρόσθετης διαδρομής.

5.3.5.2 Κατάλληλες περιοχές

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης της χωρητικότητας, με χρήση της μεθόδου συμπίεσης δρομολογίου, μπορεί να γίνει σε τμήμα μονής γραμμής.

Για να εκτιμηθεί η χωρητικότητα και η συμφόρηση σε μία γραμμή ή μία ολόκληρη διαδρομή, πρέπει να υπολογιστεί η κατανάλωση της χωρητικότητας σε κάθε τμήμα μονής γραμμής. Η μεγαλύτερη τιμή μεταξύ αυτών θα προσδιορίσει και την κατανάλωση χωρητικότητας σε ολόκληρη τη γραμμή ή τη διαδρομή. Για την εκτίμηση στην χωρητικότητα σε έναν άξονα, πρέπει να γίνει αντίστοιχη ανάλυση σε κάθε δυνατή διαδρομή εντός του άξονα.

5.3.5.3 Κατάλληλα χρονικά διαστήματα ανάλυσης

Η κατανάλωση της χωρητικότητας μεταβάλλεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την ημέρα της εβδομάδας και την περίοδο του χρόνου.

Η βάση για την μέθοδο συμπίεσης είναι μία αντιπροσωπευτική μέρα (π.χ. Πέμπτη) κατά την διάρκεια μιας περιόδου αιχμής, διάρκειας τουλάχιστον δύο ωρών.

Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Όλες οι διαδρομές, ανάλογα με τη ζήτηση, στο βαθμό που είναι τμήμα του ετήσιου δρομολογίου,
- Όλες οι προσχεδιασμένες, ανεξάρτητες από τη ζήτηση, διαδρομές. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να παρέχονται και ενδείξεις για την μέση χρήση των εν λόγω διαδρομών,
- Οι κινήσεις ελιγμών σε κόμβους και σταθμούς ταξινόμησης,
- Η κατάληψη της γραμμής από τροχαίο υλικό (στάθμευση οχημάτων επί της γραμμής για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι απαιτείται)

Γενικά τα χρονικά διαστήματα ανάλυσης πρέπει να λαμβάνονται τέτοια ώστε να ικανοποιούν τους στόχους της ανάλυσης. Προτεινόμενα χρονικά διαστήματα μπορεί να είναι:

- Ώρες αιχμής (διάρκεια τουλάχιστον 1 ώρα)
- 24 ώρες, προσδιορίζοντας αντιπροσωπευτική ημέρα της εβδομάδας, παρόλο που πρέπει να σημειωθεί, δεν παρέχεται ποτέ πλήρης λειτουργία 24 ωρών λόγω διαφόρων συνθηκών όπως εργασίες συντήρησης.

5.3.5.4 Διαδικασία συμπίεσης δρομολογίων

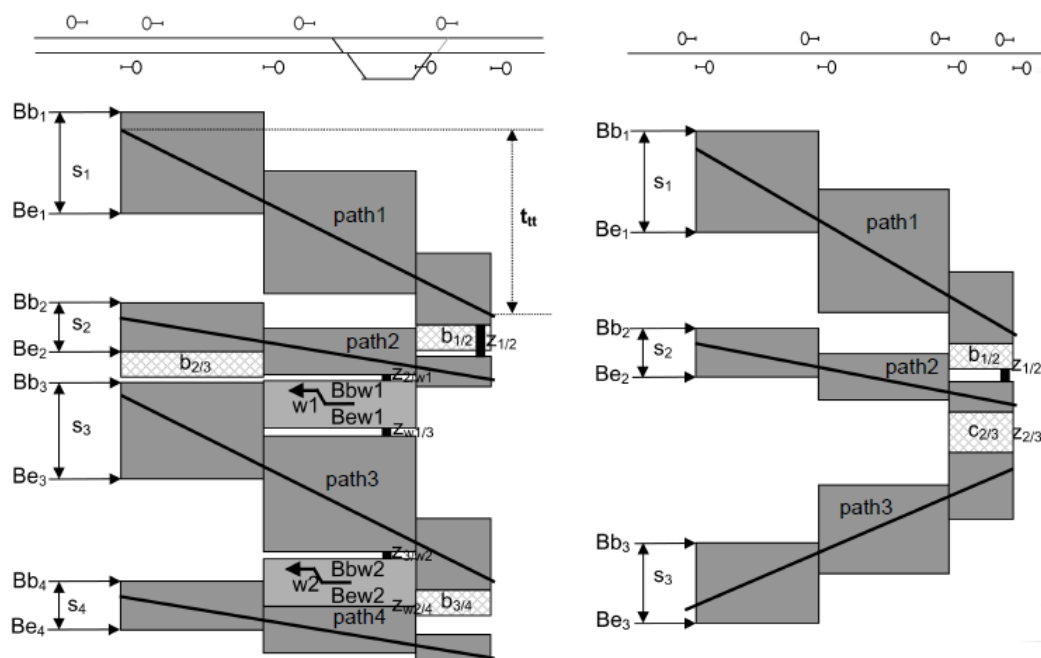
Αρχικά γίνεται ο καθορισμός της περιοχής και του χρονικού διαστήματος μελέτης, χωρίς να παραβλέπονται οι ιδιαιτερότητες της μονής γραμμής και ο ορισμός του τμήματος αποκλεισμού στην αρχή του οποίου μετράται ο χρόνος κατάληψης της υποδομής. Σε γραμμές δύο κατευθύνσεων τα σημεία μέτρησης τοποθετούνται σε σημεία διασταύρωσης.

Για λόγους συμπίεσης, όλες οι διαδρομές μονού συρμού συμπιέζονται μέχρι την ελάχιστη θεωρητική χρονοαπόσταση, σύμφωνα με το δρομολόγιο, χωρίς πρόσθετα περιθώρια άνεσης.

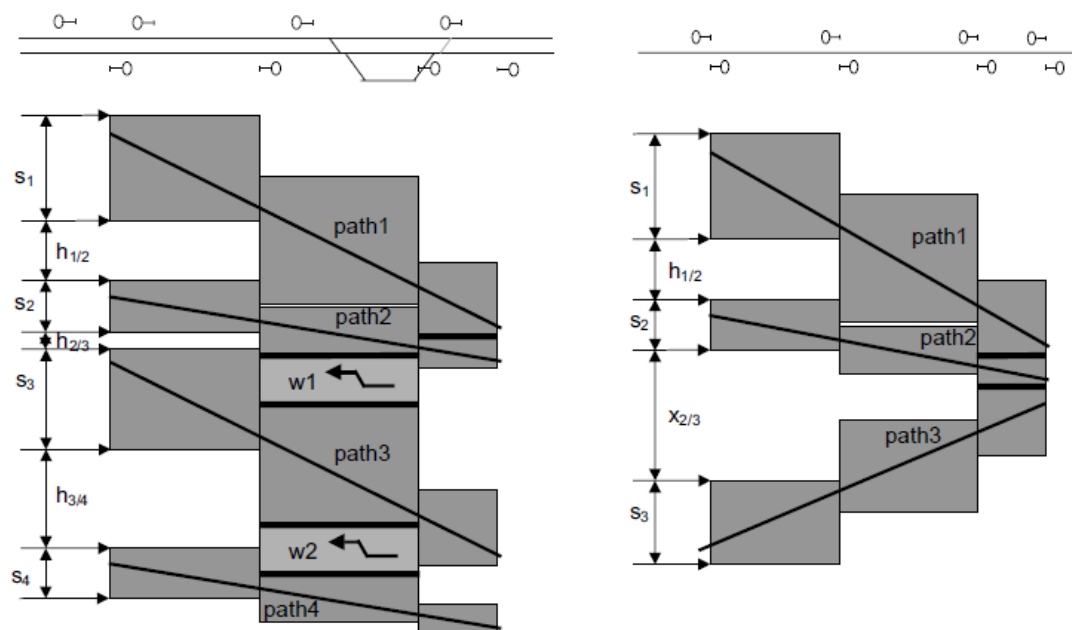
Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει είτε γραφικά, κατασκευάζοντας διαγράμματα θέσης-χρόνου και με χρήση των απαραίτητων εργαλείων, είτε με αναλυτικούς υπολογισμούς.

Κατά την διαδικασία της συμπίεσης δεν πρέπει να μεταβληθούν ούτε οι χρόνοι διαδρομής, όπως αυτοί ορίζονται από το δρομολόγιο, ούτε οι δοσμένοι χρόνοι προσπέρασης, διασταύρωσης ή στάσης.

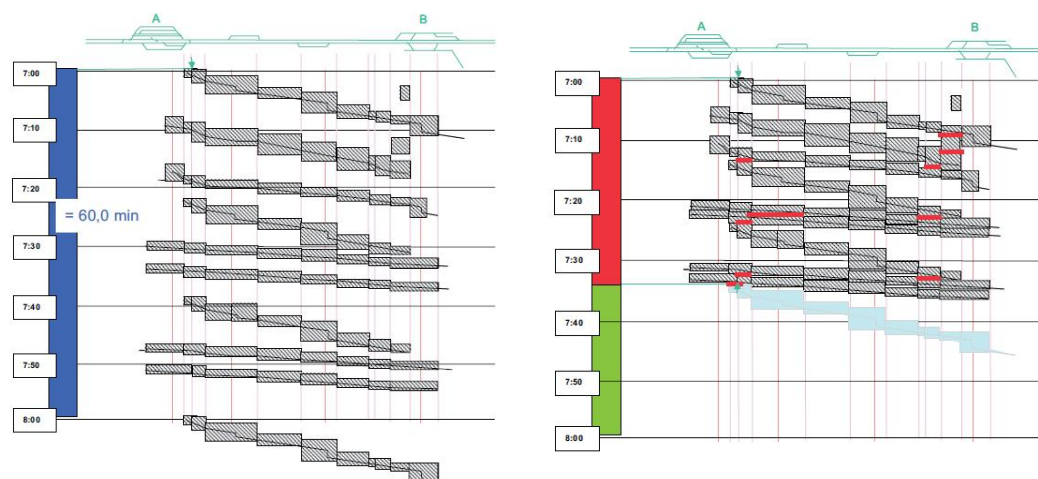
Στα Σχήματα 5.3 α, β, γ παρίστανται δρομολόγια πριν και μετά την διαδικασία της συμπίεσης, σε μονή και διπλή γραμμή.



Σχήμα 5.3 α. Δρομολόγιο πριν την συμπίεση [UIC 2004 α]

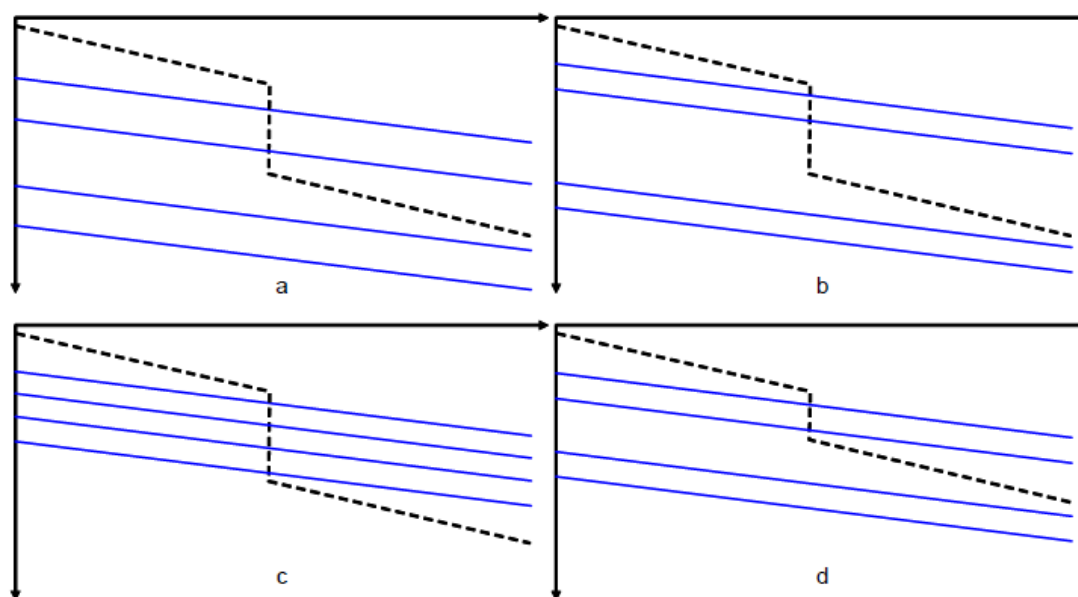


Σχήμα 5.3 β. Δρομολόγιο μετά την συμπίεση [UIC 2004 α]



Σχήμα 5.3 γ. Δρομολόγιο πριν και μετά την συμπίεση [UIC 2004 α]

Κατά την συμπίεση του δρομολογίου είναι σημαντικό να μην αλλάξει η σειρά των διαδρομών καθώς μπορεί να προκύψουν προβλήματα εκτός της περιοχής ανάλυσης. Επομένως στην περίπτωση που, για παράδειγμα, συρμοί προσπερνούν συρμό κατά την παραμονή του σε σταθμό (Σχήμα 5.4 α) κατά την συμπίεση (Σχήμα 5.4 β) δεν πρέπει να αλλάξει η ακολουθία των δρομολογίων (Σχήμα 5.4 γ). Μπορεί όμως να μελετηθεί η περίπτωση μείωσης του χρόνου παραμονής του πρώτου συρμού στον σταθμό (Σχήμα 5.4 δ) για καλύτερη εκμετάλλευση της χωρητικότητας.



Σχήμα 5.4 Δρομολόγιο με υπέρβαση- διαδικασία συμπίεσης [Kaas 2006]

5.3.6 Χρονικά τμήματα

Τη βάση για την διερεύνηση της κατανάλωσης της χωρητικότητας αποτελούν τα χρονικά τμήματα τόσο στο δρομολόγιο όσο και στο συμπιεσμένο δρομολόγιο, όπως φαίνονται και στα Σχήματα 5.3 α, β .

- **Χρόνος διαδρομής (journey time)**

Ο τυπικός χρόνος διαδρομής αποτελείται από:

- τον βασικό χρόνο, χωρίς συμπληρώματα, ο οποίος υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά της γραμμής και του τροχαίου υλικού.
- τα χρονικά συμπληρώματα που προστίθενται ανάλογα με το είδος της διαδρομής (επιβατικοί ή εμπορικοί συρμοί) και έχουν ως σκοπό να αντισταθμίσουν τις μικρές κλίμακας διαταραχές στην πορεία του συρμού (μικρές καθυστερήσεις, παράταση του χρόνου στάσης κτλ). Τα χρονικά αυτά συμπληρώματα χρησιμοποιούνται επίσης για να καλύψουν τις συχνές μειώσεις ταχύτητας λόγω εργασιών συντήρησης. Το μέγεθος των χρονικών συμπληρωμάτων είναι περίπου το 5% του χρόνου διαδρομής.

Χρόνος διαδρομής δρομολογίου t_{tt}

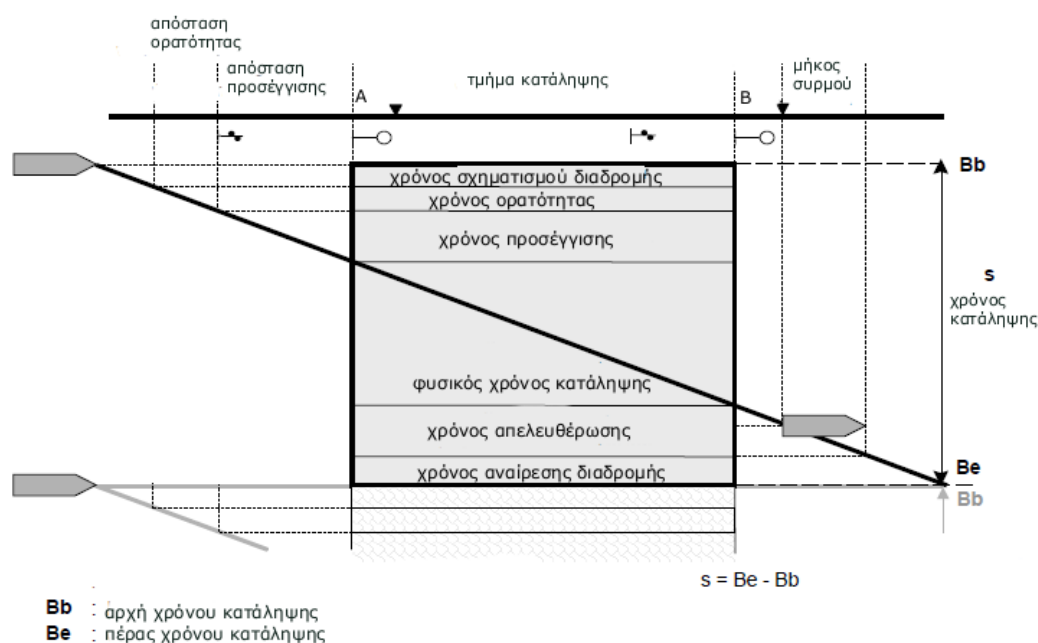
Ο χρόνος διαδρομής δρομολογίου ισούται με το άθροισμα:

- του τυπικού χρόνου διαδρομής
- των πρόσθετων χρόνων, ως αποτέλεσμα της ζήτησης της αγοράς (π.χ. παρατεταμένη διάρκεια ταξιδιού για νυχτερινούς συρμούς, συγχρονισμός χρόνων για μετεπιβιβάσεις), και

- των πρόσθετων χρόνων, ως αποτέλεσμα περιορισμών στην κατασκευή του δρομολογίου.

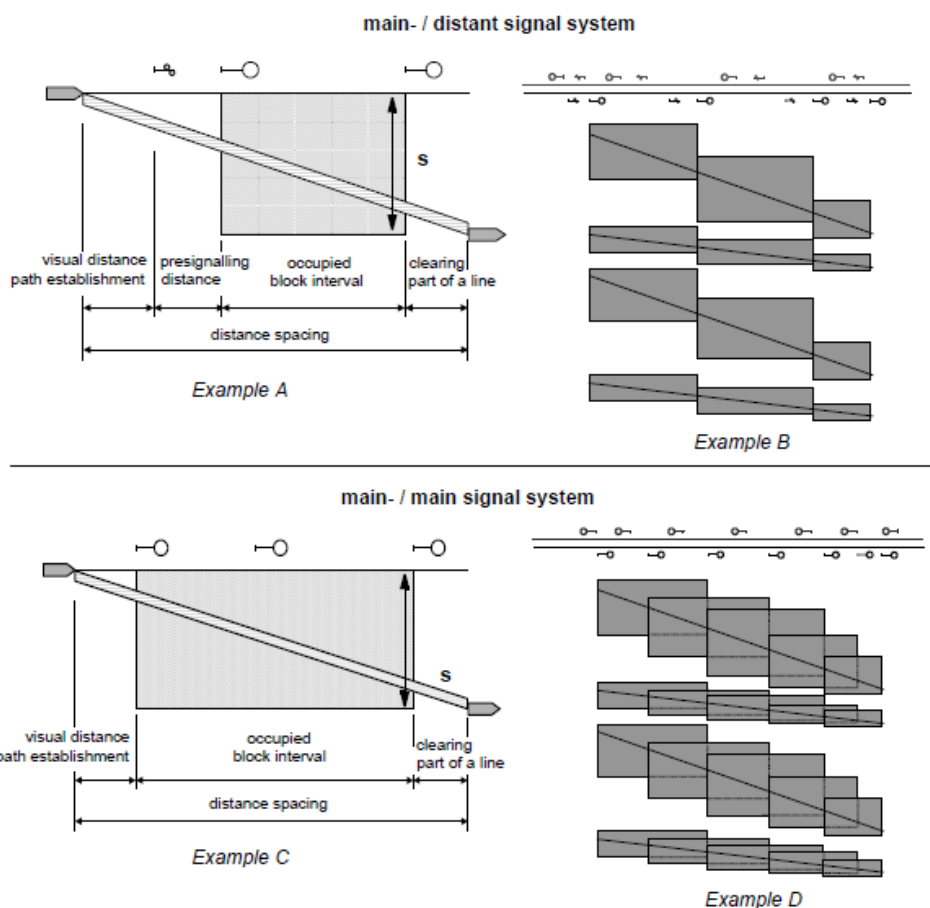
- **Χρόνος κατάληψης μεμονωμένου τμήματος αποκλεισμού (occupation time)**

Ο χρόνος διαδρομής δρομολογίου κάθε συρμού υπολογίζεται στο τμήμα αποκλεισμού. Η αρχή υπολογισμού εξαρτάται από το σύστημα αποκλεισμού, το σύστημα σηματοδότησης και την τεχνολογία ασφαλείας. Το τμήμα αποκλεισμού είναι κατειλημμένο από τον εκάστοτε συρμό μέχρις ότου και ο τελευταίος άξονας του συρμού διέλθει από το πέρας του τμήματος ασφαλείας.



Σχήμα 5.5 Χρόνος κατάληψης τμήματος αποκλεισμού [UIC 2004 a]

Παραδείγματα χρόνων κατάληψης για διαφορετικά συστήματα αποκλεισμού φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Παραδείγματα χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού [UIC 2004 a]

Η βασισμένη στην συμπίεση μεθοδολογία δεν συμπεριλαμβάνει μόνο τις διαδρομές εντός του δρομολογίου, αλλά και κάθε χρόνο κατάληψης γραμμής, ακόμα και αν αυτοί δεν σχετίζονται με διαδρομές συρμών. Οι χρόνοι αυτοί, οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στον χρόνο κατάληψης, ονομάζονται έμμεσοι χρόνοι κατάληψης.

Έμμεσοι χρόνοι κατάληψης είναι οι χρόνοι κατά την διάρκεια των οποίων η γραμμή σε έναν κόμβο – σε μερικές περιπτώσεις εντός ενός τμήματος γραμμής- είναι κατειλημμένη και δεν είναι διαθέσιμη για άλλες διαδρομές συρμών. Αυτοί οι έμμεσοι χρόνοι κατάληψης μπορούν είτε να είναι συνδεδεμένοι (εισαγωγή πρόσθετων βαγονιών, μετάθεση μηχανής έλξης, κτλ), είτε να μην βρίσκονται σε καμία σύνδεση (διερχόμενος συρμός από άλλο τμήμα γραμμής, κινήσεις ελιγμών εντός των σταθμών χωρίς συγκεκριμένες γραμμές ταξινόμησης, κτλ) με τις προγραμματισμένες διαδρομές.

- **Περιθώρια άνεσης (buffer time) b**

Περιθώρια άνεσης είναι οι χρόνοι που εισάγονται μεταξύ των διαδρομών επιπρόσθετα με τον ελάχιστο χρόνο διαδοχής που προκύπτει ανάλογα με το

σύστημα σηματοδότησης. Έχουν ως στόχο τον περιορισμό της μεταφοράς των καθυστερήσεων από τον έναν συρμό στον επόμενο. Μπορούν να εισαχθούν είτε μεταξύ των διαδρομών είτε συνολικά, με την προϋπόθεση ότι το συνολικό ποσό τους θα είναι επαρκές.

- **Περιθώριο άνεσης διέλευσης (crossing buffer time) c**

Σε μονή γραμμή διπλής κατεύθυνσης τα περιθώρια άνεσης λειτουργούν ως ρυθμιστικοί χρόνοι διέλευσης μεταξύ δύο συρμών διερχόμενων προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Μπορούν να εισαχθούν είτε μεταξύ των δρομολογίων διαφορετικής κατεύθυνσης είτε συνολικά, με την προϋπόθεση ότι το συνολικό ποσό τους θα είναι επαρκές.

- **Χρόνος ανομοιογένειας (heterogeneity time) h**

Ο χρόνος ανομοιογένειας αφορά στη διαφοροποίηση των ταχυτήτων των διαφόρων συρμών. Είναι ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ δύο διαδρομών συρμών ως αποτέλεσμα της διαφορετικής τους ταχύτητας και του συστήματος αποκλεισμού.

- **Χρόνος διέλευσης αντίθετης κατεύθυνσης (crossing time) x**

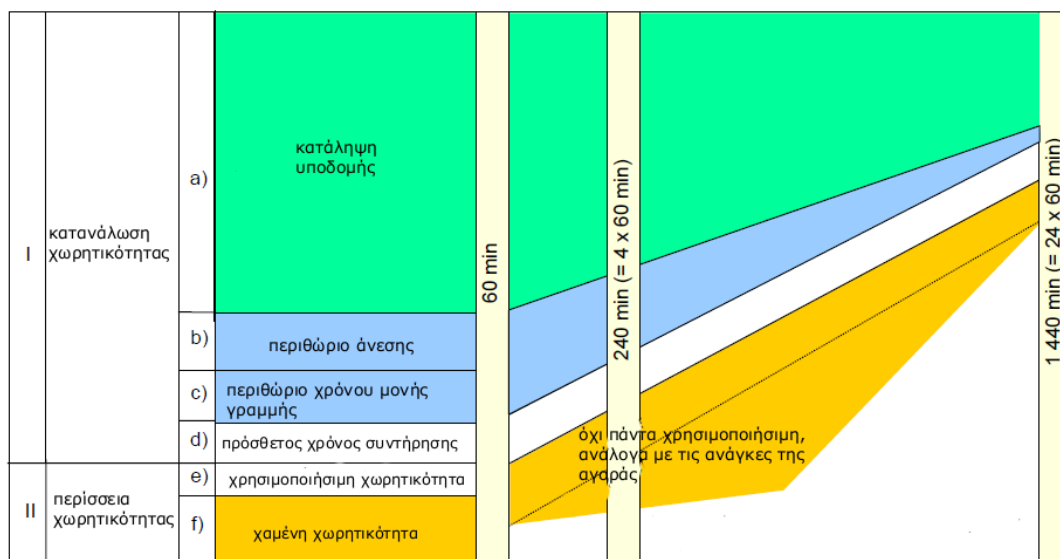
Ο χρόνος αυτός αποτελεί το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο συρμών που κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Η διάρκεια του χρόνου διέλευσης μεταξύ των δύο συρμών (x) εξαρτάται από τον χρόνο διαδρομής δρομολογίου t_{tt} του κάθε συρμού και το σχετικό τμήμα αποκλεισμού.

5.3.7 Μέθοδος υπολογισμού

Στο σημείο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία που προτείνεται από την UIC για τον υπολογισμό της κατανάλωσης της χωρητικότητας.

Κατανάλωση χωρητικότητας

Η κατανάλωση της χωρητικότητας μπορεί να υπολογιστεί από την κατάληψη της υποδομής σε μία καθορισμένη θέση χρόνου, στην οποία έχουν προστεθεί τα συμπληρώματα για την σταθερότητα του δρομολογίου και, όπου είναι απαραίτητο, για απαιτήσεις συντήρησης.



Σχήμα 5.7 Ορισμός κατανάλωσης χωρητικότητας [UIC 2004 a]

Ο τύπος για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης της χωρητικότητας είναι ο ακόλουθος:

$$k = A + B + C + D$$

- k συνολικός χρόνος κατανάλωσης [min]
A κατάληψη υποδομής [min]
B περιθώριο άνεσης [min]
C συμπληρώματα χρόνου για μονή γραμμή [min]
D συμπληρώματα χρόνου για εργασίες συντήρησης [min]

$$K = k \cdot 100 / U$$

- K κατανάλωση χωρητικότητας [%]
U επιλεγμένο χρονικό διάστημα [min]

Επεξηγήσεις που αφορούν το Σχήμα 5.7:

1. Κατάληψη υποδομής (infrastructure occupation): αφορά στο αποτέλεσμα της διαδικασίας συμπίεσης δρομολογίου και πρέπει να μετράται στην αρχή του πρώτου τμήματος αποκλεισμού του τμήματος της γραμμής. Η διαδικασία αυτή λειτουργεί σε μονές γραμμές καθώς και σε πολλαπλές γραμμές όταν αυτές μελετώνται μεμονωμένα.
2. Συμπλήρωμα χρόνου για εργασίες συντήρησης (supplement for maintenance): μπορεί να αποτελεί τμήμα του χρόνου κατάληψης της γραμμής ή να προστίθεται σαν συμπλήρωμα χρόνου. Είναι όμως τμήμα της κατανάλωσης της χωρητικότητας.

3. Περίσσεια χωρητικότητας (unused capacity): η διαφορά της κατανάλωσης της χωρητικότητας και του επιλεγμένου χρονικού διαστήματος. Αυτή αποτελείται από την 'χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητα' και την 'χαμένη χωρητικότητα'.
4. Χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητα (usable capacity): μπορεί να υπάρχει στην περίπτωση που η περίσσεια χωρητικότητας είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί με την εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών, που να ανταποκρίνονται στην υπάρχουσα ζήτηση. Οι πρόσθετες διαδρομές θα πρέπει να συμπεριληφθούν στο δρομολόγιο πριν τη διαδικασία της συμπίεσης και στη συνέχεια να γίνει νέα ανάλυση της χωρητικότητας.
5. Χαμένη χωρητικότητα (lost capacity): τελικά θα υπάρξει ένα διάστημα στο οποίο δεν θα είναι δυνατή η εισαγωγή άλλου πρόσθετου δρομολογίου. Το διάστημα αυτό ονομάζεται 'χαμένη χωρητικότητα'.

5.3.8 Κορεσμός υποδομής

Στην περίπτωση που το προσδιορισθέν ποσοστό κατάληψης της υποδομής είναι μεγαλύτερο από μία τυπική τιμή, τότε η υποδομή θεωρείται κορεσμένη.

Στην περίπτωση που αυτή η τυπική τιμή δεν έχει καλυφθεί, τότε είναι διαθέσιμη περίσσεια χωρητικότητας. Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί η περίσσεια αυτή να εκμεταλλευθεί με την εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών προσδιορίζεται κάθε φορά ανάλογα με την περίπτωση και την αντίστοιχη ζήτηση της αγοράς.

Συμφόρηση και/ ή κορεσμός υποδομής

Μια σιδηροδρομική υποδομή θεωρείται κορεσμένη εάν:

- Η κατάληψη υποδομής προκύψει μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τυπική τιμή ή,
- Η μετατόπιση των διαδρομών είναι τόσο εκτεταμένη που οι απαιτήσεις τις αγοράς δεν μπορούν πλέον να τηρηθούν.

5.3.9 Ανάλυση εφαρμογής

5.3.9.1 Βήματα εφαρμογής

Η κατανάλωση της χωρητικότητας θα πρέπει να αναλυθεί στα ακόλουθα βήματα:

1. Αρχικά γίνεται συμπίεση του δρομολογίου.
2. Η τιμή της κατάληψης της υποδομής [% του χρονικού διαστήματος] ως αποτέλεσμα της συμπίεσης πρέπει να συγκριθεί με ορισμένες τυπικές τιμές ανάλογα με το είδος της γραμμής.

3. Στην περίπτωση που η κατάληψη της υποδομής [%] ξεπερνάει ή ισούται με αυτές τις τυπικές τιμές, τότε η υπό ανάλυση υποδομή καλείται κορεσμένη και δεν μπορούν να εισαχθούν πρόσθετες διαδρομές στο δρομολόγιο της.
4. Στην περίπτωση που η κατάληψη της υποδομής [%] δεν υπερβαίνει τις τυπικές τιμές, η ανάλυση της χωρητικότητας χρήζει περαιτέρω ανάπτυξης.
5. Πρέπει να γίνουν προσπάθειες για την ενσωμάτωση περαιτέρω διαδρομών ανάλογα με την περιοχή επιλογής και το δρομολόγιο.
6. Εάν η ενσωμάτωση αυτή δεν είναι δυνατή, η περίσσεια χωρητικότητας αποτελεί 'χαμένη' χωρητικότητα, και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω.
7. Εάν η ενσωμάτωση επιτευχθεί, τότε ένα τμήμα της περίσσειας χωρητικότητας γίνεται χρησιμοποιήσιμη χωρητικότητα. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται περαιτέρω ανάλυση, αρχίζοντας από την συμπίεση του νέου δρομολογίου που συμπεριλαμβάνει τις επιπλέον διαδρομές.
8. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου είτε η υποδομή φτάσει σε κατάσταση κορεσμού, είτε δεν είναι δυνατή η προσθήκη άλλης διαδρομής στο δρομολόγιο.

Υπό την προϋπόθεση ότι τα περιθώρια άνεσης είναι επαρκεί για την σταθερότητα του δρομολογίου, η κατανάλωση της χωρητικότητας μπορεί να φτάσει θεωρητικά και το 100% του χρονικού διαστήματος ανάλυσης. Στην περίπτωση που η τιμή της ξεπερνάει το 100%, τότε η υποδομή θεωρείται κορεσμένη.

5.3.9.2 Τυπικές τιμές

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι τυπικές τιμές του χρόνου κατάληψης υποδομής, εφαρμόστηκε η μέθοδος συμπίεσης σε περίπου 3.000 km γραμμής ευρωπαϊκών δικτύων.

Ένα πρώτο αποτέλεσμα από αυτήν την εφαρμογή είναι ότι ο περιοριστικός παράγοντας του χρόνου κατάληψης δεν προέρχεται από την δυσκολία σχεδιασμού νέων διαδρομών, αλλά από το ποσοστό των περιθωρίων άνεσης (απαίτηση σταθερότητας).

Με άλλα λόγια, υπάρχουν πάντα πιθανότητες εισαγωγής πρόσθετων δρομολογίων. Πρέπει όμως η διαδικασία αυτή να σταματάει στο επίπεδο που δεν επηρεάζει τις απαιτήσεις σταθερότητας του δρομολογίου.

Επομένως για την εξαγωγή τυπικών τιμών πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες παράμετροι:

- η αξιοπιστία της υποδομής,
- η αξιοπιστία του τροχαίου υλικού,

- η αλληλεξάρτηση του υπό ανάλυση τμήματος της γραμμής σε σχέση με άλλα τμήματα γραμμής (αφορά στην δημιουργία συχνών καθυστερήσεων σε συρμούς που έρχονται από συγκλίνοντα τμήματα γραμμής ή αντίθετα στον περιορισμό συχνών καθυστερήσεων σε συρμούς που κινούνται σε αποκλίνουσες γραμμές),
- το απαιτούμενο επίπεδο εξυπηρέτησης,
- το περιθώριο του χρόνου διαδρομής,
- το πλήθος των συρμών ανά ώρα,
- το μήκος του τμήματος γραμμής και η δυνατότητα υπέρβασης και διελεύσεων σε αυτό.

Επομένως οι συνιστώμενες τυπικές τιμές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγία, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κριτήρια παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Τυπικές τιμές κατανάλωσης χωρητικότητας [UIC 2004 α]

Είδος γραμμής	Ώρα αιχμής	Ημερήσια περίοδος	Σχόλια
Αποκλειστικά προαστιακή επιβατική κίνηση	85%	70%	Η δυνατότητα ακύρωσης κάποιας διαδρομής σε περίπτωση καθυστερήσεων επιτρέπει υψηλά επίπεδα αξιοποίησης της χωρητικότητας.
Γραμμή αποκλειστικά υψηλών ταχυτήτων	75%	60%	
Γραμμή μεικτής κυκλοφορίας	75%	60%	Μπορεί να είναι υψηλότερα εάν το πλήθος των συρμών είναι μικρός (< 5 ανά ώρα) με μεγάλη ανομοιογένεια.

5.3.9.3 Μήκος τμήματος γραμμής

Η επιλογή του τμήματος γραμμής στο οποίο θα εφαρμοστεί η μέθοδος συμπίεσης διαδρομών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Οι διαφορές στο αποτέλεσμα μπορεί να είναι πολύ σημαντικές ανάλογα με το αν το τμήμα γραμμής που επιλέχθηκε είναι μεγάλου ή μικρού μήκους.

Προτείνεται:

- Η συμπίεση να γίνεται σε τμήμα γραμμής μικρού μήκους,
- Η εφαρμογή της διαδικασίας εισαγωγής πρόσθετων διαδρομών να γίνεται σε τμήματα γραμμής μεγάλου μήκους.

Συμπίεση τμήματος γραμμής μικρού μήκους:

Ιδανικά, το τμήμα της γραμμής στο οποίο εφαρμόζεται η συμπίεση, θα πρέπει να περιοριστεί στο τμήμα γραμμής μεταξύ δύο γειτονικών σταθμών, χωρίς δυνατότητα υπέρβασης ή διέλευσης.

Αυτές οι δυνατότητες υπέρβασης ή διέλευσης είναι που χρησιμοποιούνται συνήθως κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, για παράδειγμα:

- Παρακαμπτήριες γραμμές για υπέρβαση εμπορικών συρμών ,
- Σταθμοί στους οποίους περιφερειακοί επιβατικοί συρμοί μπορούν να προσπεραστούν στην περίπτωση καθυστέρησης από έναν ταχύ επιβατικό συρμό

Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι το σχεδιασμένο δρομολόγιο καθιστά ικανοποιητικό πλήθος τέτοιων εγκαταστάσεων διαθέσιμες για χρήση.

Διαδικασία εμπλουτισμού τμήματος γραμμής μεγάλου μήκους:

Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το είδος της κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση των διεθνών δρομολογίων μεγάλης απόστασης των εμπορικών συρμών , προτείνεται να λαμβάνεται τμήμα γραμμής μεταξύ δύο μεγάλων κόμβων από όπου προέρχεται ή καταλήγει σημαντικό πλήθος εμπορικών συρμών. Αυτό σημαίνει ότι το πέρας μιας διαδρομής εμπορικού συρμού στο τέλος του τμήματος γραμμής θα βρει μια διαδρομή σύνδεσης στο ακόλουθο τμήμα γραμμής.

Στην περίπτωση μόνο υπηρεσιών επιβατικής κίνησης, το τμήμα γραμμής θα είναι πολύ μικρότερου μήκους (μήκος περιοχής υπηρεσιών).

5.4 Βελτίωση χωρητικότητας**5.4.1 Μέτρα βελτίωσης της χωρητικότητας**

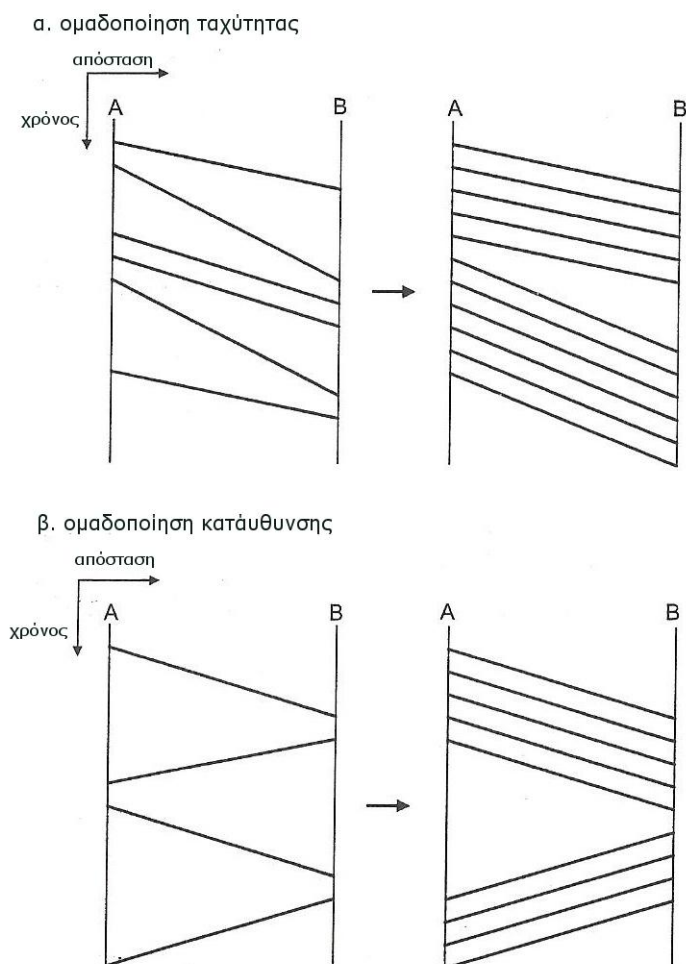
Στην περίπτωση έλλειψης της απαραίτητης χωρητικότητας σε μία γραμμή ή σε ένα τμήμα ενός δικτύου, η χωρητικότητα μπορεί να βελτιωθεί με τους παρακάτω τρόπους: [Pachl 2002]

- A. Τροποποιώντας το δρομολόγιο ή την διαδικασία λειτουργίας,
- B. Αφαιρώντας τα τμήματα χαμηλής ταχύτητας,
- C. Τροποποιώντας την διάταξη της σηματοδότησης,
- D. Τροποποιώντας την διάταξη της γραμμής.

Α. Τροποποιώντας το δρομολόγιο ή την διαδικασία λειτουργίας

Αρχικά επιδιώκεται η βελτίωση της χωρητικότητας στα πλαίσια της λειτουργίας. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με τον προγραμματισμό διαδρομών συρμών σε διαφορετικές γραμμές, ώστε να μειωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση σε γραμμές ή τμήματα του δικτύου στα οποία η χωρητικότητα δεν επαρκεί.

Ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της χωρητικότητας είναι μέσω της ομαδοποίησης των διαδρομών των συρμών. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διαφοροποίηση των χρόνων διαδοχής των συρμών και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα. Σε γραμμές μονής κυκλοφορίας η ομαδοποίηση εφαρμόζεται ως ομαδοποίηση ταχύτητας, ενώ σε γραμμές διπλής κατεύθυνσης κυκλοφορίας ως ομαδοποίηση κατεύθυνσης.



Σχήμα 5.8 Ομαδοποίηση ταχύτητας/ κατεύθυνσης για την βελτίωση του δρομολογίου [Pachl 2002]

Παρόλο που η ομαδοποίηση βοηθάει στην αύξηση της χωρητικότητας, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των χρόνων αναμονής. Μπορεί δηλαδή ένας συρμός που είναι

έτοιμος για αναχώρηση να αναγκαστεί να περιμένει την επόμενη ομάδα συρμών της κατεύθυνσης ή της τάξης της ταχύτητάς του για να αναχωρήσει. Επομένως πριν την εφαρμογή της ομαδοποίησης με μια γραμμή πρέπει να προηγηθεί αναλυτική μελέτη της επιρροής της στην κυκλοφορία του δικτύου. Το μέτρο αυτό προτείνεται κυρίως σε μικρά τμήματα κατά την προσέγγιση σε μεγάλους τερματικούς σταθμούς, οι οποίοι απορροφούν την κυκλοφορία από πολλές διαφορετικές συγκλίνουσες γραμμές.

B. Αφαιρώντας τα τμήματα χαμηλής ταχύτητας

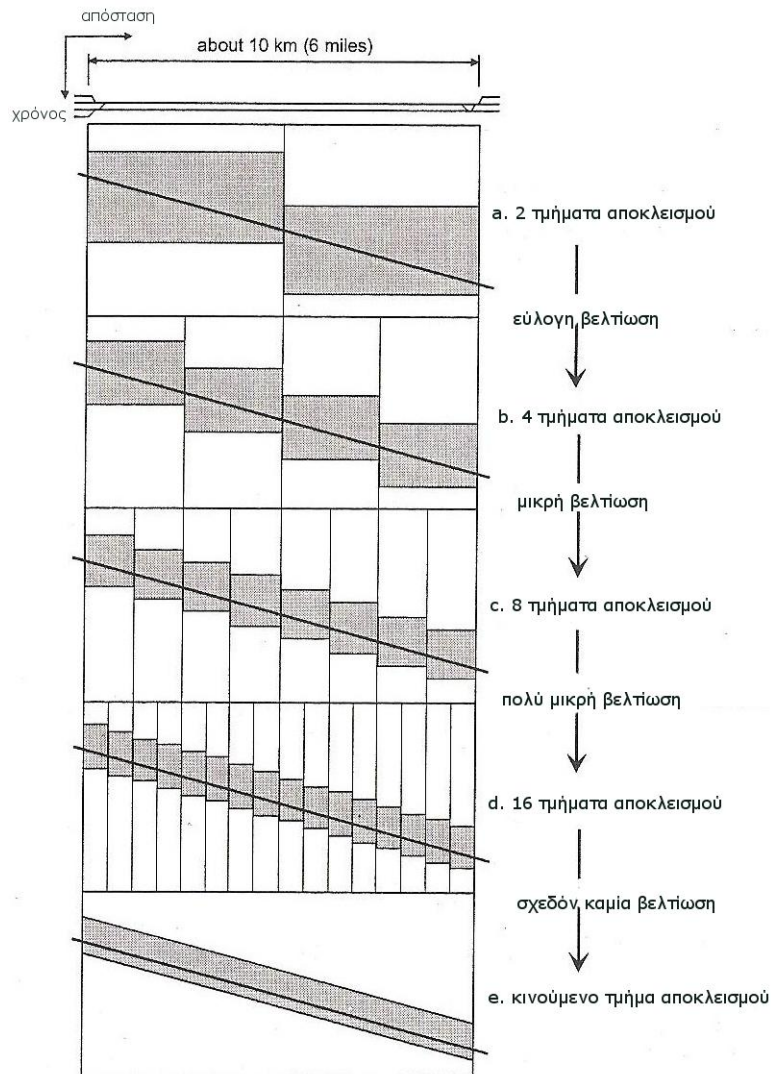
Τα τμήματα χαμηλής ταχύτητας μπορούν να μειώσουν σημαντικά την χωρητικότητα της γραμμής, αυξάνοντας τον χρόνο διάνυσης του των τμημάτων αποκλεισμού και παράγοντας χρόνους αναμονής για τους συρμούς που μειώνουν ταχύτητα.

C. Τροποποιώντας την διάταξη της σηματοδότησης

Η αύξηση της χωρητικότητας μέσω της τροποποίησης της διάταξης της σηματοδότησης μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- a. Αντικαθιστώντας μια λειτουργία με προφορική ή γραπτή άδεια με μία ελεγχόμενη από σηματοδότηση λειτουργία.
Είναι το πιο αποτελεσματικό μετρώ από πλευράς σηματοδότησης, όσον αφορά στην βελτίωση της χωρητικότητας. Παρόλα αυτά ακόμα πιο αποτελεσματικό θα ήταν το σύστημα σηματοδότησης να λειτουργούσε σε συνδυασμό με κεντρικό έλεγχο της κυκλοφορίας.
- b. Εισάγοντας συνεχή σηματοδότηση καμπίνας οδήγησης.
Με την χρήση συνεχούς σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης (continuous cab signaling) η χωρητικότητα της γραμμής αυξάνεται, καθώς η κίνηση του συρμού είναι ανεξάρτητη από την προσέγγισή της από πλευράς γραμμής. Μια γραμμή με πλευρική σηματοδότηση λαμβάνει υπόψη της την απόσταση πέδησης του ταχύτερου συρμού. Για έναν αργό συρμό η απόσταση αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για την πέδησή του. Σε μία γραμμή συνεχής σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης, η απόσταση αυτή προσαρμόζεται στην πραγματική απόσταση πέδησης. Επομένως για έναν αργό συρμό, ο χρόνος προσέγγισης, ως τμήμα του χρόνου διάνυσης του τμήματος αποκλεισμού, θα μειωθεί σημαντικά.
- c. Προσθέτοντας σήμανση και μειώνοντας το μήκος των τμημάτων αποκλεισμού -
- d. εισάγοντας την οδήγηση σε απόσταση πέδησης (moving block).

Το μέτρο αυτό δεν έχει τόσο σημαντικά αποτελέσματα, όσο συχνά θεωρείται. Είναι γεγονός ότι κάτι τέτοιο θα μειώσει τον χρόνο διάνυσης του τμήματος αποκλεισμού. Ο χρόνος διάνυσης όμως είναι μόνο ένα τμήμα του χρόνου κατάληψης του τμήματος αποκλεισμού. Ένα μειωμένο τμήμα αποκλεισμού δεν θα οδηγήσει απαραίτητα σε μείωση του χρόνου κατάληψης. Όσο μικρότερα είναι τα τμήματα αποκλεισμού, τόσο μικρότερη είναι και η βελτίωση της χωρητικότητας από περεταίρω μείωσή τους (Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.9 Επιρροή της μείωσης του μήκους του τμήματος αποκλεισμού στον χρόνο διέλευσης
[Pachl 2002]

Σε μία διπλή γραμμή με μικτή κυκλοφορία, η χωρητικότητα εξαρτάται σε πολύ σημαντικό βαθμό από τις διαφορές ταχύτητας μεταξύ των συρμών. Στις περισσότερες γραμμές τέτοιου είδους, η μέση διαφορά του χρόνου διάνυσης μεταξύ σταθμών στους οποίους ένας ταχύς συρμός μπορεί να προσπεράσει έναν συρμό μικρότερης ταχύτητας, είναι πολύ μεγαλύτερο μέρος του μέσου ελάχιστου χρόνου διαδοχής από ότι ο χρόνος διάνυσης

εντός του τμήματος αποκλεισμού. Σε μία τυπική Ευρωπαϊκή διπλή γραμμή μικτής κυκλοφορίας, ακόμα και το moving block θα βελτιώνει την χωρητικότητα το πολύ κατά 10%. [Pachl 2002]

Σε μία μονή γραμμή, η χωρητικότητα εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό ομαδοποίησης των κατευθύνσεων, δηλαδή την συχνότητα εναλλαγής κατεύθυνσης. Στην περίπτωση αυτή, η μείωση του τμήματος αποκλεισμού θα βελτιώνει λιγότερο την χωρητικότητα από ότι στην περίπτωση της διπλής γραμμής.

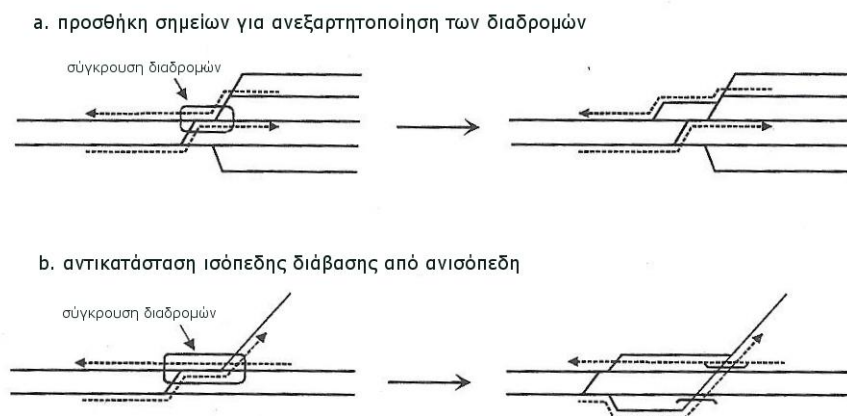
Επομένως η εφαρμογή του μέτρου της μείωσης του μήκους του τμήματος αποκλεισμού, και κατ' επέκταση το moving block, θα είχε νόημα σε διπλή γραμμή με μικρές διαφοροποιήσεις στην ταχύτητα των συρμών.

- e. Βελτιώνοντας την τοποθεσία της σήμανσης σύμπλεξης και την προσέγγιση καθώς και τα σημεία ελευθέρωσης των κλειδωμένων διαδρομών.

Το μέτρο αυτό μπορεί να μειώσει τον χρόνο κατάληψης των συγκρουόμενων διαδρομών. Βελτιώσεις μικρής κλίμακας μπορούν να προκύψουν από μικρές αλλαγές στην διάταξη της σήμανσης.

Η τροποποίηση της διάταξης της γραμμής είναι ο πιο δαπανηρός τρόπος βελτίωσης της χωρητικότητας και προτείνεται μόνο όταν άλλοι τρόποι βελτίωσης της έχουν αποτύχει. Η χωρητικότητα μπορεί να βελτιωθεί με:

- Την προσθήκη σιδηροτροχιάς σε γραμμή,
- Την προσθήκη σιδηροτροχιάς σε σταθμό,
- Την αφαίρεση περιοχών σύγκρουσης διαδρομών.

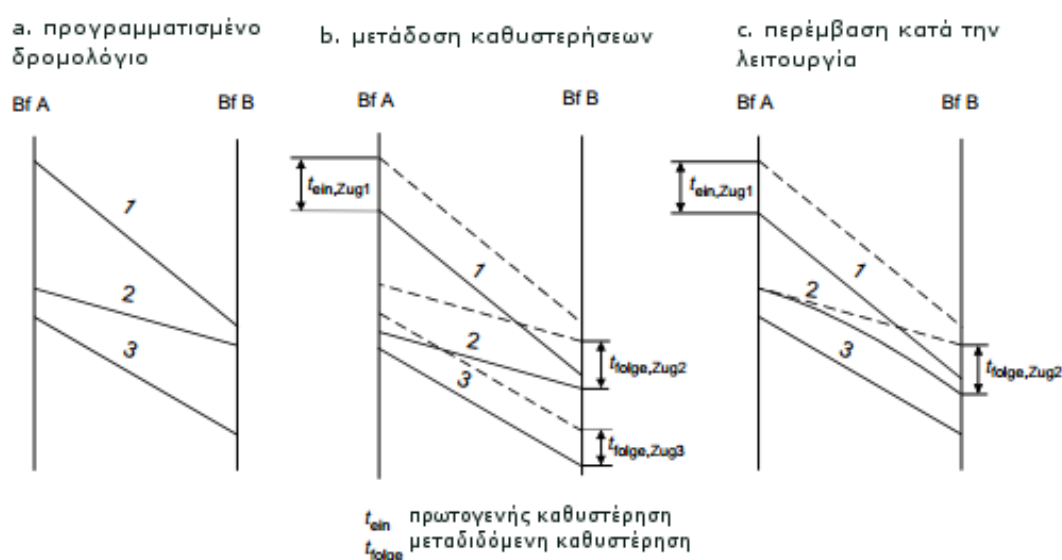


Σχήμα 5.10 Βελτίωση της χωρητικότητας τροποποιώντας την διάταξη της γραμμής [Pachl 2002]

Η σύγκρουση διαδρομών μπορεί να αποφευχθεί με προσθήκη σημείων για ανεξαρτητοποίηση των διαδρομών, ή με την αντικατάσταση μιας ισόπεδης διασταύρωσης με γέφυρα (Σχήμα 5.10).

5.4.2 Μέτρα περιορισμού των καθυστερήσεων

Είναι γεγονός ότι κατά την λειτουργία η χωρητικότητα της γραμμής είναι μικρότερη από την μέγιστη δυνατή για ένα συγκεκριμένο δρομολόγιο. Και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην εκάστοτε λειτουργία, σε περίπτωση καθυστέρησης, ένας ταχύς συρμός θα προφτάσει έναν προπορευόμενο με μικρότερη ταχύτητα. Η διαφορά ταχύτητας μπορεί εν μέρει να εξισορροπηθεί με την μείωση της ταχύτητας του ταχέος συρμού. Η συνέπειες θα είναι: μειωμένος χρόνος διαδοχής και κατ επέκταση αύξηση της χωρητικότητας σε σχέση με αυτήν που θα προέκυπτε από τον εκ νέου προγραμματισμό. Κατά τον προγραμματισμό των διαδρομών, οι συγκρούσεις των διαδρομών επιλύονται συνήθως μετακινώντας ή αλλάζοντας τις σειρά. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σημαντικό χρόνο αναμονής ο οποίος δεν μπορεί να μειωθεί με κάποια παρέμβαση στην ταχύτητα των συρμών. Στο Σχήμα 5.11 περιγράφεται ένα παράδειγμα περιορισμού καθυστερήσεων μέσω της μείωσης της ταχύτητας ενός ταχέως συρμού. [Pachl 2002]



Σχήμα 5.11 Περιορισμός μετάδοσης καθυστερήσεων μέσω εξισορρόπησης της διαφοράς ταχύτητας [Pachl 2002]

Στο αριστερό διάγραμμα φαίνονται τα προγραμματισμένες διαδρομές τριών συνεχόμενων συρμών. Τα άλλα διαγράμματα δείχνουν πως μπορούν οι συρμοί 2 και 3 να αντιδράσουν στην περίπτωση καθυστέρησης του συρμού 1. Στο μεσαίο διάγραμμα φαίνεται η μετάδοση της καθυστέρησης όταν εφαρμόζονται οι κανόνες προγραμματισμού, ενώ στο τελευταίο διάγραμμα φαίνεται πως η μετάδοση της καθυστέρησης περιορίζεται μέσω της μείωσης της ταχύτητας του ταχέος συρμού. Ο συρμός 2 έχει την ίδια καθυστέρηση που παρουσιάζει και στο μεσαίο διάγραμμα. Παρόλα αυτά ο συρμός 3 δεν παρουσιάζει καθυστέρηση.

6 ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΥΡΜΟΥ ΣΤΗΝ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

6.1 Γενικά

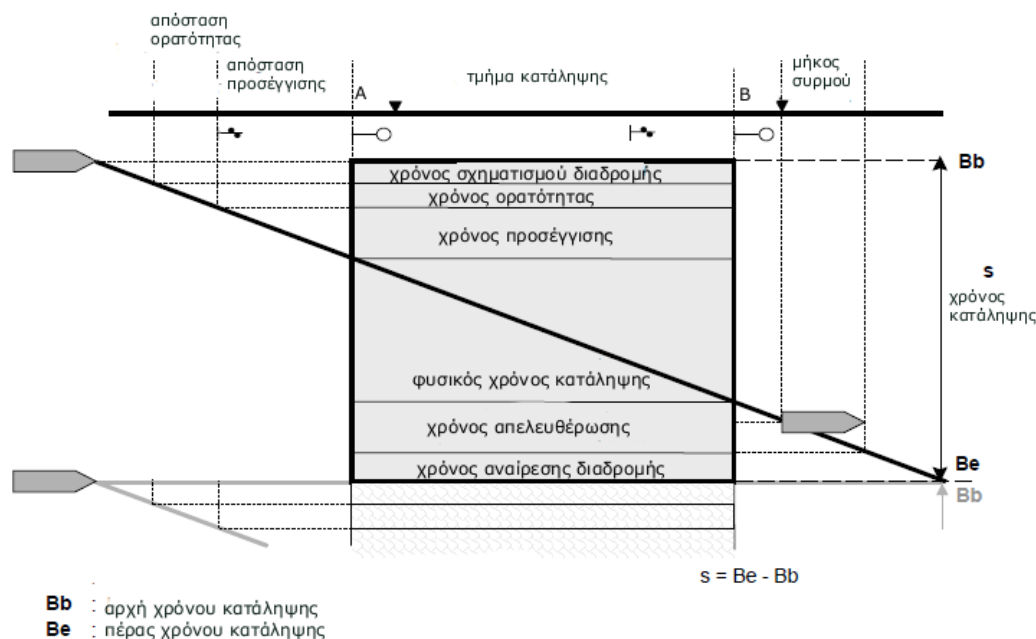
Από την επεξεργασία των στοιχείων των προηγούμενων κεφαλαίων, η επιρροή των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού και των συστημάτων ασφαλείας και αποκλεισμού στην χωρητικότητα της γραμμής εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στην έναρξη του χρόνου κατάληψης και στην ελευθέρωση του τμήματος αποκλεισμού και κατ'επέκταση στην ελάχιστη χρονοαπόσταση.

Για την ποσοτικοποίηση της επιρροής αυτής είναι απαραίτητη η χρήση ενός μοντέλου που να μπορεί να προσαρμοστεί στη διαφορετική λειτουργία των συστημάτων αυτών. Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο χρόνου κατάληψης που προτείνεται από την UIC. [UIC 2008]

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η προσαρμογή του μοντέλου αυτού στα υπό μελέτη συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού.

6.2 Μοντέλο χρόνου κατάληψης

ο χρόνος κατάληψης ενός τμήματος αποκλεισμού (blocking time), αποτυπώνει τον λειτουργικό χρόνο κατάληψης του τμήματος αποκλεισμού από την κίνηση ενός συρμού. Ένα τμήμα αποκλεισμού οριοθετείται από δύο κύρια σήματα. Σε ένα τμήμα αποκλεισμού μπορεί να κινηθεί μόνο ένας συρμός. Η κατάληψη του τμήματος αποκλεισμού δηλαδή από έναν συρμό είναι αποκλειστική, κάτι που εξασφαλίζεται από την τεχνολογία ελέγχου και ασφάλειας. Ο χρόνος κατάληψης απεικονίζεται στο Σχήμα 6.1, και αποτελείται από:



Σχήμα 6.1 μοντέλο χρόνου κατάληψης [UIC 2004 a]

- χρόνους για τον σχηματισμό και την αναίρεση της διαδρομής,
- τον χρόνο ορατότητας, δηλαδή τον χρόνο αντίδρασης στην ένδειξη του προσήματος (ο χρόνος αυτός για συμβατικά συστήματα σηματοδότησης λαμβάνεται 0,2 min),
- τον χρόνο προσέγγισης από το πρόσημα στο κύριο σήμα A,
- τον φυσικό χρόνο κατάληψης,
- τον χρόνο ελευθέρωσης, δηλαδή τον χρόνο διέλευσης του συρμού από το κύριο σήμα B μέχρι να διέλθει όλο το μήκος του συρμού από το σημείο εντοπισμού συρμού ώστε να ελευθερωθεί το τμήμα αποκλεισμού (ανάλογος με το μήκος του συρμού).

Η ακολουθία αυτών των τμημάτων του χρόνου αποκλεισμού αναφέρονται ως χρόνος κατάληψης και προσδιορίζουν την κατανάλωση της χωρητικότητας που προκύπτει από την κίνηση ενός συρμού.

Το χρονικό σημείο (σημείο αναγνώρισης) το οποίο προσδιορίζει την αρχή του χρόνου κατάληψης είναι η στιγμή κατά την οποία ο μηχανοδηγός ενημερώνεται για την παράταση ή μη, της άδειας πορείας. Στα συμβατικά συστήματα σηματοδότησης προσήματος/ κυρίου σήματος, το σημείο αυτό είναι το σημείο ορατότητας πριν το πρόσημα, το οποίο όμως δεν ταυτίζεται με το σημείο στο οποίο ενεργοποιείται η πέδη, αλλά προηγείται κατά έναν εκτιμημένο χρόνο αντίδρασης. Στην περίπτωση που ο μηχανοδηγός δεν ενημερωθεί ότι το ακόλουθο κύριο σήμα βρίσκεται σε ένδειξη 'Πορεία' (μη παράταση της άδειας πορείας) κατά την προσέγγισή του στο σημείο ορατότητας, θεωρεί ότι αυτό βρίσκεται σε 'κίνδυνο' και ακολουθεί τις

απαιτούμενες ενέργειες. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό οδηγεί σε παρέκκλιση από την σχεδιασμένη καμπύλη πορείας, κάτι που σημαίνει και μεγαλύτερη κατανάλωση χωρητικότητας.

6.2.1 Προσαρμογή του μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα PZB 90

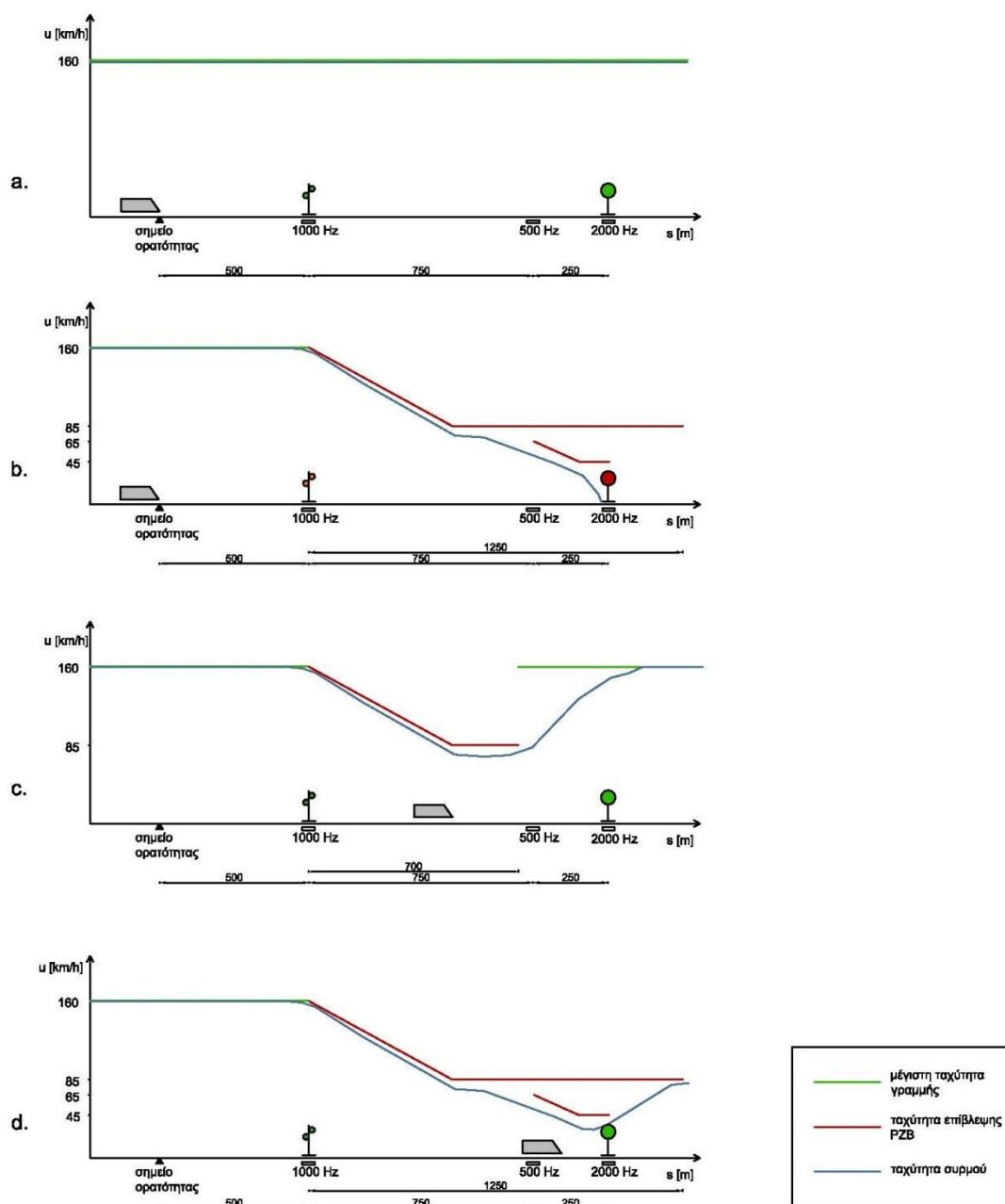
Το σύστημα PZB 90 είναι ένα σύστημα σημειακής επιρροής συρμού που λειτουργεί με πλευρική σηματοδότηση, πρόσημα – κύριο σήμα. Το μοντέλο χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού αποτυπώνει την διάταξη αυτή.

Η άδεια πορείας παρέχεται στον μηχανοδηγό από την ένδειξη του προσήματος την στιγμή που ο συρμός βρίσκεται στην θέση ορατότητας. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα τμήμα αποκλεισμού είναι ελεύθερο όταν ένας συρμός βρεθεί στο σημείο ορατότητας, τότε μπορεί να συνεχίσει την προγραμματισμένη πορεία του (Σχήμα 6.2 α.). Σε αντίθετη περίπτωση, όταν ένα τμήμα αποκλεισμού είναι κατειλημμένο από έναν συρμό, το πρόσημα βρίσκεται σε ένδειξη προειδοποίησης και ο συρμός που ακολουθεί θα πρέπει να βρεθεί σε στάση πριν το κύριο σήμα (Σχήμα 6.2 β.).

Στην περίπτωση που το τμήμα αποκλεισμού είναι κατειλημμένο, οι μαγνήτες γραμμής είναι ενεργοί και ενεργοποιούν την παρακολούθηση της ταχύτητας του συρμού (όπως περιγράφεται στις παραγράφους 2.1.3-2.1.5) ώστε αυτός να βρεθεί εγκαίρως σε στάση.

Ένα μειονέκτημα της σημειακής λειτουργίας του συστήματος είναι ότι στην περίπτωση απελευθέρωσης του τμήματος αποκλεισμού αφότου ο συρμός έχει προσπεράσει το πρόσημα (και την έναρξη του ελέγχου ταχύτητας από τον μαγνήτη των 1000 Hz) δεν μπορεί να λάβει εκ νέου άδεια πορείας και αναγκάζεται να επιβραδύνει (Σχήμα 6.2 γ.), μέχρις ότου διανύσει 700 m από την έναρξη της παρακολούθησης, όπου το σύστημα παρέχει την δυνατότητα απελευθέρωσης από την παρακολούθηση της ταχύτητας.

Εάν τέλος, ο συρμός βρίσκεται μετά τον μαγνήτη των 500 Hz όταν το τμήμα αποκλεισμού ελευθερωθεί, τότε ακολουθεί αναγκαστικά τους περιορισμούς ταχύτητας. Εφόσον όμως ο μαγνήτης των 2000 Hz δεν είναι πλέον ενεργός, ο συρμός δεν είναι υποχρεωμένος να βρεθεί σε στάση. Δεν μπορεί όμως να ελευθερωθεί από τους ήδη ισχύοντες περιορισμούς ταχύτητας από την επιρροή των προηγούμενων μαγνητών (Σχήμα 6.2 δ.).



Σχήμα 6.2 Αντίδραση του συστήματος PZB 90

Η θέση ορατότητας μπορεί να ληφθεί 500m για ταχύτητες άνω των 80 km/h.

Η επιρροή της αντίδρασης του συστήματος στην χωρητικότητα έγκειται στο γεγονός ότι ενώ ο μηχανοδηγός αναγνωρίζει από την ένδειξη των σημάτων την ελευθέρωση του επόμενου τμήματος αποκλεισμού, λόγω σημειακής επικοινωνίας συρμού – γραμμής, δεν μπορεί να ελευθερώσει τον συρμό από τον έλεγχο του συστήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παράταση του χρόνου κατάληψης και επομένως μεγαλύτερη κατανάλωση χωρητικότητας.

Σημαντική επίδραση στην χωρητικότητα έχει και το γεγονός ότι η έναρξη του χρόνου κατάληψης εξαρτάται από την θέση του προσήματος. Το πρόσημα είναι τοποθετημένο σε τέτοια απόσταση από το κύριο σήμα ώστε ο συρμός μα το μεγαλύτερο μήκος πέδησης που κινείται στην εν λόγω γραμμή να μπορεί να βρεθεί σε στάση με ασφάλεια πριν το κύριο σήμα. Αυτό σημαίνει ότι συρμοί με μεγαλύτερη απόδοση πέδησης ή συρμοί μικρότερης ταχύτητας θα απαιτούσαν μικρότερη απόσταση πέδησης άρα και μικρότερο χρόνο προσέγγισης στο κύριο σήμα.

6.2.2 Προσαρμογή του μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα LZB

Το σύστημα LZB αποτελεί σύστημα γραμμικής επιρροής συρμού που εξασφαλίζει συνεχή επικοινωνία συρμού – γραμμής. Η ύπαρξη πλευρικής σηματοδότησης δεν είναι απαραίτητη. Λειτουργεί όμως σε σύστημα σταθερών τμημάτων αποκλεισμού. Ο μηχανοδηγός λαμβάνει στοιχεία για την κατάσταση της γραμμής που ακολουθεί μέσω της οθόνης καμπίνας οδήγησης. Επομένως η παράταση ή μη της άδειας πορείας λαμβάνεται μέσω της σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης και ο μηχανοδηγός εφαρμόζει τις απαραίτητες ενέργειες.

Ο υπολογιστής οχήματος υπολογίζει, με χρήση των χαρακτηριστικών του συρμού και στοιχείων που λαμβάνει από πλευράς γραμμής, την απόσταση πέδησης σε κάθε περίπτωση περιορισμού ταχύτητας ή στάσης, για τον εκάστοτε συρμό.

Το μοντέλο χρόνου κατάληψης προσαρμόζεται στο σύστημα ως σύστημα με σηματοδότηση καμπίνας οδήγησης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος κατάληψης ξεκινάει με βάση την υπολογισθείσα κάθε φορά καμπύλη πέδησης, από την ένδειξη της σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης.

Το LZB παρέχει πληροφορίες για περισσότερα από ένα τμήματα αποκλεισμού που ακολουθούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα μεγαλύτερων μήκων πέδησης και επομένως ανάπτυξης μεγαλύτερων ταχυτήτων.

6.2.3 Προσαρμογή του μοντέλου χρόνου κατάληψης στο σύστημα ETCS

Στα συμβατικά συστήματα σηματοδότησης, ο χρόνος προσέγγισης καθορίζεται από την θέση του προσήματος. Αντίθετα στο σύστημα ETCS καθοριστικό ρόλο στον χρόνο προσέγγισης παίζει το σημείο αναγνώρισης (Indikation Point – IP). Το σημείο αναγνώρισης είναι το σημείο στο οποίο, στην περίπτωση μη παράτασης της άδειας πορείας του συρμού, θα πρέπει να αρχίσει η επιβράδυνση του συρμού.

Όταν ένας συρμός διέλθει από το σημείο αναγνώρισης η οθόνη DMI αλλάζει χρώμα, από χρώμα γκρι σε κίτρινο. Στο σημείο αυτό, ο μηχανοδηγός καλείται να ενεργοποιήσει την πέδη. Για να εξασφαλιστεί μια διαδρομή χωρίς παρεμπόδιση, η άδεια πορείας θα πρέπει να παίρνει παράταση (πέρα από το προηγούμενο πέρασ άδειας πορείας) πριν ο συρμός διέλθει από το σημείο αναγνώρισης IP.

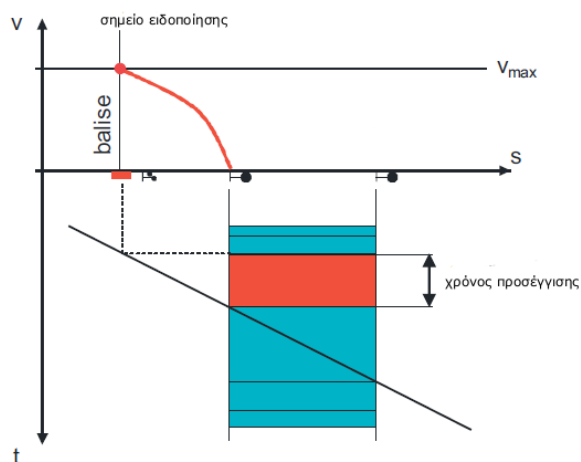
Η θέση του σημείου αναγνώρισης IP υπολογίζεται από το υποσύστημα του οχήματος, με βάση την σχετική καμπύλη πέδησης (του δυσμενέστερου συρμού για το επίπεδο εφαρμογής 1, και ανεξάρτητα για κάθε συρμό για το επίπεδο εφαρμογής 2 και 3), συμπεριλαμβανομένου ενός χρόνου ανάπτυξης πέδης και ενός χρόνου αντίδρασης του μηχανοδηγού. Γενικά, οι καμπύλη πέδησης εξαρτάται από την ικανότητα πέδησης του συρμού (εκατοστά πέδησης λ), την θέση επίβλεψης SvL¹, το τμήμα προστασίας μετά το κύριο σήμα (overlap) και τους εκάστοτε εθνικούς διορθωτικούς συντελεστές.

6.2.3.1 ETCS επίπεδο εφαρμογής 1

Το ETCS επίπεδο 1 είναι ένα σύστημα ελέγχου συρμού βασισμένο στην σημειακή μετάδοση πληροφοριών, το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα υποστηρικτικό σύστημα σηματοδότησης. Οι άδειες πορείας MA παράγονται από το υποσύστημα της γραμμής και μεταδίδονται στο όχημα μέσω των Eurobalises. Πρόσθετα Eurobalises μπορούν να τοποθετηθούν για να προσφέρουν συμπληρωματικές πληροφορίες. Ημисυνεχή συμπληρωματική λειτουργία μπορεί να υπάρξει μέσω Euroloop ή Radio infill. Στην περίπτωση αυτή οι πρόσθετες πληροφορίες παρουσιάζονται στον μηχανοδηγό όταν αυτές είναι διαθέσιμες, ακόμα και όταν ο συρμός βρίσκεται σε στάση.

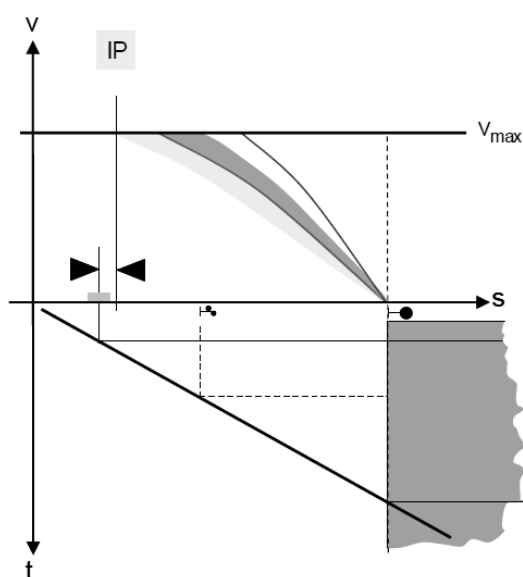
Το ETCS επίπεδο 1 αναφέρεται σε συμβατική πλευρική σηματοδότηση, επομένως ο προσδιορισμός γίνεται με βάση το μοντέλο χρόνου κατάληψης. Οι ομάδες Eurobalise δεν είναι απαραίτητο να είναι τοποθετημένες ακριβώς στην θέση του δευτερεύοντος σήματος, αλλά μπορεί να βρίσκονται και πριν από αυτό. Για την τοποθέτηση τους λαμβάνεται υπόψη το σημείο αναγνώρισης (indication point) της ένδειξης από τον συρμό με την δυσμενέστερη πέδη. Ανάλογα με την καμπύλη πέδησης και το σημείο αναγνώρισης, αυξάνει και ο χρόνος προσέγγισης στο κύριο σήμα.

¹ Supervised Location- SvL παράγραφος 4.3.3



Σχήμα 6.3 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1 [UIC 2008]

Για κάθε ΕΟΑ το σημείο αναγνώρισης IP κάθε συρμού είναι καθορισμένο και αποτελεί την βέλτιστη θέση του Balise group. Ο χρόνος προσέγγισης προσδιορίζεται από το πρώτο σχετικό Balise group, από το οποίο πρέπει να διέλθει ο συρμός πριν φτάσει στο σημείο αναγνώρισης IP (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1 – θέση Balise group [UIC 2010]

Πρέπει να σημειωθεί ότι το Balise group που σχετίζεται με την έναρξη του χρόνου κατάληψης του τμήματος αποκλεισμού μπορεί να διαφέρει από συρμό σε συρμό (ως αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών πέδησης του κάθε συρμού). Επομένως, για κάποιους συρμούς το σχετικό Balise group μπορεί να βρίσκεται πολύ πριν την έναρξη της καμπύλης πέδησης. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικό αντίκτυπο στον χρόνο διαδοχής. Για αυτόν τον λόγο, στις περιπτώσεις που η κυκλοφορία αποτελείται από συρμούς ίδιας τάξης ταχύτητας, το σχετικό Balise group πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο αναγνώρισης IP.

Στην περίπτωση που ο χρόνος αντίδρασης του μηχανοδηγού συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο πέδησης, δεν είναι απαραίτητη η ξεχωριστή εκτίμηση του ως τμήμα του χρόνου κατάληψης. Παρόλα αυτά, στον χρόνο κατάληψης θα πρέπει να προστεθεί ο χρόνος μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ Balise group και συρμού.

Η θέση του Balise group που σχετίζεται με την παράταση της άδειας πορείας, έχει ιδιαίτερη σημασία ως προς την κατανάλωση της χωρητικότητας. Οι πιθανές βέλτιστες θέσεις του Balise group είναι οι παρακάτω:

- a. Ένα Balise group στη μέγιστη βέλτιστη απόσταση (δηλαδή την βέλτιστη απόσταση για τον συρμό με την μεγαλύτερη απόσταση πέδησης) από το τέλος της άδειας πορείας. Στην περίπτωση αυτή όλοι οι συρμοί λαμβάνουν την νέα άδεια πορείας αρκετά νωρίς. Παρόλα αυτά, για τους συρμούς με καλύτερα χαρακτηριστικά πέδησης, καταγράφεται σπατάλη από άποψη χωρητικότητας.
- b. Ένα Balise group στη ελάχιστη βέλτιστη απόσταση από το τέλος της άδειας πορείας. Στην περίπτωση αυτή, κάποια ομάδα συρμών (μικρότερης δυνατότητας πέδησης) να διέλθει από το σημείο παρέμβασης (όπου θα έπρεπε να ενεργοποιηθεί η πέδη) πριν ληφθεί η νέα άδεια πορείας. Η κατανάλωση της χωρητικότητας για τους συρμούς αυτούς είναι αυξημένη. Παρόλα αυτά, συνολικά η κατανάλωση της χωρητικότητας μπορεί να προκύψει μειωμένη σε σχέση με αυτήν της περίπτωσης a. όταν μεγάλο ποσοστό την κυκλοφορίας αποτελείται από συρμούς με καλά χαρακτηριστικά πέδησης.
- c. Δύο Balise groups, στην μέγιστη και στην ελάχιστη βέλτιστη απόσταση. Η περίπτωση αυτή αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Η κατανάλωση της χωρητικότητας μπορεί να μειωθεί στο σύνολό της, απαιτείται όμως ένα επιπλέον Balise group. Στην περίπτωση συρμού μεγάλου μήκους πέδησης, το δεύτερο Balise group μπορεί να εκτελεί λειτουργίες πλήρωσης.
- d. Τοποθέτηση Balise group σε κάθε βέλτιστη θέση. Θεωρητικά, ένα Balise group θα έπρεπε να είναι τοποθετημένο στην βέλτιστη θέση για κάθε συρμό, ανάλογα με την σύνθεση της κυκλοφορίας. Παρόλα αυτά, δύο Balise groups που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους, συγχωνεύονται, στην μεγαλύτερη απόσταση.
- e. Τοποθέτηση εξοπλισμού πλήρωσης (infill loop, radio-infill) μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης βέλτιστης απόστασης. Για την κάλυψη μεγάλου εύρους συρμών, μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ των δύο Balise groups εξοπλισμός infill loop ή radio-infill. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρόνος προσέγγισης ελαχιστοποιείται για κάθε συρμό, του οποίου το σημείο αναγνώρισης IP βρίσκεται μεταξύ των θέσεων των δύο Balise groups.

ETCS επίπεδο 1 με εξοπλισμό πλήρωσης

Από το μοντέλο χρόνου κατάληψης γίνεται αντιληπτό ότι για την κίνηση ενός συρμού χωρίς εμπόδια, κατά τον χρόνο προσέγγισης του συρμού από το πρόσημα στο κύριο σήμα το ακόλουθο τμήμα αποκλεισμού είναι ελεύθερο από κάποιον προπορευόμενο συρμό (ο συρμός δεν επιβραδύνει κατά τον χρόνο προσέγγισης). Η ύπαρξη εξοπλισμού πλήρωσης, όπως infill balise, Euroloop, GSM-R, εξασφαλίζει λειτουργικά διαφορετική αντίδραση του συστήματος. Στην περίπτωση που ο συρμός μειώνει την ταχύτητά του λόγω ύπαρξης προπορευόμενου συρμού μικρότερης ταχύτητας, ο εξοπλισμός πλήρωσης έχει σημαντική επιρροή στην χωρητικότητα. Εάν το επόμενο τμήμα αποκλεισμού είναι κατειλημμένο, ο συρμός πρέπει να επιβραδύνει κατά τον χρόνο προσέγγισης. Με την ύπαρξη εξοπλισμού πλήρωσης, εάν το επόμενο τμήμα αποκλεισμού απελευθερωθεί στον χρόνο αυτό, ο συρμός μπορεί να λάβει αυτή την πληροφορία και να επιταχύνει ξανά, πριν φτάσει σε στάση ή στην ταχύτητα ελευθέρωσης.

Η επιρροή του εξοπλισμού πλήρωσης πρέπει να αξιολογηθεί από άποψη ποιότητας και χωρητικότητας. Γενικά ο περιορισμός των δευτερογενών καθυστερήσεων λόγω της νωρίτερης μετάδοσης της νέας άδειας πορείας, αποτελεί βελτίωση της ποιότητας λειτουργίας. Είναι παρόλα αυτά, φανερό ότι ο εξοπλισμός πλήρωσης δεν προσφέρει κάποιο όφελος σε περιπτώσεις μικρών (δεν υπάρχουν καθυστερήσεις με ή χωρίς εξοπλισμό πλήρωσης) και μεγάλων διαταραχών (ο ακόλουθος συρμός θα πρέπει έτσι και αλλιώς να ακινητοποιηθεί).

Χρόνοι αντίδρασης του συστήματος

Οι χρόνοι αντίδρασης του συστήματος συνυπολογίζονται στον χρόνο σχηματισμού διαδρομής και λαμβάνονται ως εξής:

Πίνακας 6.1 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 1 [UIC 2010]

	Μέση τιμή για ETCS level 1 (sec)
LEU	0,7
EVC+DMI	1
σύνολο	1,7

Ο χρόνος μετάδοσης από το κύριο σήμα στο balise μπορεί να θεωρηθεί 1 sec. Για τα infill loops 1 sec και για radio infill 3 sec. [UIC 2010]

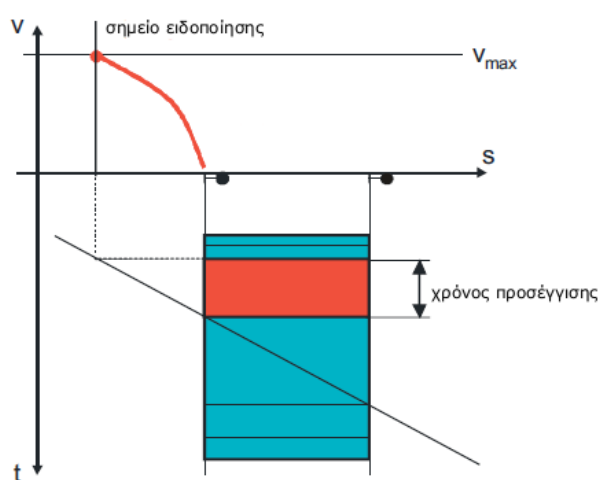
6.2.3.2 ETCS επίπεδο εφαρμογής 2

Το ETCS επίπεδο 2 είναι βασισμένο στην ραδιοεπικοινωνία. Οι άδειες πορείας MA παράγονται από το υποσύστημα της γραμμής και μεταδίδονται στο όχημα μέσω Euroradio. Το Euroradio είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μεταξύ συρμού και γραμμής και το σύστημα χρησιμοποιεί τα Eurobalises για σημειακές μεταδώσεις

που αφορούν κυρίως αναφορές θέσης. Το Radio Block Centre του υποσυστήματος της γραμμής, το οποίο παρέχει τις πληροφορίες στον συρμό, γνωρίζει κάθε ελεγχόμενο από το σύστημα συρμό ξεχωριστά από την ταυτότητα ETCS του εξοπλισμού οχήματος.

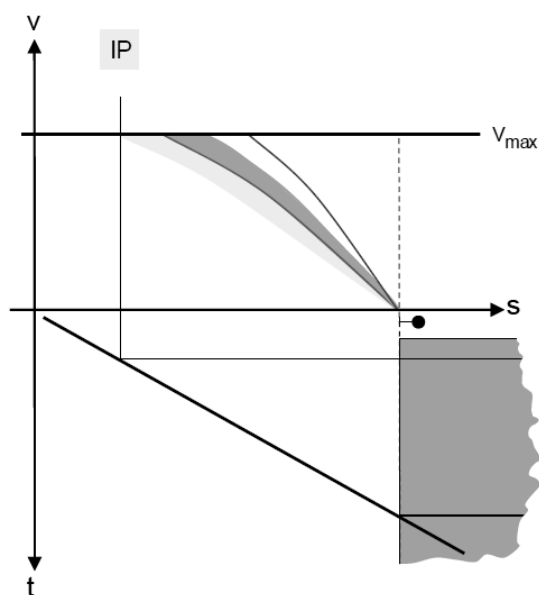
Στο επίπεδο 2 η ανίχνευση συρμού και η λειτουργία έλεγχου αρτιότητας γίνεται από την πλευρά της γραμμής μέσω του υποστηρικτικού συστήματος σηματοδότησης (σύμπλεξη, κύκλωμα γραμμής, κ.α.).

Λειτουργώντας σε σύστημα σταθερών τμημάτων αποκλεισμού, το ETCS επίπεδο 2 προσαρμόζεται στο μοντέλο χρόνου κατάληψης, με χρόνο εκκίνησης όμως εξαρτώμενο απευθείας από την καμπύλη πέδησης.



Σχήμα 6.5 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 2 [UIC 2008]

Στην περίπτωση που δεν παραταθεί η άδεια πορείας του συρμού, θα υπάρξει απόκλιση από το προγραμματισμένο δρομολόγιο. Η διαδικασία την επιβράδυνσης πρέπει να ξεκινήσει από το σημείο αναγνώρισης (indication point), το οποίο όμως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε συρμού.



Σχήμα 6.6 Χρόνος προσέγγισης ETCS επίπεδο 1 – σημείο αναγνώρισης IP [UIC 2010]

Το επίπεδο 2 λειτουργεί ευνοϊκότερα από άποψη χωρητικότητας, στην περίπτωση μεικτής κυκλοφορίας, καθώς δεν απαιτεί την ύπαρξη Balise group σε δεδομένη θέση. Αντίθετα μπορεί να εκτιμηθεί η αργότερη δυνατή έναρξη του χρόνου προσέγγισης.

Σε σύγκριση με το επίπεδο 1, απαιτείται περισσότερος χρόνος για την μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ σύμπλεξης – RBC – συρμού, κάτι που όμως συχνά εξισορροπείται από μικρότερους χρόνους προσέγγισης.

Χρόνοι αντίδρασης του συστήματος

Οι χρόνοι αντίδρασης του συστήματος συνυπολογίζονται στον χρόνο σχηματισμού διαδρομής και λαμβάνονται ως εξής:

Πίνακας 6.2 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 2 [UIC 2010]

	Μέση τιμή για ETCS level 2 (sec)
Interlocking προς RBC	0,05
RBC	1,5
RBC προς συρμό	1,1
EVC+DMI	1
σύνολο	3,65

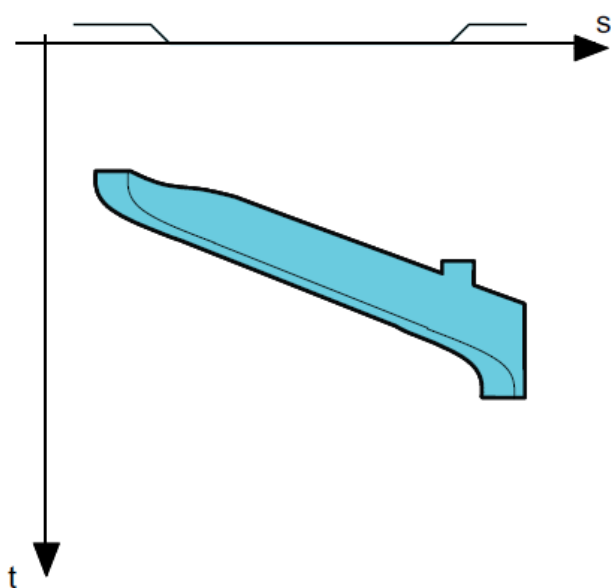
6.2.3.3 ETCS επίπεδο εφαρμογής 3

Το ETCS επίπεδο 3 βασίζεται και αυτό στην ραδιοεπικοινωνία. Οι άδειες πορείας MA παράγονται από το υποσύστημα της γραμμής και μεταδίδονται στο όχημα μέσω Euroradio, ενώ τα Eurobalises χρησιμοποιούνται για σημειακές μεταδώσεις που αφορούν κυρίως αναφορές θέσης. Το Radio Block Centre του υποσυστήματος της γραμμής, το οποίο παρέχει τις πληροφορίες στον συρμό, γνωρίζει κάθε

ελεγχόμενο από το σύστημα συρμό ξεχωριστά από την ταυτότητα ETCS του εξοπλισμού οχήματος.

Στο επίπεδο 3 η ανίχνευση συρμού και η λειτουργία έλεγχου αρτιότητας γίνονται από το Radio Block Centre σε συνεργασία με τον συρμό, ο οποίος στέλνει αναφορές θέσης και αρτιότητας.

Το ETCS επίπεδο 3, ως σύστημα που λειτουργεί με σύστημα κινούμενου τμήματος αποκλεισμού (moving block - κίνησης σε απόσταση πέδησης), παρέχει τον ελάχιστο χρόνο διαδοχής για κάθε περίπτωση αλληλουχίας συρμών.



Σχήμα 6.7 Ζώνη χρόνου κατάληψης ETCS επίπεδο 3 [UIC 2008]

Η καμπύλη κατάληψης της ζώνης χρόνου κατάληψης καθορίζεται από την απόσταση πέδησης του εκάστοτε συρμού (απόσταση μεταξύ σημείου αναγνώρισης IP και τέλους άδειας πορείας), από το μήκος του συρμού, από τα περιθώρια ασφαλείας, τους χρόνους διαμόρφωσης και αναδιαμόρφωσης της εκάστοτε διαδρομής και τους χρόνους μετάδοσης πληροφοριών μέσω Euroradio. Η ζώνη χρόνου κατάληψης αποτελεί την οριακή λειτουργία της αλληλουχίας χρόνων κατάληψης, υποθέτοντας μια θεωρητική, απείρως πυκνή διάταξη τμημάτων αποκλεισμού.

Χρόνοι αντίδρασης του συστήματος

Οι χρόνοι αντίδρασης του συστήματος συνυπολογίζονται στον χρόνο σχηματισμού διαδρομής και λαμβάνονται ως εξής:

Πίνακας 6.3 Χρόνοι αντίδρασης συστήματος ETCS επίπεδο εφαρμογής 3 [UIC 2010]

	Μέση τιμή για ETCS level 3 (sec)
Ακεραιότητα συρμού	4
συρμός 1 προς RCB	1,1
RBC	1,5
RBC προς συρμό 2	1,1
EVC+DMI	1
σύνολο	8,7

Στο επίπεδο 3 η λειτουργία της σύμπλεξης και του RBC συγχωνεύονται. Επομένως ο χρόνος 8,7 sec αποτελεί όλο τον χρόνο σχηματισμού διαδρομής.

Επίσης για το επίπεδο 3 ο χρόνος κατάληψης δεν περιλαμβάνει τον χρόνο απελευθέρωσης διαδρομής. Η ζώνη κατάληψης καθορίζεται από την απόσταση πέδησης που απαιτεί ο εκάστοτε συρμός και η ακύρωσή, της από το μήκος του συρμού αυξημένο κατά μία απόσταση ασφαλείας. Η απόσταση ασφαλείας μπορεί να θεωρηθεί 7 sec. [Magnarini 2010]

6.2.3.3 Συνοπτική παρουσίαση χρόνων κατάληψης

Πίνακας 6.4 Συνοπτική παρουσίαση χρόνων κατάληψης

	PZB	LZB	ETCS L1	ETCS L2	ETCS L3
Χρόνος σχηματισμού διαδρομής	Ανάλογα με τον σηματοτεχνικό εξοπλισμό				Χρόνος αντίδρασης συστήματος (8,7 sec)
Χρόνος ορατότητας	Ανάλογα με την απόσταση ορατότητας (500m για V>80km/h)	Χρόνος αντίδρασης συστήματος	Χρόνος αντίδρασης συστήματος (1,7 sec)	Χρόνος αντίδρασης συστήματος (3,65 sec)	
Χρόνος προσέγγισης	Θέση προσήματος	Καμπύλη πέδησης	Θέση του Balise group	IP	IP
Καθαρός χρόνος κατάληψης	Εξαρτάται από τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συρμού				
χρόνος διέλευσης μήκους συρμού	Μήκος τμήματος ασφαλείας (overlap)+ μήκος συρμού				Μήκος συρμού
Χρόνος ελευθέρωσης διαδρομής	Ανάλογα με τον σηματοτεχνικό εξοπλισμό (~3 sec)				0 (απόσταση ασφαλείας 7 sec)

Για τον υπολογισμό του φυσικού χρόνου κατάληψης πρέπει να ληφθεί υπόψη, για κάθε συρμό, η καμπύλη επιτάχυνσης, η καμπύλη πέδησης και η κίνηση με σταθερή ταχύτητα (ανάλογα με την επιτρεπόμενη κάθε φορά μέγιστη ταχύτητα).

Θεωρείται ότι ο σηματοτεχνικός εξοπλισμός για την εξασφάλιση και τον σχηματισμό μιας διαδρομής απαιτεί περίπου χρόνο 9 sec, ενώ για την ακύρωση ή την ελευθέρωση ενός τμήματος γραμμής 3 sec (για το ETCS επίπεδο 3 οι χρόνοι αυτοί συμπεριλαμβάνεται στην αντίδραση του συστήματος). [Magnarini 2010]

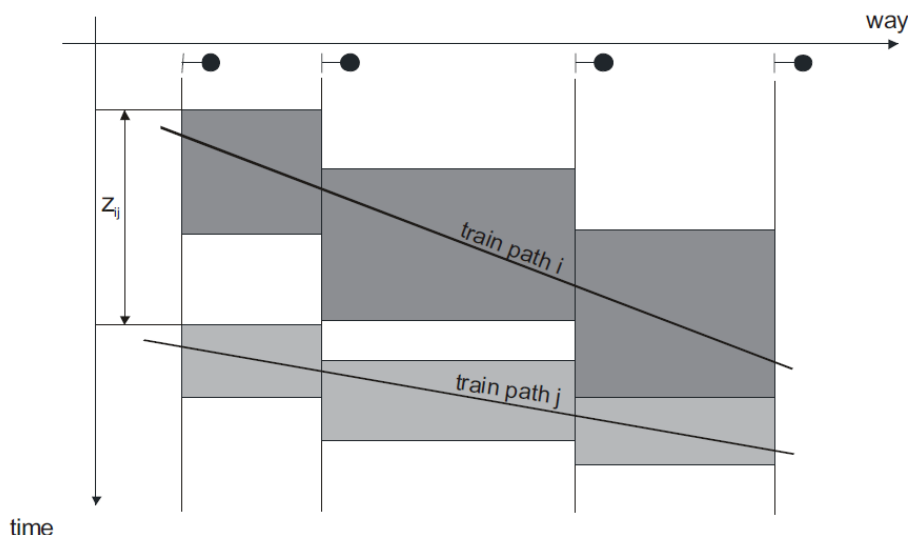
Για την αντίδραση του μηχανοδηγού θεωρείται χρόνος 4^2 sec κατά την κίνηση, ενώ μετά από στάση 12 sec (οι χρόνοι αυτό ισχύουν τόσο στα συμβατικά συστήματα σηματοδότησης, όσο και στα 3 επίπεδα ETCS). [Magnarini 2010]

6.3 Ελάχιστη χρονοαπόσταση

Η ελάχιστη χρονοαπόσταση είναι ο ελάχιστος χρόνος διαδοχής μεταξύ δύο συρμών ώστε η κίνηση του ενός να μην προκαλεί εμπόδια στην κίνηση του άλλου. Αναφέρεται σε τμήμα της γραμμής που χρησιμοποιούν και οι δύο συρμοί ως σύνδεση μεταξύ δύο σημείων όπου μπορούν να αλλάξουν σειρά ή να προσπεράσουν ο ένας τον άλλο μέσω εγκαταστάσεων υπέρβασης.

Για τον προσδιορισμό του ελάχιστου χρόνου διαδοχής, το διάγραμμα της ακολουθίας των χρόνων κατάληψης του δεύτερου συρμού μετατοπίζεται έως ότου να εφάπτεται με το αντίστοιχο διάγραμμα του προπορευόμενου συρμού. Ο ελάχιστος χρόνος διαδοχής είναι ο χρόνος από την εκκίνηση του χρόνου κατάληψης του πρώτου συρμού μέχρι την εκκίνηση του χρόνου κατάληψης του δεύτερου στο πρώτο τμήμα αποκλεισμού (Σχήμα 6.8). Η ελάχιστη χρονοαπόσταση δεν μπορεί να οριστεί για έναν μόνο συρμό, αλλά για ένα ζεύγος συρμών.

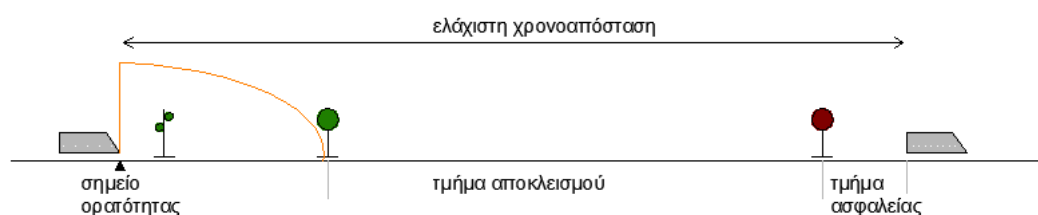
² Συχνά λαμβάνεται και ως 6 sec [UIC 2010]



Σχήμα 6.8 Ελάχιστος χρόνος διαδοχής z_{ij} [UIC 2008]

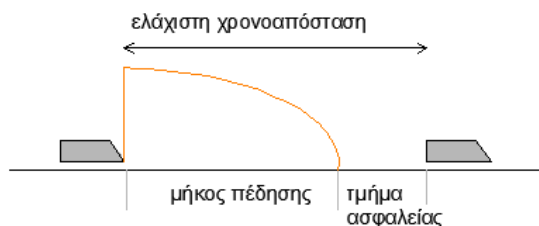
Σημείωση: Σε ένα πραγματικό δρομολόγιο, μεταξύ των χρόνων κατάληψης των συρμών απαιτούνται περιθώρια άνεσης, με σκοπό την μείωση της διάδοσης των καθυστερήσεων.

Σε ένα σύστημα σηματοδότησης με σταθερά τμήματα αποκλεισμού, η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών ισούται με το δυσμενέστερο μήκος πέδησης, το μήκος του τμήματος αποκλεισμού και μία απόσταση ασφαλείας (overlap).



Σχήμα 6.9 Ελάχιστη χρονοαπόσταση σε σύστημα σηματοδότησης με σταθερά τμήματα

Σε ένα σύστημα σηματοδότησης με κινούμενο τμήμα αποκλεισμού, η διαδοχή δύο συρμών γίνεται σε απόσταση πέδησης, δηλαδή η απόσταση δύο διαδοχικών συρμών ισούται με το μήκος πέδησης του δεύτερου συρμού αυξημένο κατά ένα μήκος ασφαλείας.

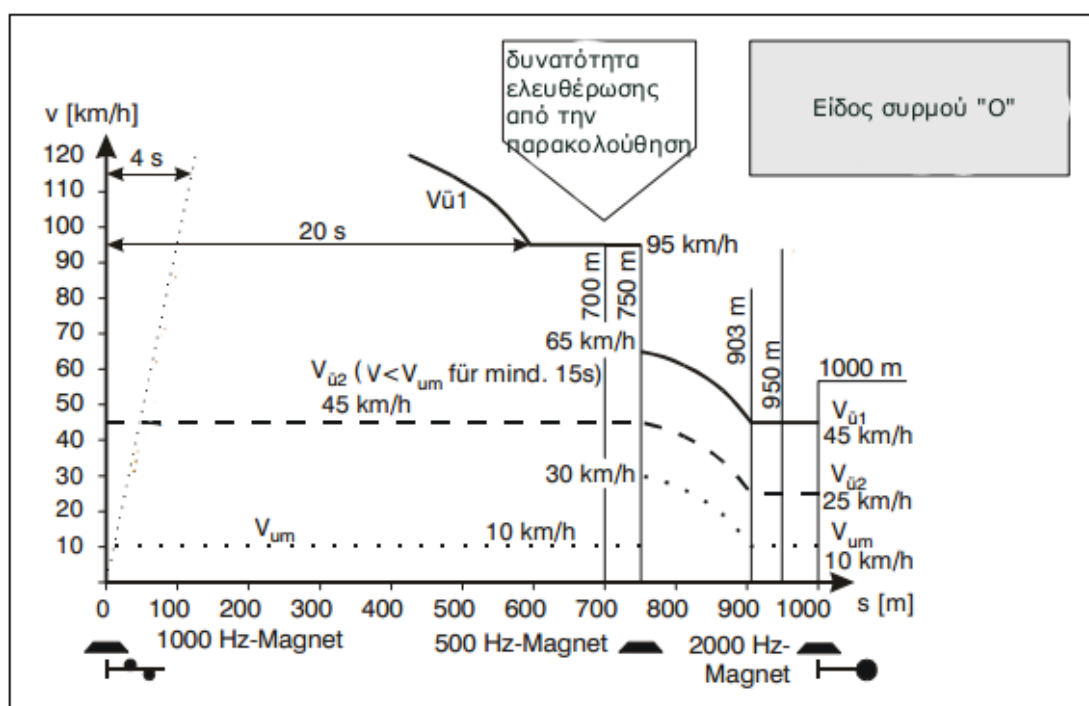


Σχήμα 6.10 Ελάχιστη χρονοαπόσταση σε σύστημα σηματοδότησης με κινούμενο τμήμα αποκλεισμού

6.3.1 Καμπύλες πέδησης

6.3.1.1 Καμπύλη πέδησης PZB 90

Σε ένα σύστημα συμβατικής σηματοδότησης, όπως το ΡΖΒ, η πέδηση του συρμού ξεκινάει, ανεξάρτητα από το μήκος πέδης του εκάστοτε συρμού, από την θέση του προσήματος, το οποίο είναι τοποθετημένο σε απόσταση από το κύριο σήμα όσο και το δυσμενέστερο μήκος πέδησης των εν κυκλοφορία συρμών.



Διάγραμμα 6.1 Περιορισμοί ταχύτητας PZB 90

Σε περίπτωση μη παράταση της άδειας πορείας, κατά την κίνηση συρμού εξοπλισμένου με PZB 90, το σύστημα εφαρμόζει έλεγχους ταχύτητας στην κίνηση του συρμού. Σε περίπτωση που η κίνηση του συρμού δεν ικανοποιεί τους ελέγχους αυτούς, το σύστημα εφαρμόζει πλήρη πέδηση που εξασφαλίζει την ακινητοποίηση του συρμού πριν το σημείο κινδύνου.

Ειδικότερα η πέδη έκτακτης ανάγκης εφαρμόζεται στον συρμό στις παρακάτω περιπτώσεις:

- σε περίπτωση μη έγκαιρης αντίδρασης του μηχανοδηγού (εντός 4 sec) από την διέλευση από ενεργό μαγνήτη 1000 Hz,
- σε περίπτωση που μετά την επιρροή του μαγνήτη 1000 Hz, δεν ακολουθηθεί η καμπύλη παρακολούθησης της ταχύτητας που παρέχεται από το σύστημα, ανάλογα με την τάξη του συρμού,
- σε περίπτωση επιρροής από την μαγνήτη 500 Hz, όταν η ταχύτητα του συρμού υπερβαίνει την ταχύτητα που ορίζει η καμπύλη παρακολούθησης,
- σε περίπτωση διέλευσης από κύριο σήμα σε ένδειξη «Στάση», μετά την ανίχνευση του μαγνήτη 2000 Hz,
- σε περίπτωση λανθασμένης απελευθέρωσης του συρμού από την παρακολούθηση της ταχύτητας του μαγνήτη 1000 Hz.

Το σύστημα δεν υπολογίζει εκ των προτέρων κάποια λειτουργική καμπύλη πέδησης. Οι μαγνήτες είναι τοποθετημένοι σε τέτοιες αποστάσεις ώστε να εξασφαλίζουν με τον έλεγχο ταχύτητας που παρέχουν ότι το μήκος πέδησης του συρμού ανάλογα με την τρέχουσα ταχύτητα, δεν θα ξεπερνά το σημείο κινδύνου.

6.3.1.2 Καμπύλη πέδησης LZB

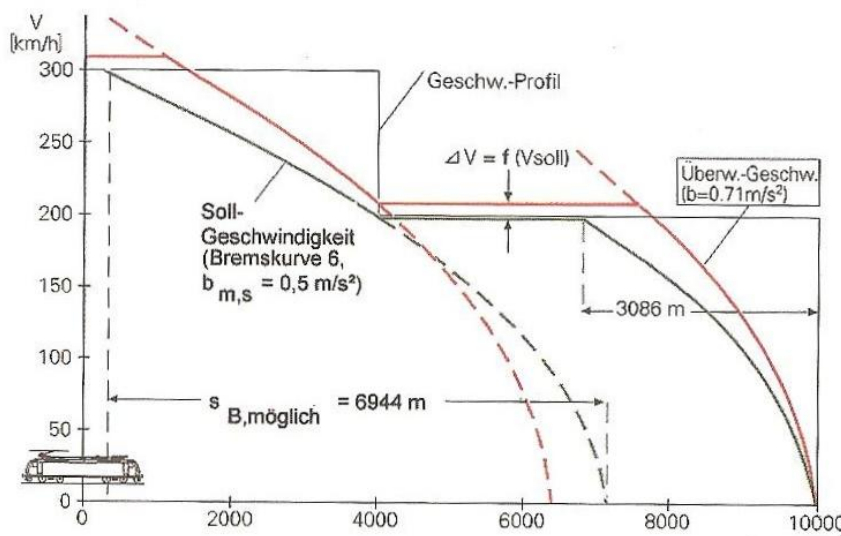
Σε έναν συρμό εξοπλισμένο με LZB το σύστημα παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να υπολογίζει κάθε στιγμή μια λειτουργική καμπύλη πέδησης. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζεται στον μηχανοδηγό με την μορφή ταχύτητας – στόχου και απόστασης – στόχου στην οθόνη της καμπίνας οδήγησης και αφορά τον εκάστοτε συρμό. Σε περίπτωση υπέρβασης της καμπύλης, και μετά από προειδοποίηση του μηχανοδηγού, το σύστημα εφαρμόζει την πλήρη πέδη έκτακτης ανάγκης για την επιβράδυνση του συρμού μέχρι μία επιτρεπτή ταχύτητα ή για την ακινητοποίησή του.

Η καμπύλη πέδησης είναι παραβολικού τύπου:

$$v_{soll} = \sqrt{2 \cdot b \cdot s_{B,m\ddot{o}glich}}$$

Όπου:

v_{soll}	οφειλόμενη ταχύτητα
b	επιβράδυνση
$s_{B,m\ddot{o}glich}$	ονομαστική απόσταση στάθμευσης



Διάγραμμα 6.2 Παράδειγμα: Οφειλόμενη ταχύτητα και ταχύτητα παρακολούθησης LZB
[Gralla 1999]

6.3.1.3 Καμπύλη πέδησης ETCS

Το ETCS υπολογίζει την καμπύλη πέδησης καθώς και μια σειρά από όρια επίβλεψης, παρέχοντας στον μηχανοδηγό τόσο έγκαιρη ενημέρωση, όσο και χρονικά περιθώρια για τις απαραίτητες ενέργειες.

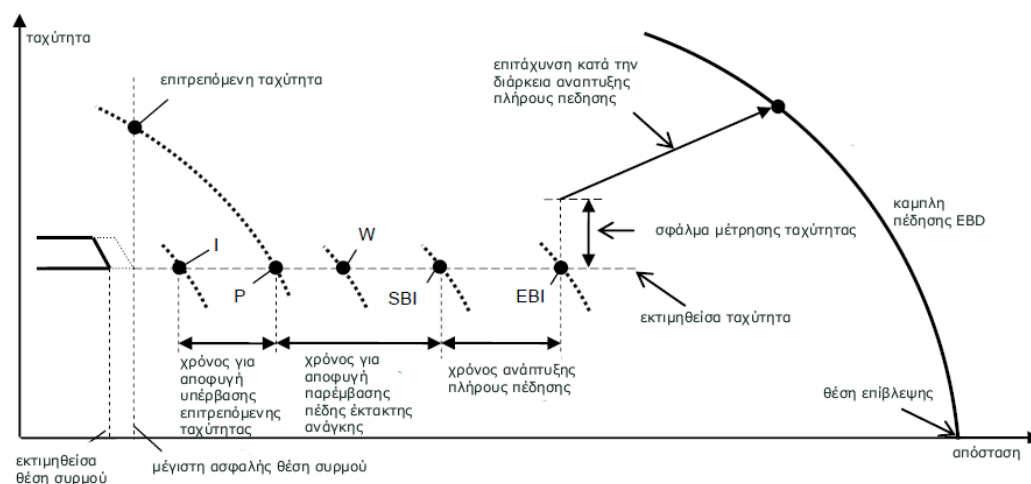
Η καμπύλη πέδησης που αφορά στην μείωση της ταχύτητας λόγω της διενέργειας της πέδης έκτακτης ανάγκης ονομάζεται καμπύλη EDB (emergency brake deceleration). Κάθε φορά που ο εξοπλισμός γραμμής παρέχει στον εξοπλισμό οχήματος θέση – στόχο (είτε περιορισμού ταχύτητας είτε θέση στάσης), ο εξοπλισμός οχήματος υπολογίζει, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά τόσο του οχήματος όσο και της γραμμής, την καμπύλη EDB. Από την καμπύλη αυτή και την εκτιμώμενη τρέχουσα ταχύτητα, ο υπολογιστής ETCS οχήματος υπολογίζει την απόσταση που θα χρειαστεί για την επιβράδυνση ή ακινητοποίηση του συρμού από τη στιγμή που θα δοθεί εντολή διενέργειας της πέδης έκτακτης ανάγκης. Για τον υπολογισμό της απόστασης αυτής λαμβάνεται υπόψη τόσο ο χρόνος που χρειάζεται για την πλήρη ανάπτυξη της πέδησης, όσο και το σφάλμα ακρίβειας στην εκτίμηση της τρέχουσας ταχύτητας.

Η απόσταση αυτή προσδιορίζει την θέση EBI(emergency brake intervention), στην οποία το σύστημα αναλαμβάνει τον έλεγχο του συρμού.

Εκτός αυτού, το σύστημα παρέχει στον μηχανοδηγό πληροφορίες για ομαλή οδήγηση, εντός των δοσμένων ορίων. Για αυτόν το λόγο, υπολογίζει:

- θέση ένδειξης I (Indikation), από την οποία παρέχεται χρόνος στον μηχανοδηγό να επιβραδύνει τον συρμό ώστε να μην υπερβεί την όλο και μειούμενη επιτρεπόμενη ταχύτητα,
- το όριο επιτρεπόμενης ταχύτητας P (permitted speed),σε περίπτωση υπέρβασης της δίνεται επιπλέον χρόνος στον μηχανοδηγό να επιβραδύνει πριν το σύστημα ενεργοποιήσει την πέδη έκτακτης ανάγκης

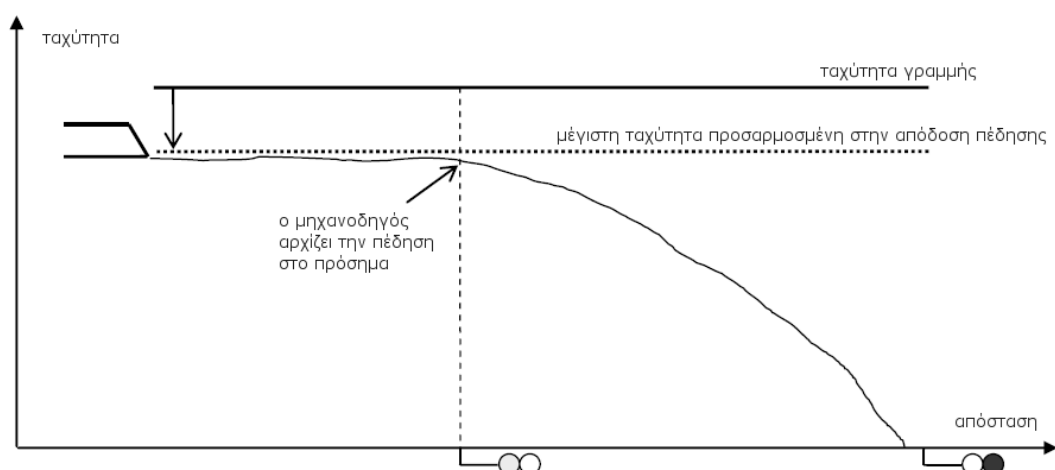
- το όριο προειδοποίησης W (warning), στο σημείο αυτό το σύστημα ειδοποιεί ηχητικά τον μηχανοδηγό για την διενέργεια της πέδης έκτακτης ανάγκης, και
- θέση SBI (service brake intervention), το όριο αυτό λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που χρειάζεται για την πλήρη ανάπτυξη της πέδης, ώστε να μην υπερβεί ο συρμός την θέση EBI χωρίς να έχει αναπτύξει πλήρη ισχύ πέδησης.



Διάγραμμα 6.3 Καμπύλη EBD και όρια επίβλεψης [ERA 2012]

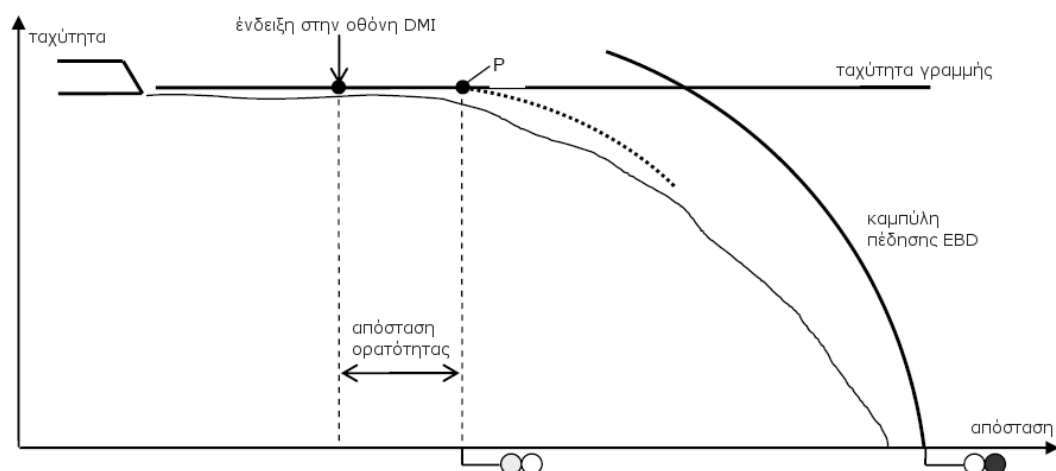
6.3.1.4 Διαφορές στην λειτουργία σηματοδότησης καμπίνας – συμβατικής σηματοδότησης

Η συμβατική σηματοδότηση λειτουργεί βάση των ενδείξεων των φωτοσημάτων, τα οποία είναι τοποθετημένα σε σταθερές θέσεις. Επομένως, με βάση την θέση των φωτοσημάτων, είναι δεδομένη και η θέση στην οποία ο συρμός πρέπει να αρχίσει να επιβραδύνει. Στην περίπτωση μεικτής κυκλοφορίας της γραμμής, η θέση του προσήματος δεν αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά όλων των ομάδων συρμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, συρμοί με καλύτερα χαρακτηριστικά πέδησης να αρχίζουν την πέδηση νωρίτερα από ότι θα απαιτείτο ενώ συρμοί με μικρότερη απόδοση πέδησης να κινούνται συνολικά στη γραμμή με μικρότερη επιτρεπόμενη ταχύτητα από την ταχύτητα γραμμής.

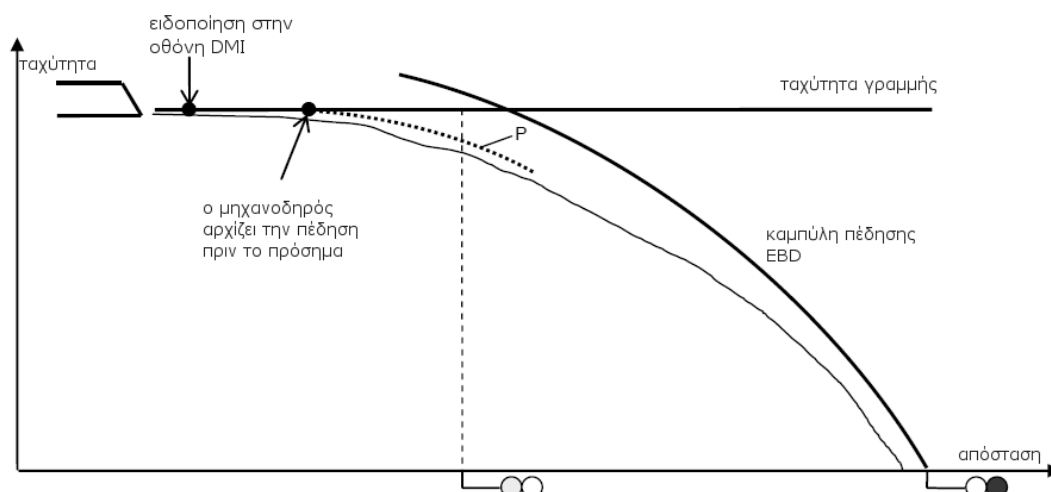


Διάγραμμα 6.4 Πέδηση σε συμβατική πλευρική σηματοδότηση – συρμός με μικρότερη απόδοση πέδησης [ERA 2012]

Με την χρήση εξοπλισμού σηματοδότησης καμπίνας οδήγησης είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης στην οποία ο συρμός πρέπει να αρχίσει την επιβράδυνση του ανάλογα με τα χαρακτηριστικά πέδησης του εκάστοτε συρμού, ενώ δεν απαιτείται περιορισμός ταχύτητας. Τέτοια περίπτωση αποτελεί και η χρήση του εξοπλισμού cab signaling του ETCS επιπέδου 2 και 3.

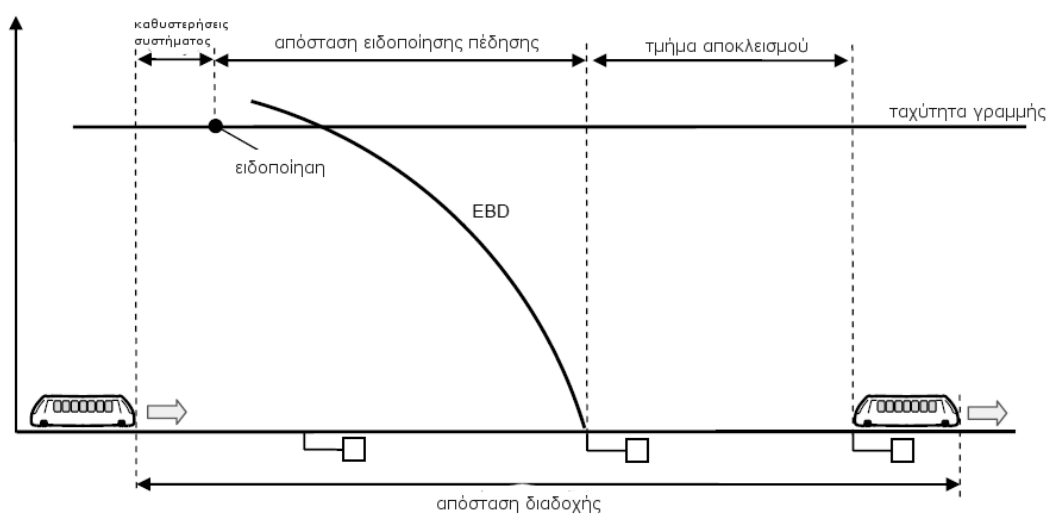


Διάγραμμα 6.5 Καμπύλη πέδησης σε συμβατική πλευρική σηματοδότηση [ERA 2012]



Διάγραμμα 6.6 Πέδηση σε σηματοδότηση καμπίνας οδήγησης [ERA 2012]

Η απόσταση διαδοχής μπορεί να προσδιοριστεί είτε ως ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών συρμών, είτε ως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συρμών που τους εξασφαλίζει κίνηση με ασφάλεια, στην επιθυμητή ταχύτητα και χωρίς εμπόδια.



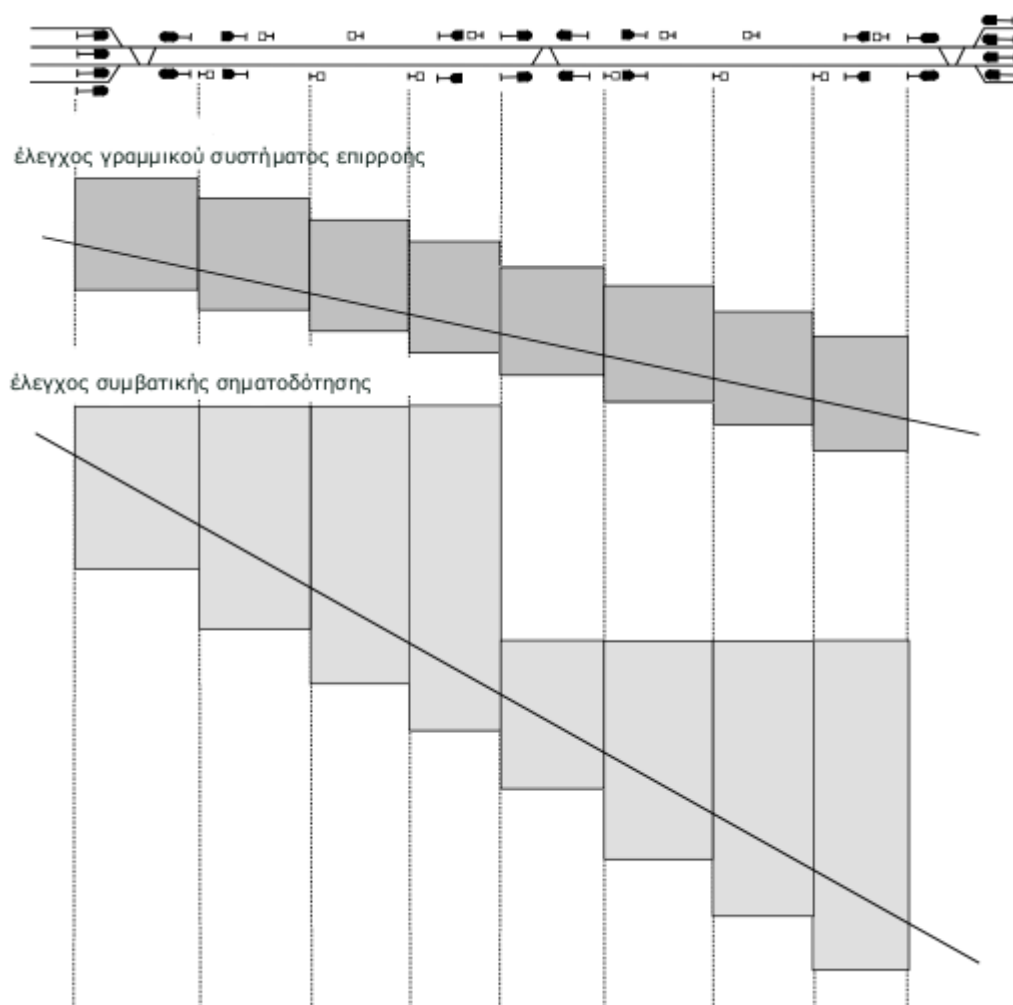
Σχήμα 6.11 Συμβολή της καμπύλης πέδησης ETCS στην απόσταση διαδοχής [ERA 2012]

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.11, τη στιγμή που ο προπορευόμενος συρμός απελευθερώσει το τμήμα αποκλεισμού, το σύστημα στέλνει στον ETCS εξοπλισμό οχήματος του δεύτερου συρμού νέα άδεια πορείας που περιλαμβάνει και το ελευθερωμένο τμήμα.

6.3.2 Χρόνος διαδοχής σε γραμμή με ταυτόχρονη κυκλοφορία συρμών με σημειακό και γραμμικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας

Σε μία γραμμή εξοπλισμένη τόσο με σημειακό όσο και με γραμμικό σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας συρμών είναι εγκατεστημένη πλευρική σηματοδότηση για την τμηματοποίηση της γραμμής σε τμήματα αποκλεισμού. Τα τμήματα αποκλεισμού του γραμμικού συστήματος έχουν μικρότερο μήκος και σημειώνονται με τις αντίστοιχες πινακίδες (δεν καθορίζονται από φωτοσήματα).

Ένας συρμός εξοπλισμένος με σημειακό σύστημα (π.χ. PZB 90 ή ETCS επίπεδο 1) κινείται με βάση την συμβατική σηματοδότηση. Αντίστοιχα ένας συρμός εξοπλισμένος με γραμμικό σύστημα, όπως το LZB, κινείται με βάση την σηματοδότηση καμπίνας χωρίς να λαμβάνει υπόψη του τις ενδείξεις των φωτοσημάτων που μπορεί να είναι και αντίθετες προς την κίνησή του (συχνά τα φωτοσήματα σβήνουν κατά την κίνηση συρμού που ελέγχεται από γραμμικό σύστημα για ψυχολογικούς λόγους).

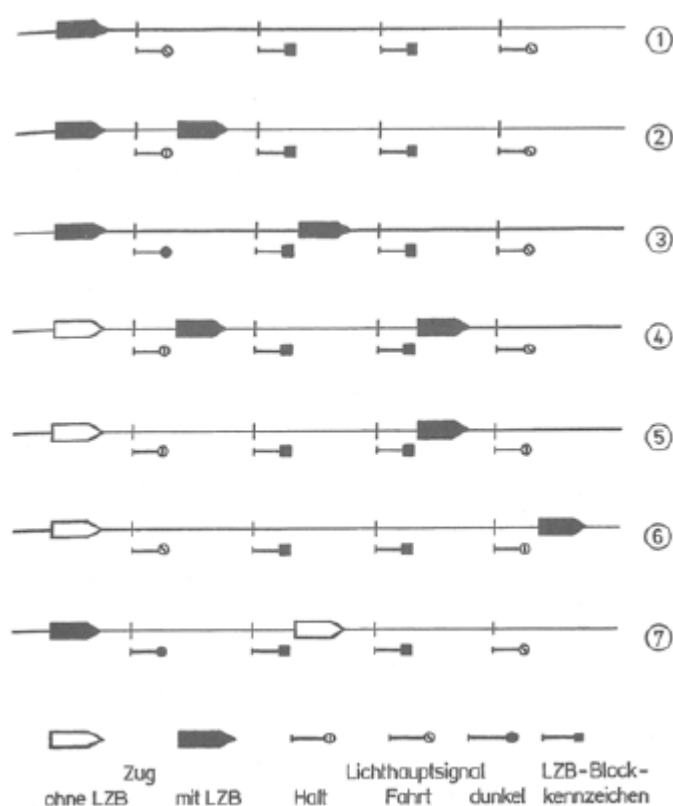


Σχήμα 6.12 Γραφική απεικόνιση χρόνων κατάληψης σε γραμμή εξοπλισμένη με σημειακό και γραμμικό σύστημα επιρροής συρμού [Pachl 2008]

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.12 τα τμήματα αποκλεισμού του γραμμικού συστήματος ελευθερώνονται μετά την διέλευση του συρμού. Παρόλα αυτά ένας συρμός εξοπλισμένος με σημειακό σύστημα δεν μπορεί να διέλθει στο τμήμα αυτό της γραμμής παρά μόνο όταν ελευθερωθεί το συμβατικό τμήμα αποκλεισμού.

Αυτό επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο διαδοχής μεταξύ δύο συρμών ελεγχόμενων από διαφορετικού τύπου συστήματα, και κατ'επέκταση την χωρητικότητα της γραμμής.

Στο παρακάτω Σχήμα 6.13 γίνεται αντιληπτή αυτή η επιρροή, καθώς περιγράφεται η δυνατότητα διαδοχής των συρμών σε μία γραμμή εξοπλισμένη και με τους δύο τύπους συστημάτων.



Σχήμα 6.13 Διαδοχή συρμών ελεγχόμενων από γραμμικό και σημειακό σύστημα επιρροής συρμού
[Pachl 2008]

7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΧΡΟΝΟΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

7.1 Περιγραφή διάταξης

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν συρμοί τύπου Desiro 460 5-Car EMU του ΟΣΕ¹ με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Πέδηση : 200% R+Mg²
- Μήκος συρμού: 89 m
- Βάρος συρμού: 185 t
- Μέγιστη ταχύτητα: 160 km/h
- Ονομαστική ισχύς: 3000kW

Οι υπολογισμοί έγιναν σε τμήμα ελεύθερης γραμμής μήκους 24 km , εξοπλισμένο με συμβατική σηματοδότηση με τμήματα αποκλεισμού 3 km. Η απόσταση προσήματος – κυρίου σήματος λήφθηκε 1000 m και η απόσταση σημείου ορατότητας – προσήματος 500 m (σύμφωνα με την οδηγία UIC 405-1 για ταχύτητες άνω των 80 km/h).

Το τμήμα γραμμής θεωρείται σε ευθυγραμμία με μηδενική κατά μήκος κλίση.

7.2 Σενάριο 1: Η γραμμή είναι εξοπλισμένη τόσο με σύστημα PZB όσο και με ETCS επίπεδο 1.

Για το σύστημα PZB: μαγνήτες γραμμής 1000 Hz είναι τοποθετημένοι στις θέσεις των προσημάτων, μαγνήτες γραμμής 500 Hz σε απόσταση 250 m από το κύριο σήμα και μαγνήτες γραμμής 2000 Hz στις θέσεις των κύριων σημάτων.

¹ Οι συρμοί αυτοί εκτελούν προαστιακά δρομολόγια στα τμήματα Κιάτο – Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών και Θεσσαλονίκη – Λάρισα.

² Κατά την UIC και την DB: R (Rapid Bremsstellung) +Mg (Magnetischebremse): γρήγορη και πολύ ισχυρή πέδηση. Χρόνοι πλήρους πέδησης/ελευθέρωσης: 3-5 sec/ 10-20sec

Για το σύστημα ETCS επίπεδο 1: Balise group είναι τοποθετημένα στις θέσεις των μαγνητών (ένα στην θέση του προσήματος και ένα πλήρωσης σε απόσταση 250 m από το κύριο σήμα). Επίσης Balise group είναι τοποθετημένο 500 m πριν το πρόσημα. Η επιλογή της θέσης αυτής για το Balise group έγινε με βάση το σημείο IP από την καμπύλη πέδησης που προέκυψε με χρήση του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0 που παρέχεται από το ERA (European Railway Agency).



Σχήμα 7.1 Διάταξη εξοπλισμού γραμμής - σενάριο 1

Υπολογίστηκε η ελάχιστη χρονοαπόσταση μεταξύ δύο συρμών εξοπλισμένων με σύστημα PZB 90 (τάξης 'Ο' : επιβατικοί συρμοί) και ενός συρμού PZB 90 ακολουθούμενου από συρμό εξοπλισμένο με ETCS επίπεδο 1.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης χρονοαπόστασης υπολογίστηκαν οι χρόνοι κατάληψης για κάθε συρμό ανάλογα με το σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας (Σχήμα I.1 και I.2, Παράρτημα I) και σχεδιάστηκε το γραφικό δρομολόγιο. Στη συνέχεια έγινε μετατόπιση των διαδρομών προς τα επάνω ώστε να εφάπτονται (Σχήμα I.3 και I.4, Παράρτημα I) και υπολογίστηκε η ελάχιστη χρονοαπόσταση.

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα σεναρίου 1

	Ελάχιστη χρονοαπόσταση (sec)
PZB 90 – PZB 90	115,3
PZB 90 – ETCS επίπεδο 1	117,0

Στην περίπτωση του σεναρίου 1, που αφορά στην σύγκριση των σημειακών συστημάτων PZB 90 και ETCS επίπεδο 1, ιδιαίτερο ενδιαφέρον αποτελεί και η περίπτωση ελευθέρωσης ενός τμήματος αποκλεισμού ενώ ο συρμός που ακολουθεί βρίσκεται στην διαδικασία πέδησης. Στην περίπτωση αυτή τα δύο συστήματα αντιδρούν διαφορετικά όπως έχει ήδη περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια.

Η διαφορά αντίδρασης των συστημάτων στην περίπτωση αυτή έχει αναλυθεί και στη βιβλιογραφία [Lympers 2006]. Συγκεκριμένα υπολογίζεται με χρήση προγράμματος προσομοίωσης, ο χρόνος διαδοχής, σε ένα αντίστοιχο τμήμα γραμμής με αυτό της εφαρμογής, όταν αλλάζει η ένδειξη του κύριου σήματος 100 m πριν και 100 m μετά τον μαγνήτη γραμμής 500 Hz και το Balise group πλήρωσης.

Μελετάται επίσης για το ETCS επίπεδο 1 και η περίπτωση πλήρωσης με Euroloop στο τμήμα μεταξύ του προσήματος και του κύριου σήματος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς την σύγκριση των δύο συστημάτων και για τον λόγο αυτόν παρατίθενται στο Παράρτημα III .

7.2.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων σεναρίου 1

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης χρονοαπόστασης συρμών ελεγχόμενων από σημειακά συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού όπως τα PZB 90 και ETCS επίπεδο 1, λαμβάνεται υπόψη το δυσμενέστερο μήκος πέδησης (ανάλογα με την σύνθεση της κυκλοφορίας). Για το σύστημα PZB 90 από την θέση του προσήματος και για το ETCS επίπεδο 1 από την θέση του Balise group πλήρωσης, που τοποθετείται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην θέση IP όπως αυτή υπολογίζεται από τον υπολογιστή του οχήματος (εδώ με χρήση του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0, Παράρτημα II).

Οι ελάχιστες χρονοαποστάσεις προκύπτουν όταν τα γραφικά δρομολόγια των συρμών εφάπτονται. Αυτό δηλώνει ότι ο χρόνος κατάληψης του συρμού που ακολουθεί αρχίζει ακριβώς στο πέρας του χρόνου κατάληψης του προπορευόμενου συρμού, δηλαδή ο δεύτερος συρμός βρίσκεται στο σημείο ορατότητας/ στη θέση του Balise group αφού ο προπορευόμενος συρμός έχει απελευθερώσει το τμήμα αποκλεισμού και έχει σχηματιστεί η καινούρια διαδρομή.

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ελάχιστη χρονοαπόσταση 115,3 sec για το PZB90 και 117 sec για το ETCS επίπεδο 1. Η διαφορά επομένως που προκύπτει μεταξύ των δύο συστημάτων είναι της τάξης του 1,5%. Η μικρή αυτή διαφορά ενδεχομένως να οφείλεται στις παραδοχές της εφαρμογής.

Λαμβάνοντας υπόψη και την σύγκριση της αντίδρασης των δύο συστημάτων στην περίπτωση που περιγράφεται και παραπάνω, συμπεραίνεται ότι στην επίδοση του ETCS επιπέδου 1, επιδρά σημαντικά η θέση και το είδος του εξοπλισμού πλήρωσης. Η συνεχής παρακολούθηση της ταχύτητας που παρέχει το ETCS μπορεί να γίνει περιοριστική σε σχέση με τον έλεγχο ταχύτητας που παρέχει το PZB90. Η ύπαρξη όμως εξοπλισμού πλήρωσης (όπως Euroloop), που προσδίδει ημισυνεχή λειτουργία, παρέχει έγκαιρη ανανέωση της άδειας πορείας μειώνοντας έτσι το χρόνο διαδοχής, βελτιώνοντας κατ' επέκταση την χωρητικότητα της γραμμής.

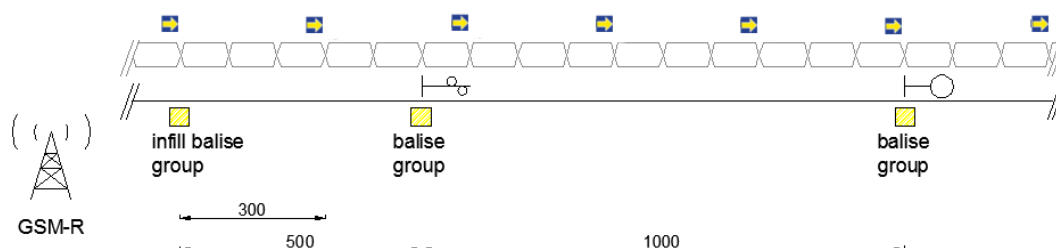
Σημείωση: τα αποτελέσματα των ελάχιστων χρονοαποστάσεων της παρούσας εφαρμογής και την εφαρμογής [Lympers 2006] δεν είναι απολύτως συγκρίσιμα καθώς αναφέρονται σε διαφορετική διάταξη γραμμής.

7.3 Σενάριο 2: Η γραμμή είναι εξοπλισμένη τόσο με σύστημα LZB όσο και με ETCS επίπεδο 2.

Παράλληλα με την συμβατική πλευρική σηματοδότηση,

για το σύστημα LZB: καλώδιο LZB χωρίζει την γραμμή σε τμήματα LZB – block 300 m με τις αντίστοιχες πινακίδες.

για το σύστημα ETCS επίπεδο 2: GSM-R data radio για την μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ συρμού – γραμμής. Τμηματοποίηση της γραμμής με τμήματα αποκλεισμού 300 m χωρίς φωτοσήματα, με ETCS block markers.



Σχήμα 7.2 Διάταξη εξοπλισμού γραμμής - σενάριο 2

Υπολογίστηκε η ελάχιστη χρονοαπόσταση μεταξύ προπορευόμενου συρμού που κινείται με βάση την συμβατική σηματοδότηση και συρμού εξοπλισμένου με LZB/ETCS επίπεδο 2.

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης χρονοαπόστασης υπολογίστηκαν οι χρόνοι κατάληψης για κάθε συρμό ανάλογα με το σύστημα ελέγχου κυκλοφορίας (Σχήμα I.5 και I.6, Παράρτημα I) και σχεδιάστηκε το γραφικό δρομολόγιο.

Για τον υπολογισμό των χρόνων κατάληψης λήφθηκε υπόψη το μήκος πέδησης του εκάστοτε συρμού. Ειδικότερα για τον συρμό LZB υπολογίστηκε το μήκος πέδησης με βάση την επιβράδυνση λειτουργικής πέδησης όπως αυτή δίνεται στο [ΟΣΕ]. Επίσης λήφθηκε υπόψη και ο χρόνος πλήρους ανάπτυξης πέδησης (4 sec για πέδηση τύπου R+Mg). Για τον συρμό ETCS επίπεδο 2, η καμπύλη πέδησης υπολογίστηκε με χρήση του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0 που παρέχεται από το ERA (European Railway Agency). Ως έναρξη του χρόνου κατάληψης στην περίπτωση του ETCS επιπέδου 2, (αν εξαιρεθεί ο χρόνος σχηματισμού διαδρομής) λαμβάνεται το σημείο IP, δηλαδή το σημείο στο οποίο ο μηχανοδηγός ενημερώνεται για την επικείμενη πέδηση, και όχι η έναρξη της καμπύλης πέδησης. Οι υπολογισμοί παρατίθενται αναλυτικά στο Παράρτημα II.

Στη συνέχεια έγινε μετατόπιση των διαδρομών προς τα επάνω ώστε να εφάπτονται (Σχήμα I.7 και I.8, Παράρτημα I) και υπολογίστηκε ο χρόνος διαδοχής.

Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα σεναρίου 2

	Ελάχιστη χρονοαπόσταση (sec)
Συμβατικός συρμός – LZB	56,5
Συμβατικός συρμός – ETCS επίπεδο 2	59,2

7.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων σεναρίου 2

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης χρονοαπόστασης συρμών ελεγχόμενων από γραμμικά συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας συρμού όπως τα LZB 80 και ETCS επίπεδο 2, λαμβάνεται υπόψη το μήκος πέδησης του εκάστοτε συρμού.

Για τον υπολογισμό του μήκους πέδησης του συρμού LZB 80 χαράχθηκε η καμπύλη οφειλόμενης ταχύτητας (Διάγραμμα II.1, Παράρτημα II), όπως αυτή θα δηλώνεται μέσω της οθόνης καμπίνας οδήγησης στον μηχανοδηγό. Το μήκος πέδησης προέκυψε $s_B = 1452,43\text{m}$.

Για τον υπολογισμό του μήκους πέδησης του συρμού ETCS επιπέδου 2 έγινε χρήση του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0 (παράγραφος II.2, Παράρτημα II). Το μήκος πέδηση επιτρεπόμενης ταχύτητας προέκυψε $s_B = 1313,14\text{ m}$. Μικρότερο κατά 140 m περίπου από αυτό που προέκυψε από την καμπύλη πέδησης του LZB 80. Για τον χρόνο κατάληψης όμως λαμβάνεται υπόψη το σημείο ειδοποίησης IP, το οποίο προκύπτει σε απόσταση $s_{IP} = 1547,81\text{ m}$ πριν το πέρας της άδειας πορείας.

Ο υπολογιστής ETCS υπολογίζει καμπύλες πέδησης για τα διάφορα όρια επίβλεψης που παρέχει, όπως έχει περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια, δίνοντας τον αντίστοιχο χρόνο αντίδρασης στον μηχανοδηγό πριν την εφαρμογή της πέδης έκτακτης ανάγκης. Αυτό εξασφαλίζει όσο το δυνατόν ομαλότερη πέδηση και την μικρότερη επίπτωση από άποψης φθοράς στα συστήματα πέδησης του συρμού.

Η ελάχιστη χρονοαπόσταση υπολογιστική 56,5 sec και 59,2 sec για τα συστήματα LZB 80 και ETCS επίπεδο 2 αντίστοιχα. Η διαφορά που προκύπτει θεωρείται μικρή και μπορεί να οφείλεται στις παραδοχές της εφαρμογής και του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0. Επομένως δεν θεωρείται ότι το σύστημα ETCS επίπεδο 2 υπερτερεί σε σχέση με το LZB 80, όσον αφορά στην ελάχιστη χρονοαπόσταση. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι το ETCS παρέχει καταστάσεις λειτουργίας, όπως αυτές έχουν αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, που συνεισφέρουν στην βελτίωση της χωρητικότητας από την άποψη της διαχείρισης της κυκλοφορίας που δεν μπορούν να αποτυπωθούν στην παρούσα εφαρμογή.

7.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων σεναρίων 1 και 2

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων καταλήγουμε στο αναμενόμενο από την ανάλυση συμπέρασμα της σημαντικής μείωσης της ελάχιστης χρονοαπόστασης και επομένως αύξησης της χωρητικότητας με εγκατάσταση γραμμικού έναντι σημειακού συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας συρμού.

Πίνακας 7.3 Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων εφαρμογής

Σύστημα ελέγχου		Ελάχιστη χρονοαπόσταση (sec)
Σημειακά συστήματα	PZB 90	115,3
	ETCS επίπεδο 1	117,0
Γραμμικά συστήματα	LZB	56,5
	ETCS επίπεδο 2	59,2

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε η ανάλυση της λειτουργίας των προς αντικατάσταση εθνικών συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού PZB και LZB των Γερμανικών Σιδηροδρόμων, καθώς και του διευρωπαϊκού συστήματος ETCS επιπέδου εφαρμογής 1, 2 και 3. Στην προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής των συστημάτων αυτών στη χωρητικότητα της γραμμής, αναπτύχθηκε για το κάθε σύστημα το μοντέλο χρόνου κατάληψης τμήματος αποκλεισμού.

Η ανάπτυξη του μοντέλου χρόνου κατάληψης για το κάθε σύστημα οδήγησε στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η επιρροή των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού και των συστημάτων ασφαλείας και αποκλεισμού στην χωρητικότητα της γραμμής εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στην έναρξη του χρόνου κατάληψης και στην ελευθέρωση του τμήματος αποκλεισμού και κατ' επέκταση στην ελάχιστη χρονοαπόσταση.
- Η έναρξη του χρόνου κατάληψης εξαρτάται από την θέση και το μέσο μετάδοσης της παράτασης της άδειας πορείας από το υποσύστημα της γραμμής στο υποσύστημα του συρμού.

Συγκεκριμένα στα σημειακά συστήματα ελέγχου επιρροής συρμού (PZB και ETCS επιπέδου 1) η άδεια πορείας παρέχεται στον συρμό σε σταθερό σημείο (θέση ορατότητας/ θέση Balise group αντίστοιχα). Στα γραμμικά συστήματα ελέγχου επιρροής συρμού (LZB και ETCS επιπέδου 2), καθώς και στο ETCS επίπεδο 3 (που λειτουργεί στη βάση κινούμενου τμήματος αποκλεισμού), η επικοινωνία μεταξύ υποσυστήματος συρμού και γραμμής είναι συνεχής και επομένως η άδεια πορείας ανανεώνεται ανάλογα με την καμπύλη πέδησης του εκάστοτε συρμού.

- Τα τμήματα του χρόνου κατάληψης ανά σύστημα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4.

Με βάση την εφαρμογή υπολογισμού ελάχιστης χρονοαπόστασης για την σύγκριση των προαναφερθέντων συστημάτων (Κεφάλαιο 7), σε συνδυασμό με την ανάλυση της λειτουργίας των συστημάτων αυτών (Κεφάλαια 2,3 και 4), μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Δεν παρατηρείται βελτίωση, από άποψη μείωσης της ελάχιστης χρονοαπόστασης, με την εγκατάσταση του συστήματος ETCS επιπέδου 1 και 2 έναντι των συστημάτων PZB και LZB αντίστοιχα.
- Σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος ETCS επιπέδου 1 ως προς την χωρητικότητα της γραμμής παίζει η ύπαρξη εξοπλισμού πλήρωσης. Η επιλογή της θέσης και του είδους (Balise group, Euroloop, Radio In-fill Units) του εξοπλισμού πλήρωσης είναι σημαντική για την βελτίωση της λειτουργίας του.
- Το ETCS παρέχει καταστάσεις λειτουργίας, σε αντίθεση με τα PZB και LZB, όπως αυτές έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο 4, που συνεισφέρουν στην ομαλοποίηση της κυκλοφορίας σε περίπτωση δυσλειτουργίας, και κατ'επέκταση στην βελτίωση της χωρητικότητας από την άποψη της διαχείρισης της κυκλοφορίας, κάτι που δεν μπορεί να αποτυπωθεί στην παρούσα εφαρμογή.
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο υποθέσεων της εφαρμογής καταλήγουμε στο συμπέρασμα της σημαντικής μείωσης της ελάχιστης χρονοαπόστασης και επομένως αύξησης της χωρητικότητας με εγκατάσταση γραμμικού έναντι σημειακού συστήματος ελέγχου κυκλοφορίας συρμού.

8.2 Προτάσεις για περεταίρω έρευνα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε εφαρμογή υπολογισμού ελάχιστης χρονοαπόστασης, για την σύγκριση των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού, σε ένα θεωρητικό τμήμα γραμμής, με χρήση αναλυτικών υπολογισμών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για περεταίρω έρευνα θα είχε η σύγκριση των συστημάτων αυτών μέσω προγράμματος προσομοίωσης σε ένα υπάρχον τμήμα γραμμής με το αντίστοιχο δρομολόγιο. Στην περίπτωση αυτή θα είχε νόημα και ο υπολογισμός της κατανάλωσης της χωρητικότητας, όπως αυτός περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5, για την σύγκριση της απόδοσης των συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας συρμού.

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε μία μελέτη πάνω στην διαχείριση των δυσλειτουργιών και των καθυστερήσεων από το σύστημα ETCS, στο πώς το σύστημα αυτό συμβάλει στην ομαλοποίηση της κυκλοφορίας και με αυτόν τον τρόπο στην βελτίωση της κατανάλωσης της χωρητικότητας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bahn Praxis 9.2004 –EUK BD

Buri Jean-Daniel EPFL-LIEP, Panos Tzieropoulos EPFL-LITEP – *Increasing line capacity with constant infrastructure*, STRC- 9th Swiss Transport Research Conference, Monte Verita /Ascona, 9.-11.2009

DB Netz AG - 483.0101: Zugbeeinflussung (PZB LZB ZBS) - *Punktförmige Zugbeeinflussungsanlagen bedienen*, allgemeiner Teil, gültig ab 10.06.2012

DB Netz AG - 483.0111: Zugbeeinflussung (PZB LZB ZBS) - *Punktförmige Zugbeeinflussungsanlagen bedienen*, gültig ab 10.06.2012

DB Netz AG - 483.0113: Bahnbetrieb - *Punktförmige Zugbeeinflussungsanlagen bedienen auf Fahrzeugen mit LZB* -Einrichtungen, gültig ab 15.04.2009

DB Netz AG - 483.0201: Bahnbetrieb - *Linienförmige Zugbeeinflussungsanlagen bedienen* - Allgemeiner Teil, gültig ab 15.04.2009

DB Netz AG - 483.0202: Bahnbetrieb - *Linienförmige Zugbeeinflussungsanlagen bedienen* - LZB 80 - Fahrzeugeinrichtungen, gültig ab 15.04.2009

Emery Daniel – *Reducing the headway on high-speed lines*, Conference paper STRC 2009, Monte Verita/ Ascona, September 2009

European Commission – Mobility and Transport
<http://ec.europa.eu/transport/modes/rail> , τελευταία επίσκεψη 03.2013

European Commission, Directive 96/48/EC, *Interoperability of the trans-European high speed rail system, Draft Technical Specification for Interoperability*, Part 3, annexes to the TSI, "Control-Command and Signalling" Sub-System, 19.05.2006

European Rail Traffic Management System
<http://www.ertms.net/> , τελευταία επίσκεψη 03.2013

European Railway Agency ERTMS unit – *ETCS Driver machine Interface*, version 2.3, 14.04.2009

European Railway Agency ERTMS UNIT: *Introduction to ETCS braking curves* v. 1.2, 2012

European Railway Agency, *Baseline 2 requirements for early implementation of braking curves functionality*, Version 1.0, 2011

Gralla Dietmar – *Eisenbahnbremstechnik*, Werner Verlag, Düsseldorf 1999

Hausmann Anita, Steinbügl Josef – *Grundlagen des Bahnbetriebs* – DB Fachbuch 4/10, Eisenbahn-Fachverlag, Mainz 2000

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

International Union of Railways UIC – Verkehrswissenschaftliches Institut, *Influence of ETCS on the line capacity*, 2008

Kaas A.H., Schittenheim B.– *Evaluation of railway capacity*, J.Schneider-Tilli - Annual Transport Conference at Aalborg University 2006

Lymperis K. - *Estimation of minimum headway on a section of line equipped with ERTMS/ETCS and lineside signaling*, Athens 2006

Magnarini Monika – *Evaluation of ETCS on railway Capacity in congested areas*, Division of Transportation and Logistics, KTH Railway Group, Stockholm 2010

McNaughton Andrew – *Signalling Headways and Maximum Operational Capacity on High Speed Two London to West Midlands Route*, Version 3.1. October 2011

Pachl Jörn – *Railway Operation and Control*, VTD Rail Publishing 2002

Pachl Jörn – *Systemtechnik des Schienenverkehrs*, Vieweg Teubner 2008

Pachl Jörn, Lindner Tobias - *Recommendations for Enhancing UIC Code 406 Method to Evaluate Railroad Infrastructure Capacity*, Technical University Braunschweig, Institute of Railway Systems Engineering and Traffic Safety 2010

Railway Group Guidance Note: GE/GN8605 *ETCS System Description*, Issue one: February 2010

Siemens

<http://www.mobility.siemens.com> , τελευταία επίσκεψη 03.2013

Smiderkal Roland - *Austro-Swiss Railway Signalling*

<http://xover.mud.at/~invisible/mirror/sig/asr/desigazspzb.html#S4> , τελευταία επίσκεψη 03.2013

TU Berlin Vorlesungen - Bahnbetrieb SOSE 2011

UIC – *Influence of ETCS on line capacity Generic study*, Paris 2008

UIC – *Influence of ETCS on the capacity of nodes*, version 1.1 , VIA Consulting & Development, May 2010

UIC CODE 406 1st Edition, Capacity, September 2004

UIC CODE 544-I – *Bremse – Bremsleistung*, 4. Ausgabe, Mai 2004

Wegener Marco – *Informationen und Diskussionsbeiträge zum Schienenverkehr*

www.indusi.de , τελευταία επίσκεψη 03.2013

Winter Peter – *ETCS expanding in- and outside of Europe*, CAETS/SATW Conference Zurich, August 2012

Winter Peter – *Implementing the European Train Control System ETCS Opportunities for European Rail Corridors* – UIC ERTMS Conference Leipzig December 2003

Αμπακούμκιν Κ., Λυμπέρης Κ. - *Ειδικά θέματα σιδηροδρομικής* – ΕΜΠ, Αθήνα 2001

Λυμπέρης Κωνσταντίνος – *Συμβολή σε ένα νέο σύστημα τμηματοποίησης αποκλεισμού ελεύθερης σιδηροδρομικής γραμμής και βελτιστοποίηση χωρητικότητας*, ΕΜΠ, Αθήνα, Μάιος 1998

ΟΣΕ, Προγραμματική συμφωνία N33α για την αγορά συρμών Desiro

Πυργίδης Χρήστος – *Σχεδιασμός και κατασκευή σιδηροδρομικής υποδομής*, ΑΠΘ 2006

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παράρτημα Ι

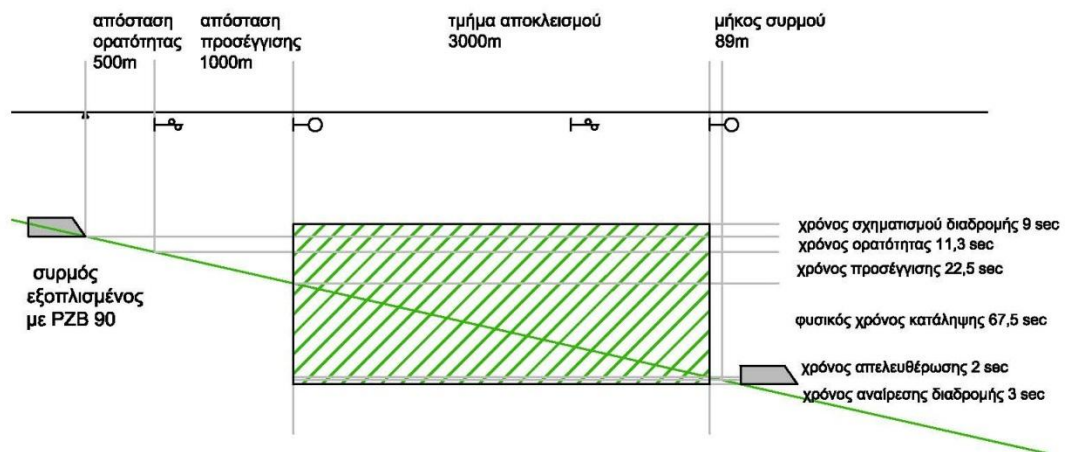
Χρόνοι κατάληψης – γραφικό δρομολόγιο

Ι.1 Υπόθεση εφαρμογής 1

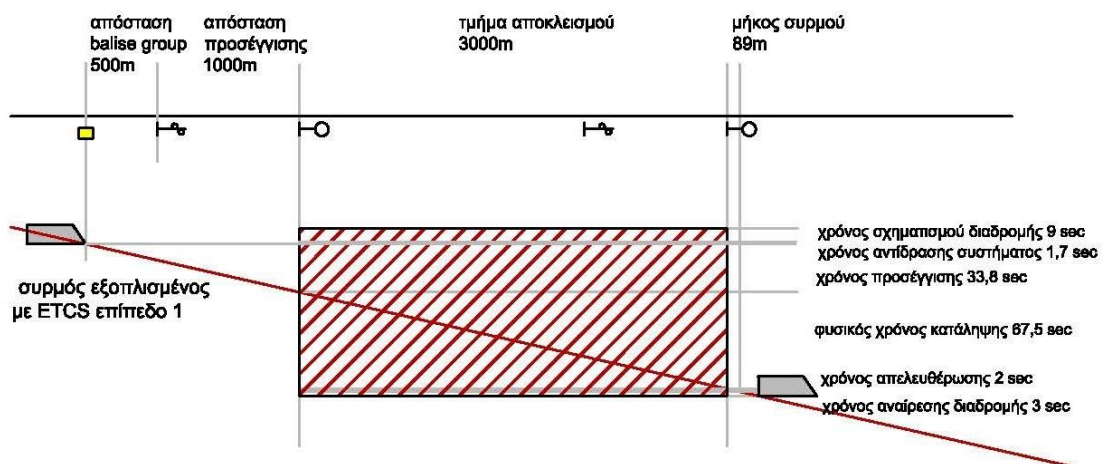
Χρόνοι κατάληψης τμήματος αποκλεισμού 3000 m:

Πίνακας Ι.0.1 Χρόνοι κατάληψης- υπόθεση εφαρμογής 1

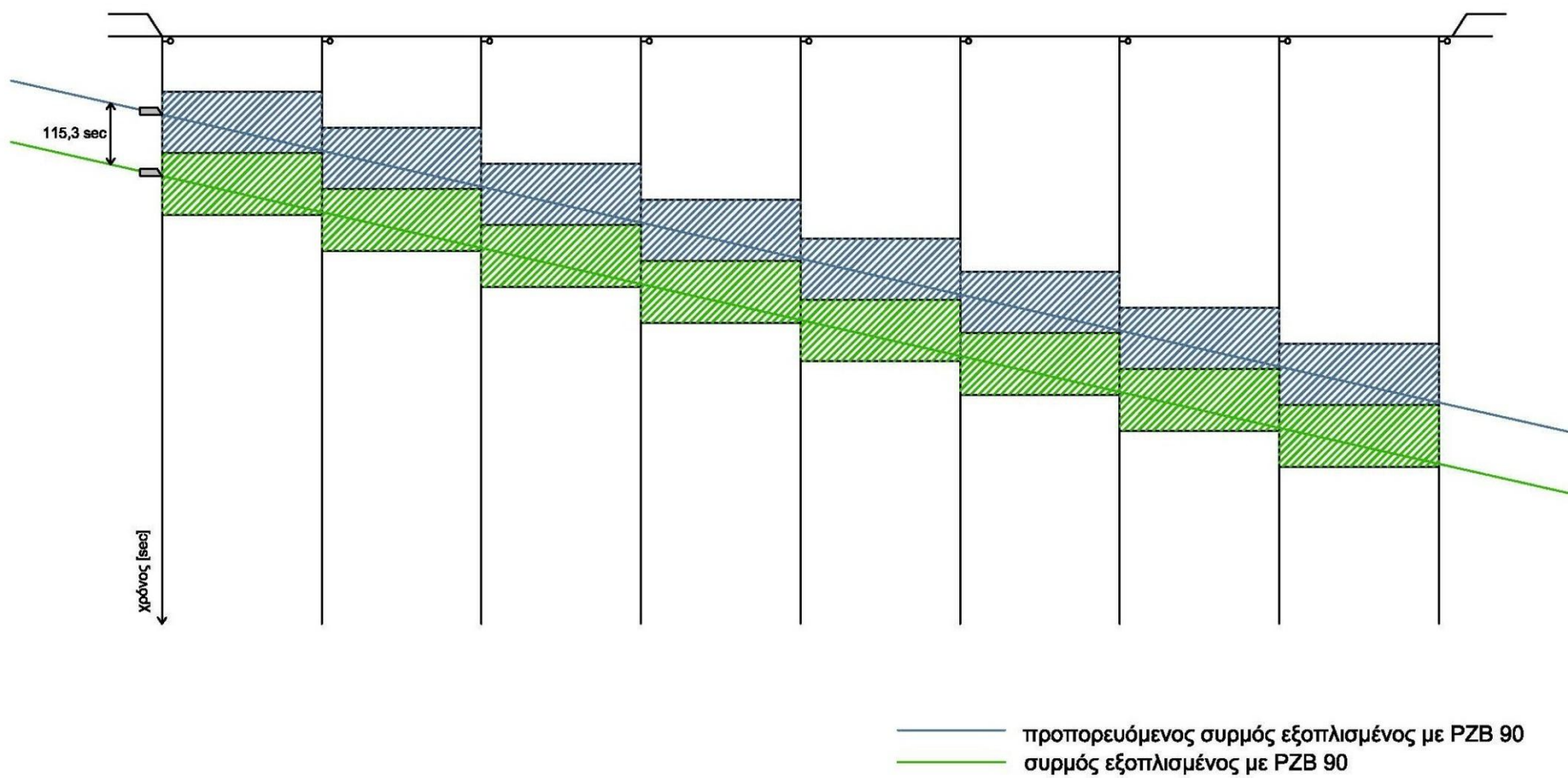
	PZB 90 (sec)	ETCS Level 1 (sec)
Χρόνος σχηματισμού διαδρομής	9	9
Χρόνος ορατότητας	11,3	1,7
Χρόνος προσέγγισης	22,5	33,8
Καθαρός χρόνος κατάληψης	67,5	67,5
χρόνος διέλευσης μήκους συρμού	2	2
Χρόνος ελευθέρωσης διαδρομής	3	3
Συνολικός χρόνος κατάληψης	115,3	117



Σχήμα Ι. 1 Χρόνος κατάληψης PZB 90

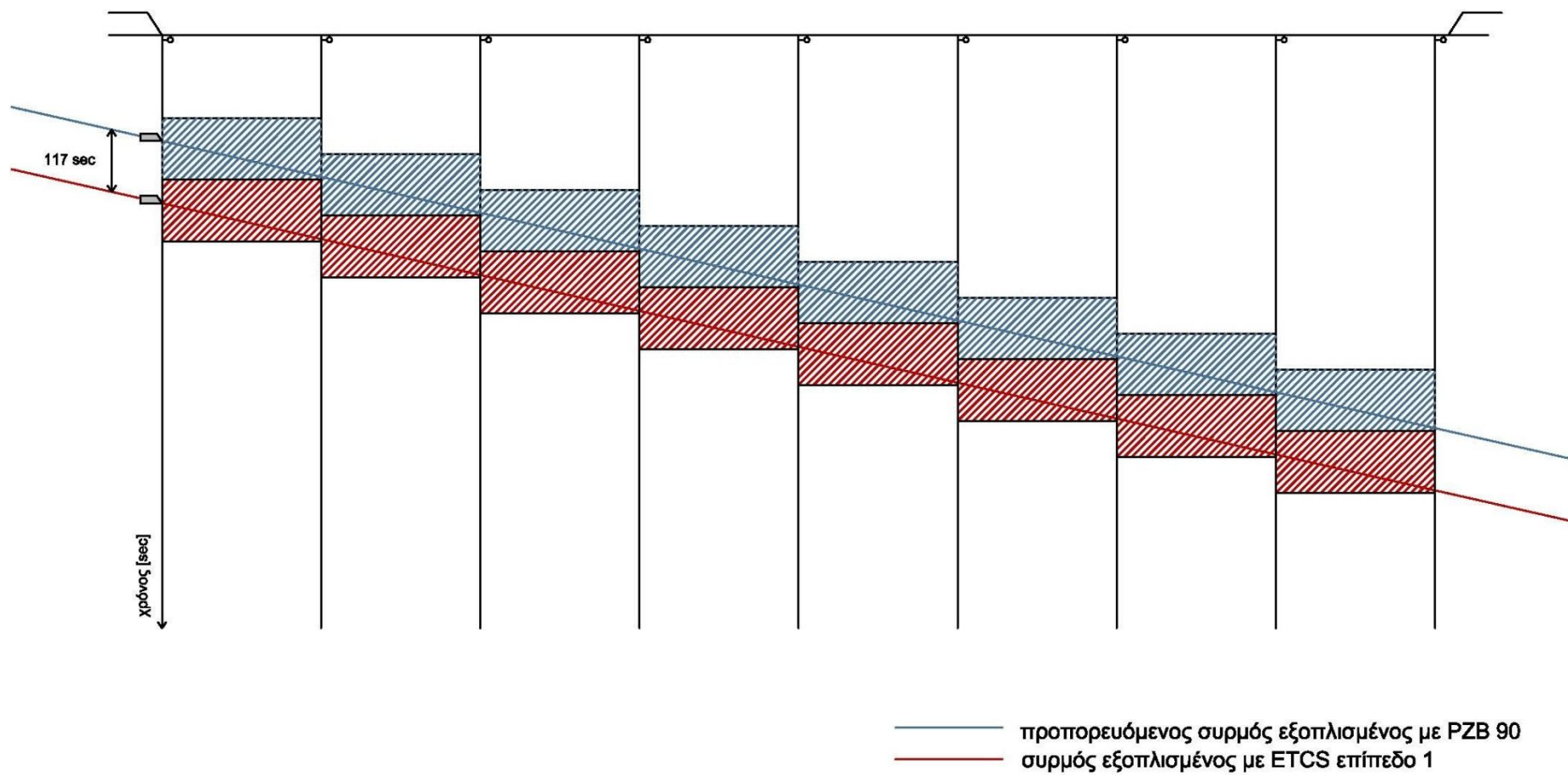


Σχήμα Ι. 2 Χρόνος κατάληψης ETCS επίπεδο 1



Σχήμα Ι. 3 Γραφικό δρομολόγιο και ελάχιστη χρονοαπόσταση PZB 90– PZB 90

==



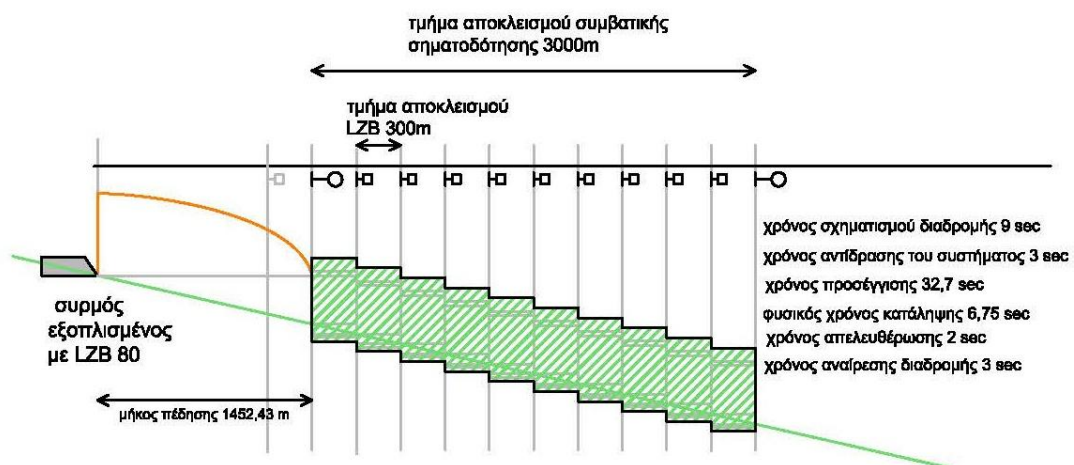
Σχήμα Ι. 4 Γραφικό δρομολόγιο και ελάχιστη χρονοαπόσταση PZB 90 – ETCS επίπεδο 1

Ι.2 Υπόθεση εφαρμογής 2

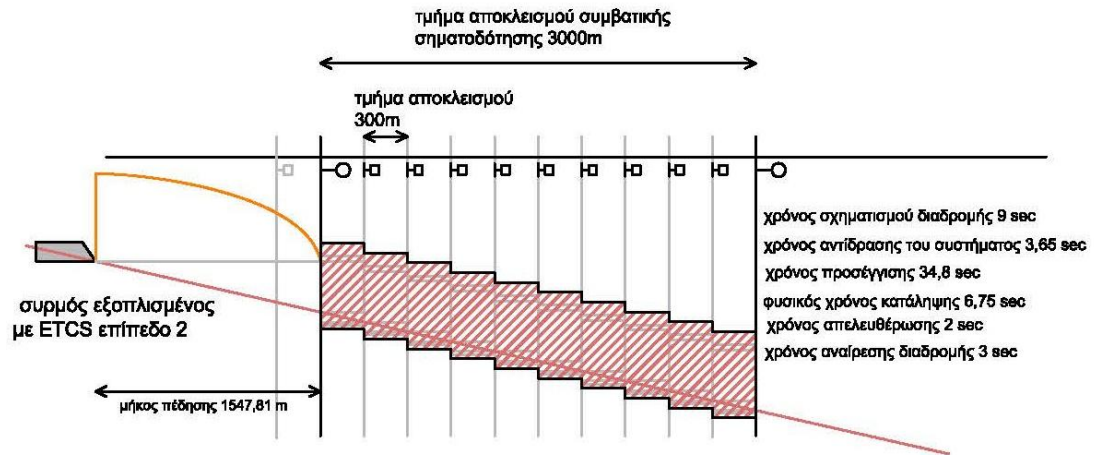
Χρόνοι κατάληψης τμήματος αποκλεισμού 300 m:

Πίνακας Ι.2 Χρόνοι κατάληψης - υπόθεση εφαρμογής 2

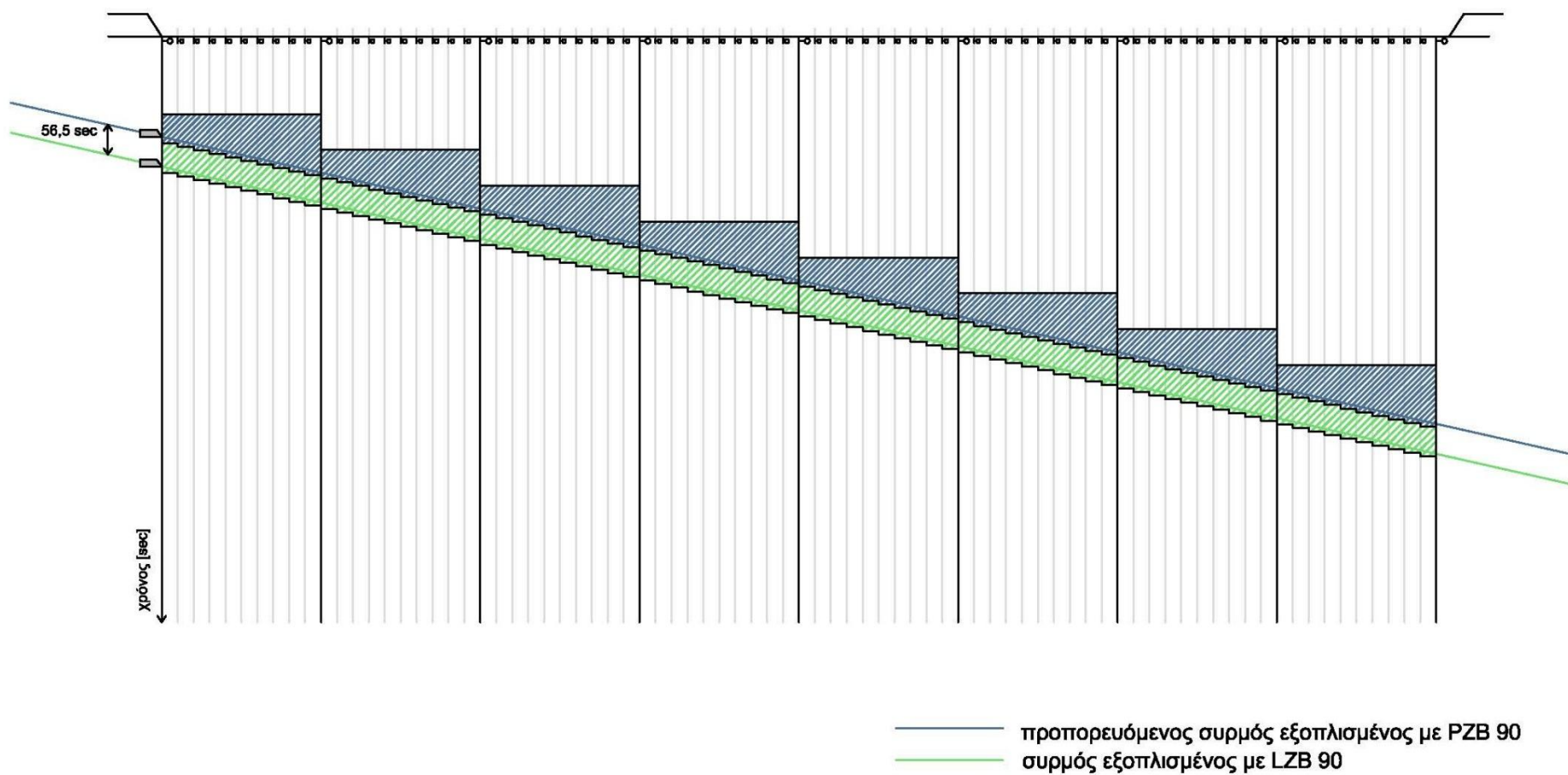
	LZB 80 (sec)		ETCS Level 2 (sec)
Χρόνος σχηματισμού διαδρομής	9		9
Χρόνος ορατότητας	1	3	3,65
	4/2 (ανάπτυξη πλήρους πέδησης)		
Χρόνος προσέγγισης	32,7		34,8
Καθαρός χρόνος κατάληψης	6,75		6,75
χρόνος διέλευσης μήκους συρμού	2		2
Χρόνος ελευθέρωσης διαδρομής	3		3
Συνολικός χρόνος κατάληψης	56,5		59,2



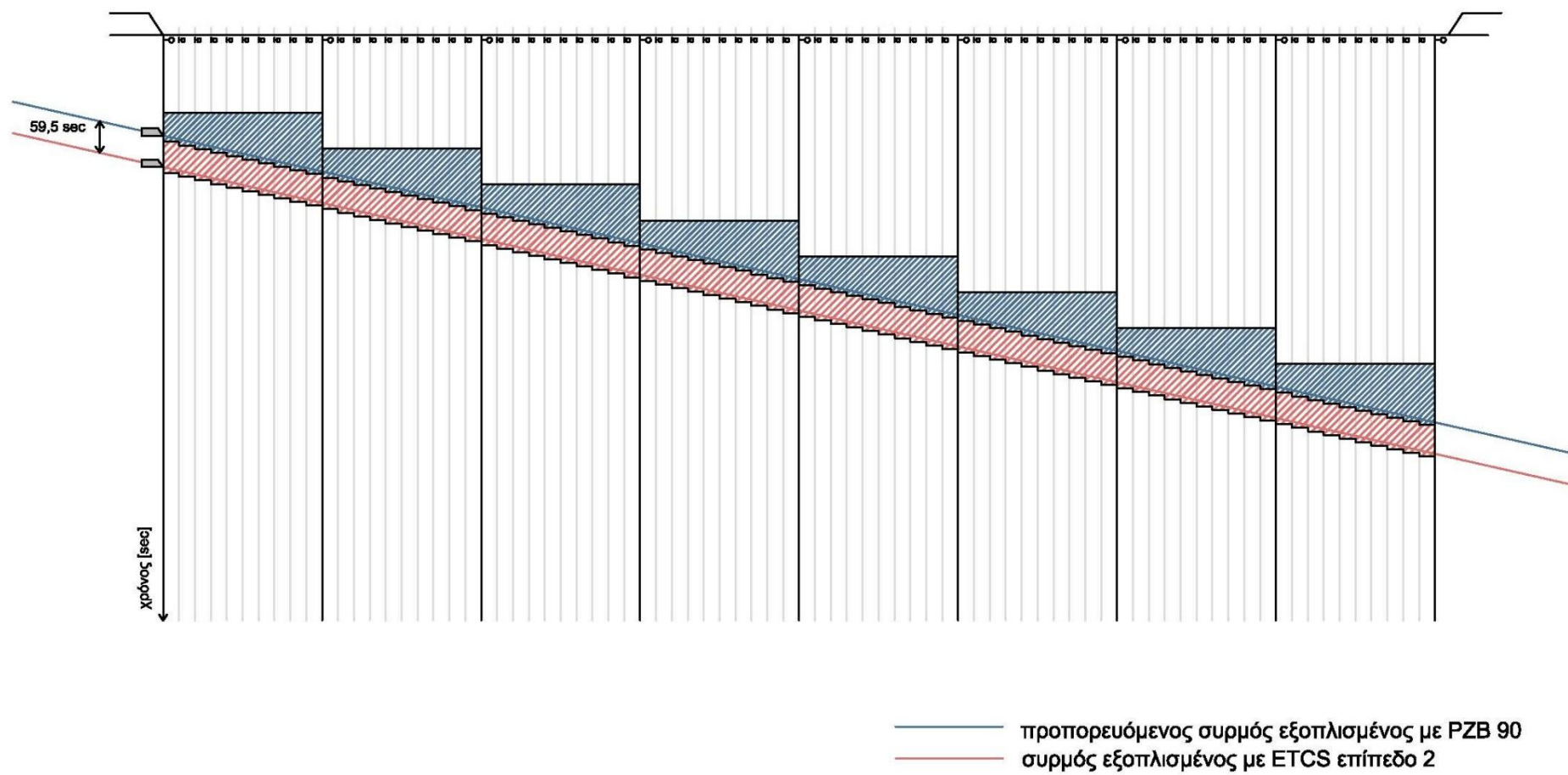
Σχήμα Ι. 5 Χρόνος κατάληψης LZB 80



Σχήμα Ι. 6 Χρόνος κατάληψης ETCS επίπεδο 2



Σχήμα Ι. 7 Γραφικό δρομολόγιο και ελάχιστη χρονοαπόσταση PZB 90-LZB 80



Σχήμα Ι. 8 Γραφικό δρομολόγιο και ελάχιστη χρονοαπόσταση PZB 90 – ETCS επίπεδο 2

Παράρτημα II

Υπολογισμοί καμπύλων πέδησης

II.1 Υπολογισμός καμπύλης πέδησης στο σύστημα LZB

Για τον υπολογισμό της καμπύλης πέδησης του συρμού με το σύστημα LZB 80 έγινε χρήση του τύπου:

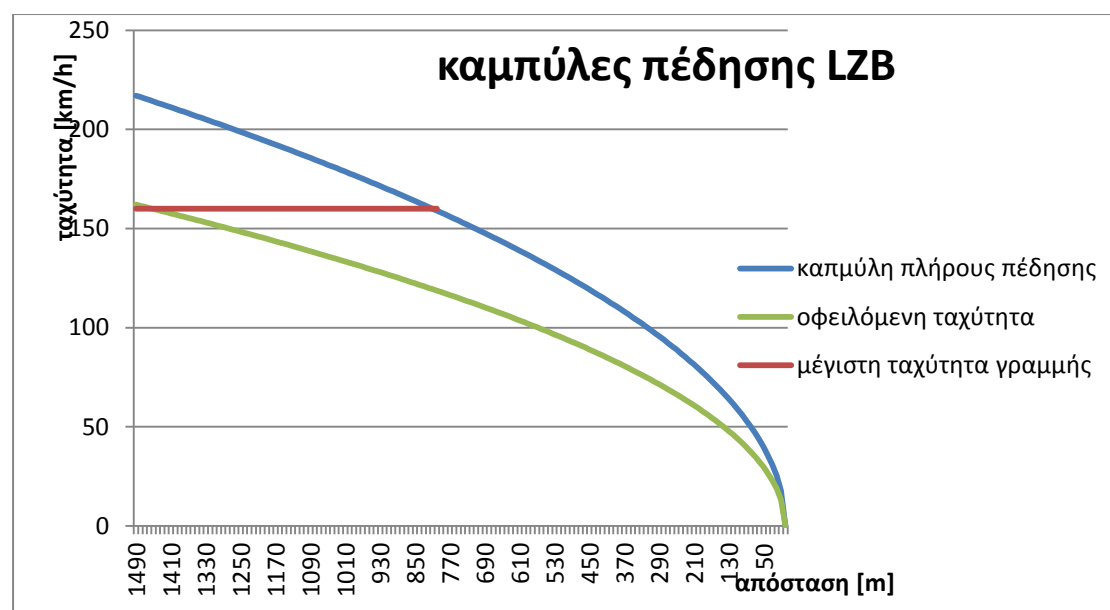
$$v_{soll} = \sqrt{2 \cdot b \cdot XG}$$

Όπου:

v_{soll}	οφειλόμενη ταχύτητα
b	επιβράδυνση
XG	ονομαστική απόσταση στάθμευσης

Για τον υπολογισμό την επιβράδυνσης λήφθηκαν τα εξής δεδομένα:

- Μέγιστη επιβράδυνση κατά την πέδηση $b=1,22 \text{ m/s}^2$ για την χάραξη της καμπύλης πέδης έκτακτης ανάγκης. [ΟΣΕ]
- Μέση επιβράδυνση κατά την πέδηση από $v=160 \text{ km/h}$ έως την ακινητοποίηση $b=0,68 \text{ m/s}^2$. [ΟΣΕ]



Διάγραμμα II. 1 Καμπύλες πέδησης LZB

Επομένως προκύπτει μήκος πέδησης κατά την λειτουργική πέδηση $s_B = 1452,43 \text{ m}$ και κατά την πέδη έκτακτης ανάγκης $s_{EB} = 809,55 \text{ m}$.

II.2 Υπολογισμός καμπύλης πέδησης στο σύστημα ETCS

Για τον υπολογισμό της καμπύλης πέδησης έγινε χρήση του εργαλείου ERA_Braking_curves_tool_v3.0 που παρέχεται από το ERA (European Railway Agency).

Στα πλαίσια της εφαρμογής του κεφαλαίου 7 της παρούσας εργασίας, εισήχθησαν τα δεδομένα που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 Δεδομένα εισόδου

Δεδομένα εισόδου	τιμή	προέλευση
Εκατοστά πέδησης	200% (R+Mg)	Τροχαίο υλικό
Μέθοδος υπολογισμού	Lambda train	Τα χαρακτηριστικά πέδησης δίνονται σε εκατοστά πέδησης
Μήκος συρμού	89 m	Τροχαίο υλικό
Ονομαστική περιστρεφόμενη μάζα	6%	Τροχαίο υλικό
Τύπος στόχου	ΕοΑ (πέρασ άδειας πορείας)	Παραδοχή εφαρμογής
Απόσταση ΕοΑ - SvL	0	Παραδοχή εφαρμογής
Τρέχουσα ταχύτητα	160 km/h	Παραδοχή εφαρμογής
Κατά μήκος κλήση	0	Παραδοχή εφαρμογής
Kv_int	0,77	[ERA 040022]
Kt_int	1	[ERA 040022]
Kl_int	1,1	[ERA 040022]

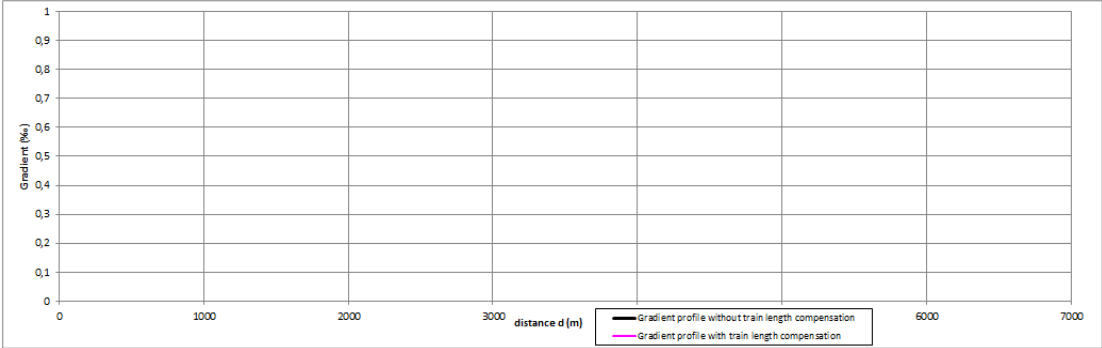
Παρατίθενται οι καρτέλες εισαγωγής δεδομένων και αποτελεσμάτων του εργαλείου:

Train type	☐ Gamma train ☒ Lambda train	
Brake position	☒ Passenger train in P ☐ Freight train in P ☐ Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	0	
Service brake interface ?	☒ No ☐ Yes	
Traction cut off interface ?	☒ No ☐ Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	☒ No ☐ Yes	
Speed inaccuracy (%)		☐ Fixed (Enter value) ☒ Subset-041
Position inaccuracy (m + %))	5 5	Abs. value + Rel. value ☒ Subset-041
Train length (m)	89	
Nominal rotating mass (%)	6	☒ Fixed (Enter value) ☐ Unknown
Distance antenna - train front (m)	5	

Καρτέλα 1 Train (main)

A	B	C	D	E	F	G
Target type	☐ LOA/MRSP ☒ EOA/SvL	Distance EOA/SvL		0	Relocation balises (m)	Location accuracy (m)
Target speed (km/h)	0		Release speed (km/h)		0	0
Dist. origin/target (m)	3000		☐ Fixed ☒ Calc on-board	☐ L1 ☒ L2/3	1000	0
Initial speed (km/h)	160		Recalculate the track values		1500	
Track condition brake inhibition profile						
Start of brake inhibition (m)		Brake inhibition area				
End of brake inhibition (m)						
Reduced adhesion profile						
Start of reduced adhesion (m)		Reduced adhesion area				
End of reduced adhesion (m)						

Gradient profile	
d (m)	Gradient G (‰)
0	0
100	0
100	0
300	0
300	0
400	0
400	0
3000	0
3000	0
4000	0
4000	0
4500	0
4500	0
5000	0
5000	0
6000	0
6000	0
6500	0
6500	0
6500	0



Καρτέλα 2 Track

Use service brake in target speed monitoring	☒ Yes ☐ No		Q_NVSBTSMPerm	Yes
Permission to inhibit the compensation of the speed measurement inaccuracy	☐ Yes ☒ No		Q_NVINHSMICPerm	No
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(1)	1	m/s ²	A_NVMAXREDADH1	1
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(2)	0,7	m/s ²	A_NVMAXREDADH2	0,7
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(3)	0,7	m/s ²	A_NVMAXREDADH3	0,7
Weighting factor for available wheel/rail adhesion	0		M_NVAVADH	0
Confidence level for emergency brake safe deceleration on dry rails	99,9999999	%	M_NVEBCL	99,9999999
Train length step used for the correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		L_NVKRINT	N/A
Train length dependent correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKRINT	1
Speed step used for the correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		V_NVKVINT	N/A
Speed dependent correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKVINT	1
Correction factor to brake build up time	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKTINT	1
Lower deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVP12	N/A
Upper deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVP23	N/A

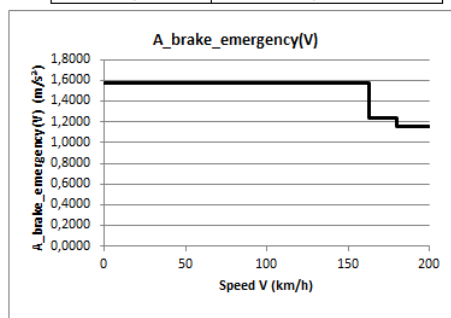
Καρτέλα 3 National values

dV_ebi_min	7,5	km/h
dV_ebi_max	15	km/h
V_ebi_min	110	km/h
V_ebi_max	210	km/h
dV_sbi_min	5,5	km/h
dV_sbi_max	10	km/h
V_sbi_min	110	km/h
V_sbi_max	210	km/h
dV_warning_min	4	km/h
dV_warning_max	5	km/h
V_warning_min	110	km/h
V_warning_max	140	km/h
T_warning	2	s
T_driver	4	s
T_preindication	7	s
M_rotating_max	15	%
M_rotating_min	2	%
g	9,81	m/s ²

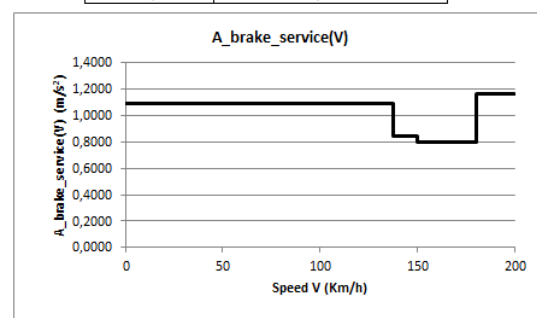
Καρτέλα 4 Fixed values

Brake percentage λ (%)	
Brake percentage for emergency brake λ_o (%)	200
Brake percentage for service brake λ_o (%)	135
V_lim for emergency brake (km/h)	162,72
V_lim for service brake (km/h)	137,53
kto	1,20
T_brake_emergency_cm0 (seconds)	5,0200
T_brake_emergency_cmt (seconds)	6,0240
T_brake_service_cm0 (seconds)	4,4142
T_brake_service_cmt (seconds)	5,2971
T_be (seconds)	5,02
T_bs (seconds)	☒ Conversion Model ☐ User's shorter value
	4,41421

Speed V (km/h)	A_brake_emergency(V) (m/s ²)
0	1,5760
V_lim EB	1,5760
162,72	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,2380
180,00	1,1601
200,00	1,1601

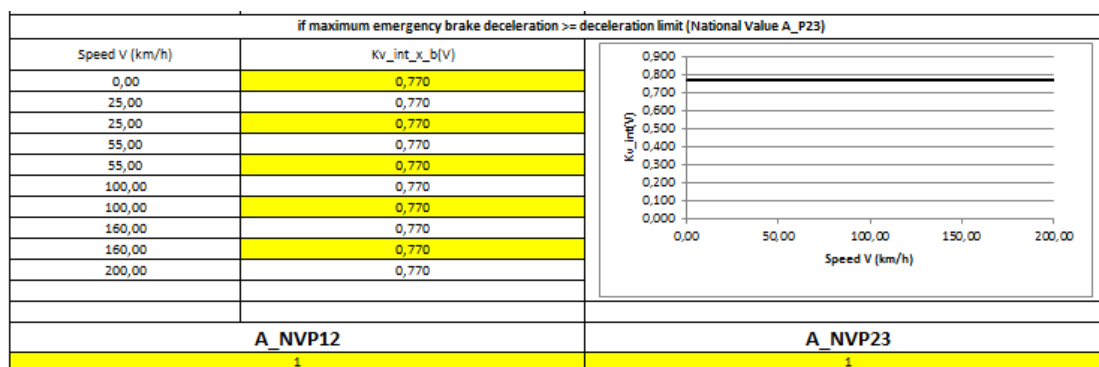
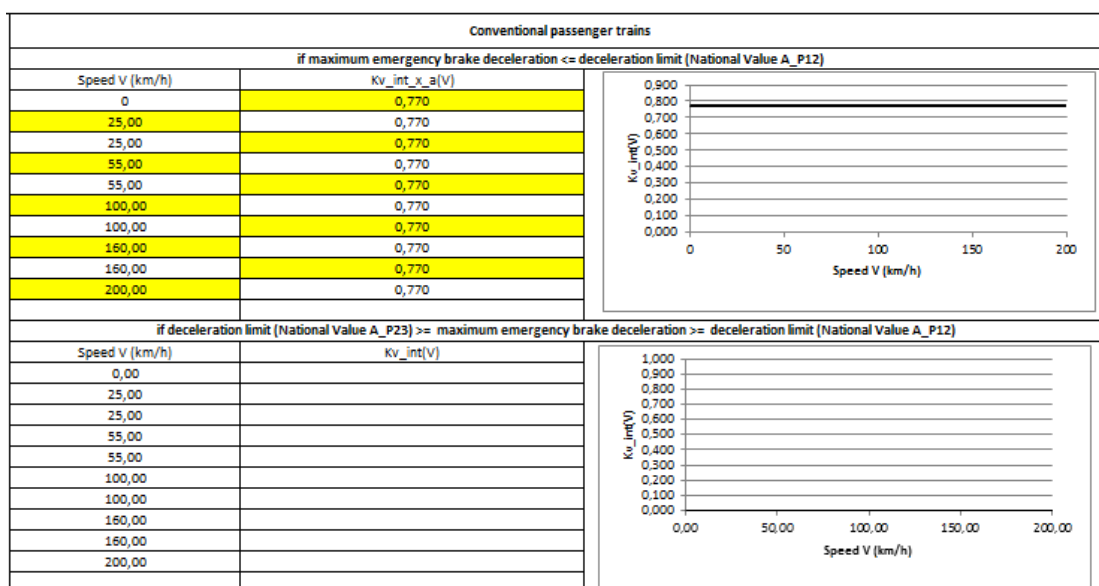


Speed V (km/h)	A_brake_service(V) (m/s ²)
0	1,0885
V_lim BS	1,0885
137,53	0,8463
150,00	0,8463
150,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	0,7968
180,00	1,1601
200,00	1,1601

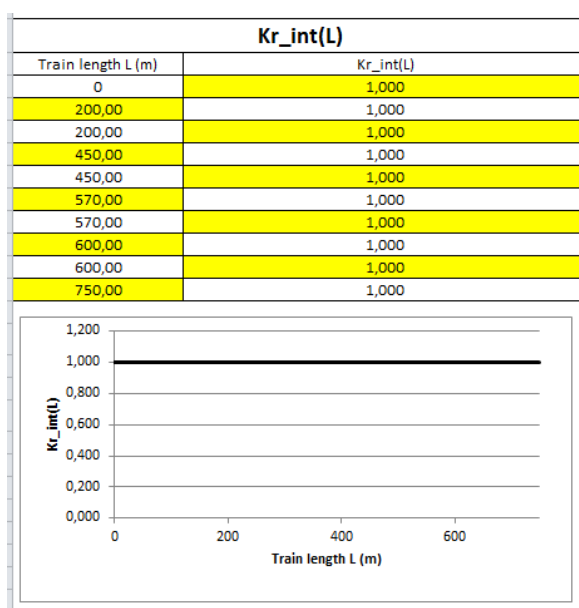


Καρτέλα 5 Brake parameters (lambda)

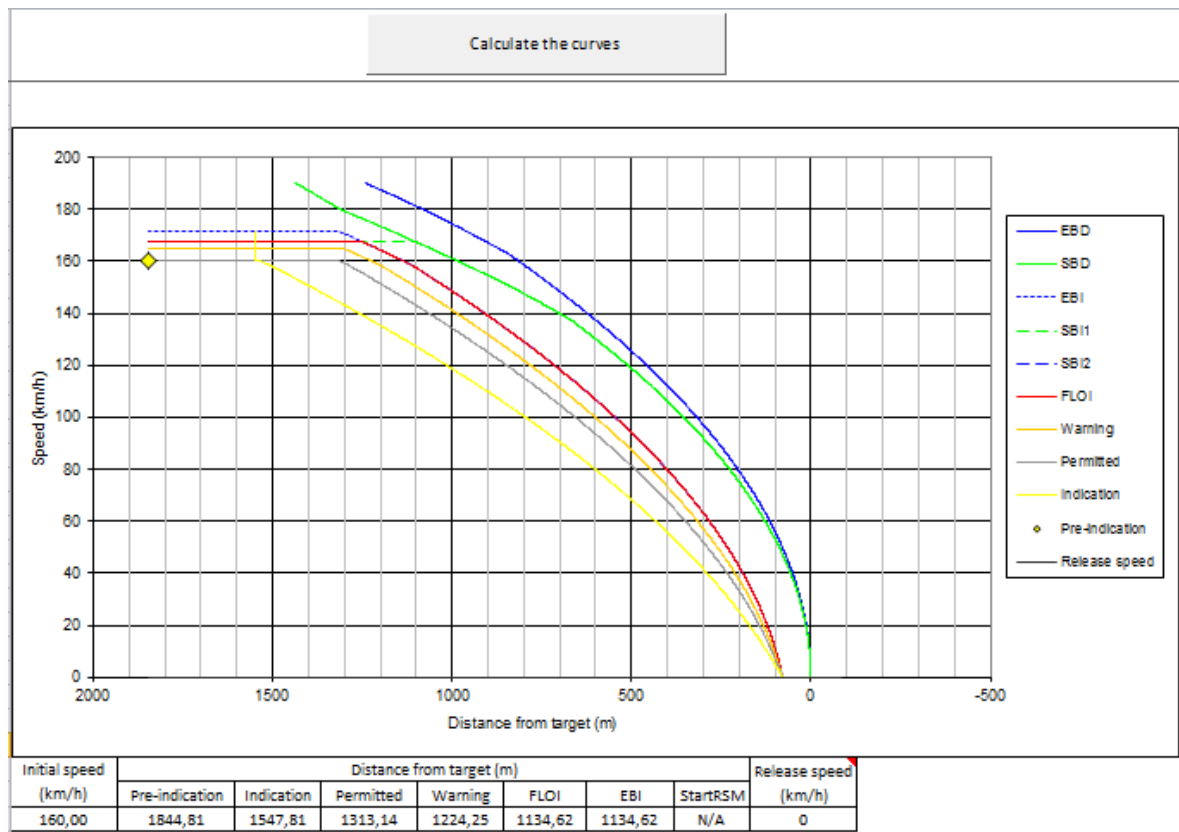
Kv_int(V)



Kt_int
1,1



Καρτέλα 6 Integrated correction factors



Καρτέλα 7 Curves Lambda train

Επομένως προκύπτει IP σε απόσταση $s=1547,81$ m από την θέση επίβλεψης.

Παράρτημα III

Σύγκριση αντίδρασης συστημάτων PZB 90 και ETCS επίπεδο 1

ΙΙΙ.1 Σύγκριση αντίδρασης συστημάτων PZB 90 και ETCS επίπεδο 1

Αφορά στην σύγκριση των σημειακών συστημάτων PZB 90 και ETCS επίπεδο 1 στην περίπτωση ελευθέρωσης ενός τμήματος αποκλεισμού ενώ ο συρμός που ακολουθεί βρίσκεται στην διαδικασία πέδησης.

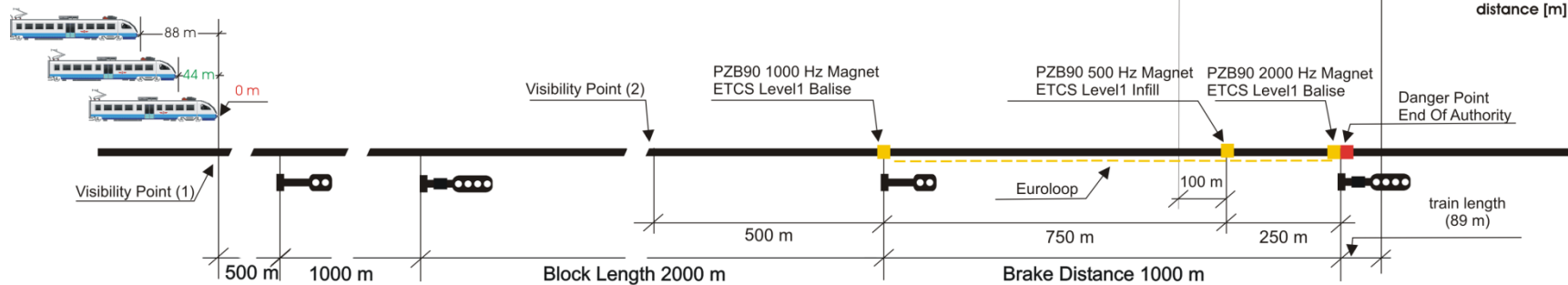
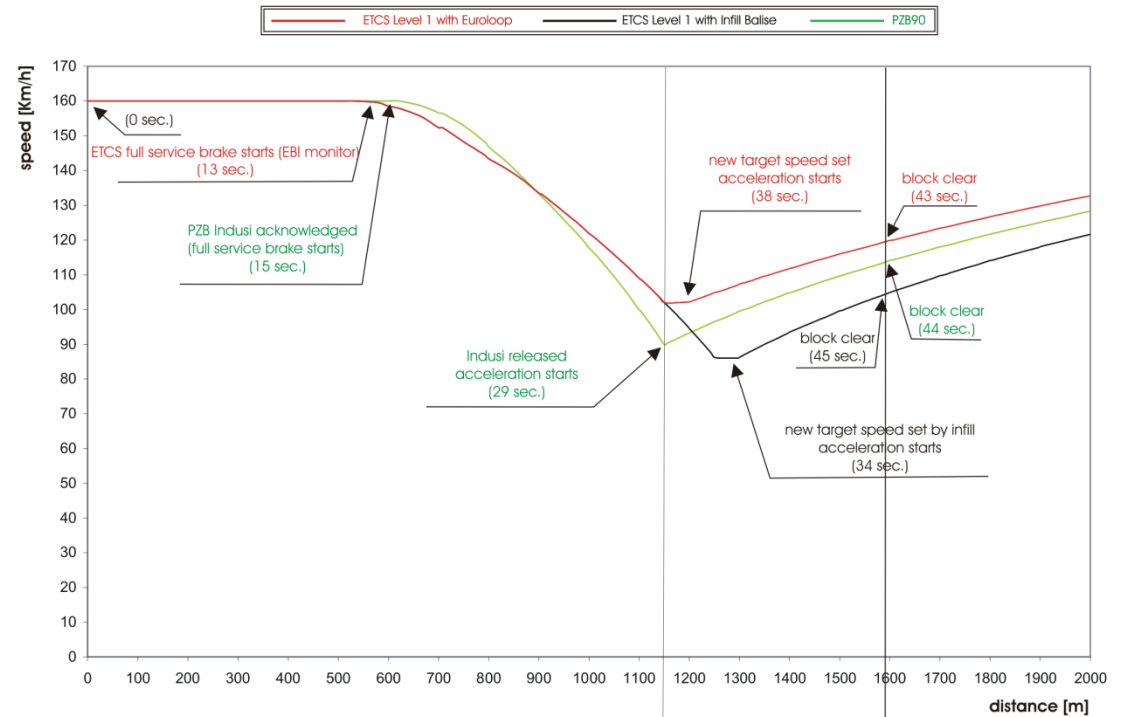
Παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης [Lymperis 2006]. Συγκεκριμένα υπολογίζεται με χρήση προγράμματος προσομοίωσης, ο χρόνος διαδοχής, σε ένα αντίστοιχο τμήμα γραμμής με αυτό της εφαρμογής, όταν αλλάζει η ένδειξη του κύριου σήματος 100 m πριν και 100 m μετά τον μαγνήτη γραμμής 500 Hz και το Balise group πλήρωσης. Μελετάται επίσης για το ETCS επίπεδο 1 και η περίπτωση πλήρωσης με Euroloop στο τμήμα μεταξύ του προσήματος και του κύριου σήματος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς την σύγκριση των δύο συστημάτων.

Η ένδειξη αλλάζει σε 'Πορεία' 100m πριν τον μαγνήτη των 500Hz/infill balise

	Travel Time From Visibility Point to EOA + Train Length	Braking Time	Theoretical Minimum Headway Interlocking Time, Safety Margins and Buffers Excluded
PZB90	44 sec	14 sec	97.3 sec
ETCS Infill	45 sec	19 sec	98.3 sec
ETCS EuroLoop	43 sec	16 sec	96.3 sec

Train Configuration

- OSE Class 460 5-Car EMU
- Brakes: 200% R+Mg
- Weight: 185 tons
- Length over buffers: 89 m
- Maximum Speed: 160 km/h
- Nominal Power: 3000 kW



Η ένδειξη αλλάζει σε 'Πορεία' 100m μετά τον μαγνήτη των 500Hz/infill balise

	Travel Time From Visibility Point to EOA + Train Length	Braking Time	Theoretical Minimum Headway Interlocking Time, Safety Margins and Buffers Excluded
PZB90	57 sec	23 sec	110.3 sec
ETCS Infill	65 sec	40 sec	118.3 sec
ETCS EuroLoop	47 sec	24 sec	100.3 sec

Train Configuration

- OSE Class 460 5-Car EMU
- Brakes: 200% R+Mg
- Weight: 185 tons
- Length over buffers: 89 m
- Maximum Speed: 160 km/h
- Nominal Power: 3000 kW

