

3

Η Οργάνωση της Κυκλοφορίας στους Σιδηροδρόμους

3.1. Σηματοδότηση

Τα σιδηροδρομικά σήματα αποτελούν μορφή επικοινωνίας, σχεδιασμένη να πληροφορεί το πλήρωμα της αμαξοστοιχίας, ιδιαίτερα τους μηχανοδηγούς, για τις συνθήκες της γραμμής μπροστά τους και να δίνει οδηγίες για τον τρόπο με τον οποίο θα κινήσουν το τρένο. Οι μέθοδοι ελέγχου της κυκλοφορίας των συρμών εξελίχθηκαν στη διάρκεια πολλών ετών προσπαθειών, λαθών και βελτιώσεων.

Στους πρώτους σιδηροδρόμους των δεκαετιών του 1830 και του 1840 δεν υπήρχε σηματοδότηση. Δεν υπήρχε σύστημα πληροφόρησης του μηχανοδηγού για την κατάσταση της γραμμής. Τα τρένα οδηγούντο με βάση αυτό που έβλεπε ο μηχανοδηγός. Πολύ σύντομα η πράξη έδειξε, ότι έπρεπε να βρεθεί τρόπος, που να αποτρέπει τα τρένα να βρίσκονται αντιμέτωπα. Διάφορα ατυχήματα έδειξαν, ότι ήταν πολύ δύσκολο να σταματήσει ένα τρένο αφ' ότου ο μηχανοδηγός είχε θέα του κινδύνου.

3.1.1. Το σύστημα Διαστήματος Χρόνου

Συνήθης μέθοδος τα πρώτα χρόνια ήταν να κυκλοφορούν τα τρένα κατά σταθερά **χρονικά διαστήματα**. Για παράδειγμα, ένα τρένο επιτρεπόταν να ξεκινήσει από τον σταθμό συγκεκριμένο αριθμό λεπτών ύστερα από το προηγούμενο τρένο, που κινήτο στην ίδια κατεύθυνση.

Το **Σύστημα Διαστήματος Χρόνου**, προσπαθώντας να χρησιμοποιήσει μια χρονική απόσταση ασφαλείας για την προστασία των τρένων, δημιουργούσε και σοβαρά προβλήματα, κυριότερο των οποίων ήταν ότι παρέμενε, από τη φύση του, επικίνδυνο. Τα τρένα εκείνη την εποχή ήσαν πολύ λιγότερο αξιόπιστα απ' ό,τι σήμερα και συχνά ακινητοποιούντο μεταξύ σταθμών. Επιπλέον, δεν ήταν βέβαιο ότι η ταχύτητα του προπορευόμενου τρένου θα ήταν επαρκής, ώστε να αποτρέψει το τρένο που ακολουθούσε να το προφτάσει.

3.1.2. Μήκη Αποκλεισμού

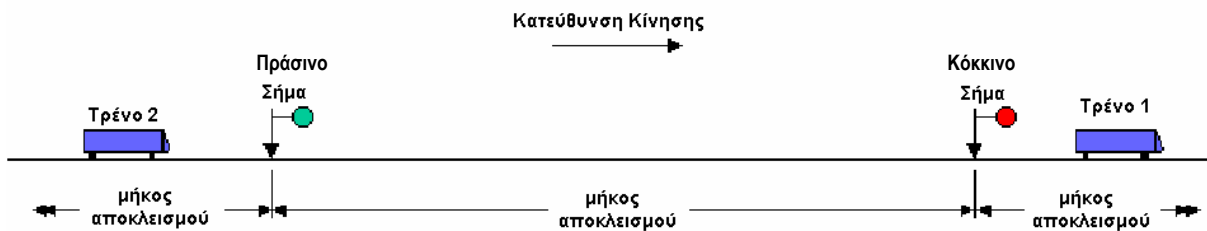
Η ανάπτυξη συστημάτων κυκλοφορίας βασισμένων σε **διαστήματα μήκους** απετέλεσε μεγάλη βελτίωση. Στα συστήματα αυτά, τα βασισμένα σε μήκη αποκλεισμού (*block systems*), απαγορεύεται στο τρένο να εισέλθει σε ένα τμήμα γραμμής, μέχρις ότου το προηγούμενο τρένο, που βρίσκεται ήδη στο τμήμα αυτό, εξέλθει.

Κάθε τμήμα αποκλεισμού (*block*) προστατεύεται από σταθερό σήμα, τοποθετημένο στην είσοδο του τμήματος και ευκρινώς ορατό από τον μηχανοδηγό κάθε τρένου που προσεγγίζει.

Εάν το τμήμα είναι «καθαρό», δηλαδή δεν υπάρχει τρένο σε αυτό, το σήμα θα παράσχει ένδειξη «ελεύθερο».

Αντίθετα, αν το τμήμα είναι κατειλημμένο από τρένο, το σήμα θα παράσχει την ένδειξη “Stop”.

Το επόμενο τρένο θα περιμένει στην είσοδο του τμήματος, μέχρι να εξέλθει από αυτό το προπορευόμενο. Στη βάση αυτής της αρχής σχεδιάζονται και λειτουργούν όλα τα συστήματα σηματοδότησης.



Απλουστευμένο διάγραμμα περιγραφής βασικής αρχής λειτουργίας μήκους αποκλεισμού (block):

Το μήκος αποκλεισμού που καταλαμβάνεται από το Τρένο 1 προστατεύεται από το κόκκινο σήμα στην είσοδο του μήκους. Το επόμενο μήκος είναι ελεύθερο από τρένα. Έτσι, το πράσινο σήμα επιτρέπει στο Τρένο 2 να εισέλθει στο μήκος αυτό.

3.1.3. Μηχανικά Σήματα

Τα μηχανικά σήματα πρωτοεμφανίστηκαν στη Βρετανία το 1841 και η θέση σηματοδότησης (*signal box*) με μοχλούς (*levers*) που καθοδηγούσαν από απόσταση σήματα και αλλαγές τροχιάς, το 1860.

Αρχικά, η διέλευση ενός τρένου από τμήμα γραμμής επισημαινόταν οπτικά από τον υπεύθυνο σηματοδότησης (*signalman*). Όταν το τρένο απελευθέρωνε το τμήμα, ο υπεύθυνος σηματοδότησης πληροφορούσε τη θέση σηματοδότησης (*signal box*) προς την πλευρά της προσέγγισης στο τμήμα του, ότι το τμήμα ήταν πλέον ελεύθερο και ότι μπορούσε, αν χρειαζόταν, να «δεχθεί» επόμενο τρένο. Τα μηνύματα μεταξύ του προσωπικού σηματοδότησης μετεδίδοντο με κώδικες και χρήση του ηλεκτρικού τηλέγραφου.

Η λειτουργία τρένων σε μονή γραμμή, με βάση μόνο τον γραφικό πίνακα δρομολογίων, που αποτελούσε συνήθη περίπτωση τα πρώτα χρόνια του σιδηροδρόμου στις ΗΠΑ, είχε το μειονέκτημα ότι, αν ένα τρένο καθυστερούσε, τα ακολουθούντα θα καθυστερούσαν επίσης, δεδομένου ότι ήταν αδύνατο να μεταβληθούν τα σημεία διασταυρώσεων ή υπερβάσεων. Έτσι, χρησιμοποιώντας τον τηλέγραφο, και αργότερα το τηλέφωνο, ο ρυθμιστής κυκλοφορίας (*dispatcher*) έδινε εντολές, ώστε να εξασφαλίζεται η κυκλοφορία των τρένων σε ασυνήθεις περιστάσεις ή να δρομολογούνται εκτάκτως πρόσθετα τρένα, όταν απαιτείτο.

Αυτό το σύστημα οργάνωσης της σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, το βασισμένο στον δρομολογιακό πίνακα και τον χειριστή, βρίσκεται ακόμη σε χρήση σε πολλές γραμμές στις ΗΠΑ, τον Καναδά και τις αναπτυσσόμενες χώρες, συμπληρούμενο συχνά από αυτόματα σήματα αποκλεισμού (*automatic block signals*), ώστε να παρέχεται πρόσθετη ασφάλεια. Η επικοινωνία μεταξύ ρυθμιστή και μηχανοδηγού γίνεται όλο και περισσότερο με χρήση ραδιοτηλεφώνων.

3.2. Τύποι Σηματοδότησης

Η πρώτη μορφή σιδηροδρομικού σήματος ήταν απλά μια σημαία την ημέρα, ή μια λάμπα τη νύχτα.

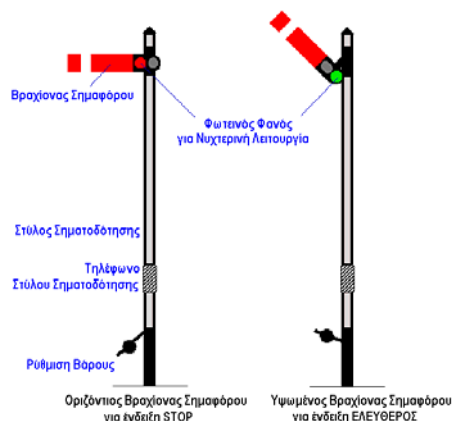
Το πρώτο κινητό σήμα ήταν ένας περιστρεφόμενος πίνακας της δεκαετίας του 1830, τον οποίο ακολούθησε ο **σημαφόρος** το 1841.

Ο **σημαφόρος** (*semaphore*), μέχρι τις αρχές του 20ού αιώνα, αποτελούσε σήμα παγκόσμιας εφαρμογής.

Έκτοτε άρχισε να υποκαθίσταται από την **έγχρωμη φωτεινή σηματοδότηση**, με την οποία οι ενδείξεις παρέχονται μέσω μεγάλης έντασης ηλεκτρικών φανών.

Οι φωτεινές αυτές ενδείξεις είναι συνήθως κόκκινο, πράσινο και κίτρινο, είτε μόνα, είτε με ταυτόχρονη ένδειξη δύο χρωμάτων.

Οι διαφορετικοί χρωματισμοί επιτυγχάνονται είτε μέσω της περιστροφής κατάλληλων χρωματικών φίλτρων μπροστά από μια δέσμη φωτός, είτε με τη χρήση ξεχωριστών λαμπτήρων και φακών για κάθε χρώμα.



Σημαφόρος



Φωτεινή Σηματοδότηση

3.3. Αυτόματα Συστήματα Σηματοδότησης

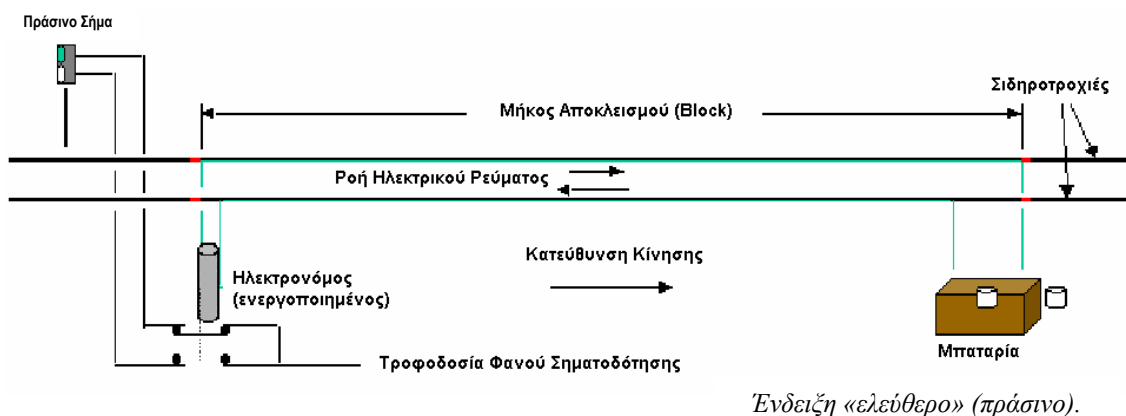
Την βάση του μεγαλύτερου μέρους της σύγχρονης σιδηροδρομικής σηματοδότησης αποτελεί το σύστημα του **συστήματος αυτόματου αποκλεισμού** (*automatic block system*), που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1872 και αποτελεί μια από τις πρώιμες εφαρμογές του αυτοματισμού στη βιομηχανία.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί **κυκλώματα γραμμής**, που βραχυκυκλώνονται από τους τροχούς και άξονες ενός τρένου, ενεργοποιώντας την ένδειξη κινδύνου (κόκκινο)

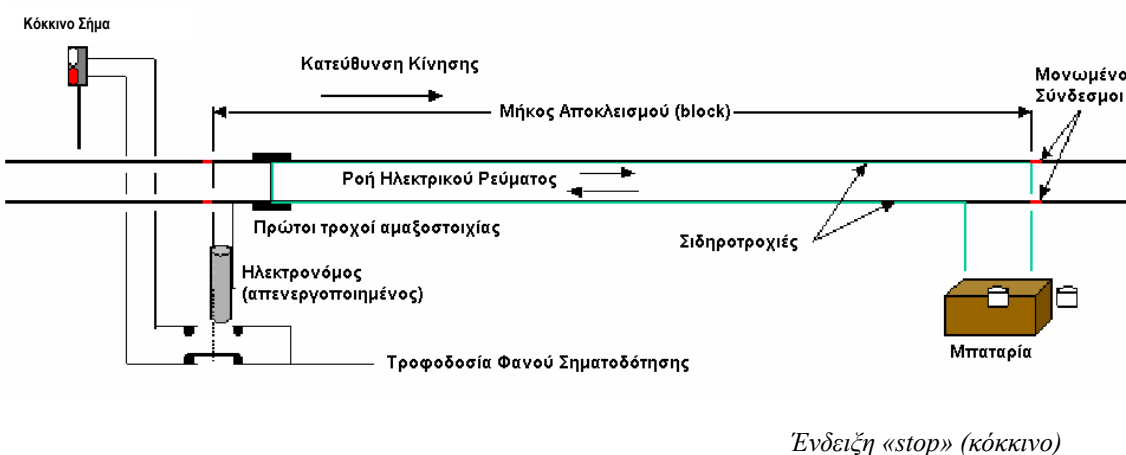
στον φανό σηματοδότησης πίσω από το τρένο (ή και στον φανό μπροστά από το τρένο, σε περιπτώσεις μονής γραμμής).

3.3.1. Κυκλώματα Γραμμής

Κυκλώματα γραμμής (*track circuits*) δοκιμάστηκαν για πρώτη φορά στις ΗΠΑ την δεκαετία του 1890. Ο πρώτος μεγάλης κλίμακας χρήστης των κυκλωμάτων γραμμής ήταν το μετρό του Λονδίνου (*London Underground*) την περίοδο 1904-6.



Το κύκλωμα γραμμής αποτελείται από τις δύο σιδηροτροχιές ενός τμήματος γραμμής, μονωμένες στα άκρα τους. Το ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης με το οποίο τροφοδοτούνται οι σιδηροτροχιές στο ένα άκρο του τμήματος, ρέει μέσω ηλεκτρονόμου (*relay*) αρχικά ή ηλεκτρονικού κυκλώματος (πιο πρόσφατα) προς το αντίθετο άκρο, όπου και το σήμα, δίδοντας την ένδειξη «ελεύθερο» (πράσινο).

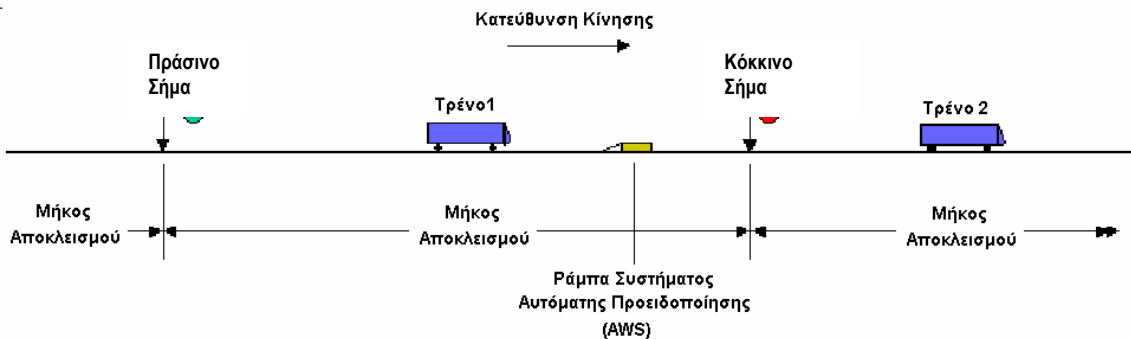


Οι τροχοί του τρένου βραχυκυκλώνουν την τροφοδοσία του ρεύματος και απενεργοποιούν τον ηλεκτρονόμο (ή το ηλεκτρονικό κύκλωμα). Η διακοπή αυτή θα προκαλέσει την ένδειξη «stop» (κόκκινο) στο σήμα που προστατεύει το υπόψη τμήμα. Κάθε άλλη αιτία διακοπής της ροής του ρεύματος θα προκαλέσει επίσης απαγορευτική ένδειξη (κόκκινο).

Ένα τέτοιο σύστημα, όπου η αποτυχία (*fail*) δίνει απαγορευτικό σήμα (κόκκινη ένδειξη), ονομάζεται συχνά «ασφαλές στην αποτυχία» (*fail safe*) ή «ζωτικό» (*vital*).

3.3.2. Προειδοποιήσεις

Το σύστημα προστασίας κάθε μήκους αποκλεισμού από σταθερό σήμα, όπως περιγράφηκε ανωτέρω, χρησιμοποιείται από τους σιδηροδρόμους, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, για περισσότερο από 100 χρόνια. Έχει όμως ένα σοβαρό μειονέκτημα: εξαρτάται απολύτως από την προσοχή του μηχανοδηγού. Αν αυτός αποτύχει να αντιληφθεί το απαγορευτικό σήμα («*stop*»), το τρένο θα εισέλθει στο κατειλημμένο τμήμα και θα συγκρουστεί με το προπορευόμενο. Για να αποφευχθεί αυτό, έχουν υιοθετηθεί διάφορα συστήματα, είτε προειδοποίησης του μηχανοδηγού για επικείμενη ακινητοποίηση, είτε για επιβολή της ακινητοποίησης αυτής.



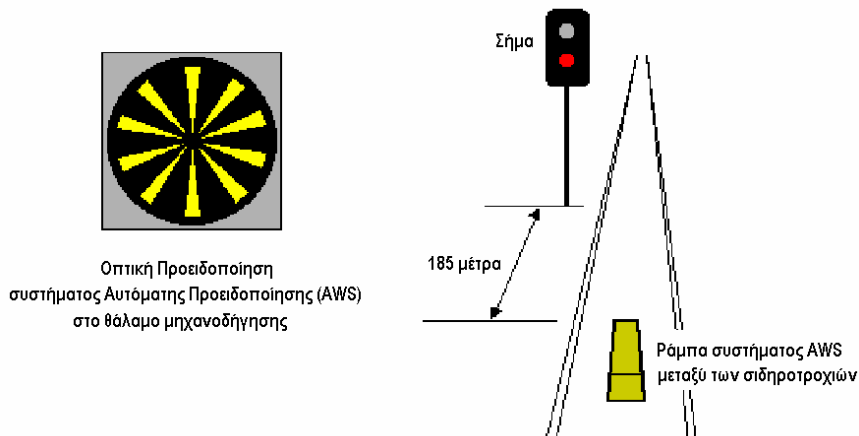
Η ράμπα τοποθετείται μεταξύ των σιδηροτροχιών, ώστε η συσκευή ανάγνωσης επί του τρένου να μπορεί να παραλαμβάνει τις πληροφορίες.

Στο σύστημα προειδοποίησης που χρησιμοποιείται στους Βρετανικούς Σιδηροδρόμους, όταν ένα σήμα παρέχει πράσινη ένδειξη χτυπά κουδούνι στο θάλαμο μηχανοδήγησης. Σε κάθε άλλη ένδειξη του σήματος χτυπά σειρήνα.



Ράμπα συστήματος AWS μεταξύ των σιδηροτροχιών

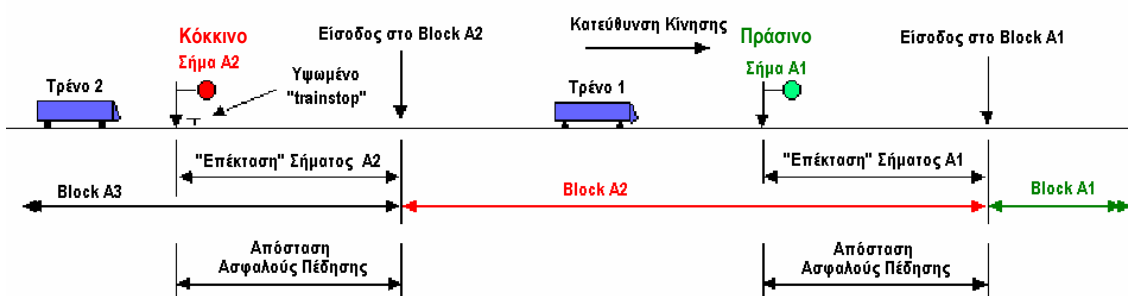
Ο μηχανοδηγός πρέπει μέσα σε 4 δευτερόλεπτα να επιβεβαιώσει ότι άκουσε τη σειρήνα, χρησιμοποιώντας το πλήκτρο ακύρωσής της ("*cancel*"). Σε αντίθετη περίπτωση θα εφαρμοστεί αυτομάτως πέδηση κινδύνου. Μετά το σταμάτημα της σειρήνας με το πάτημα του πλήκτρου, μια οπτική ένδειξη παραμένει για υπενθύμιση. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως **Αυτόματο Σύστημα Προειδοποίησης** (*Automatic Warning System – AWS*).



3.3.3. Επιβολή

Με βάση τα παραπάνω, αν ο μηχανοδηγός αντιληφθεί και ακυρώσει την προειδοποίηση, αλλά στη συνέχεια, εξ αιτίας άλλου λάθους, αποτύχει να σταματήσει, το τρένο του και πάλι θα συγκρουστεί με το προπορευόμενο. Μόνος τρόπος να αποφευχθεί κάτι τέτοιο είναι η υιοθέτηση ενός συστήματος επιβολής (*enforcement*).

Ένα πολύ απλό σύστημα επιβολής χρησιμοποιείται στο μετρό του Λονδίνου (*London Underground*) και ονομάζεται *trainstop*. Πρόκειται για μηχανικό βραχίονα, που προσαρμόζεται στη γραμμή δίπλα σε κάθε σήμα. Όταν το σήμα είναι κόκκινο, ο βραχίονας είναι υψωμένος. Αν το τρένο παραβιάσει το σήμα, ο βραχίονας θα κτυπήσει πάνω σε συσκευή του τρένου, με αποτέλεσμα να σταματήσει η ηλεκτρική τροφοδοσία, να εφαρμοστεί αυτομάτως πέδη κινδύνου και να σταματήσει το τρένο.



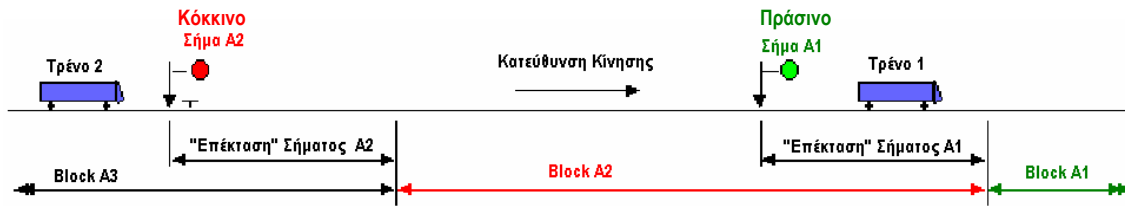
Το σύστημα αυτό αποτελεί απλή μορφή **Αυτόματης Προστασίας Συρμών (ATP)**. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στη Βρετανία το 1904, στη βάση μιας ιδέας που πρωτοαναπτύχθηκε στις ΗΠΑ.

3.3.4. Επέκταση Μήκους Αποκλεισμού

Τα τρένα δεν σταματούν ακαριαία. Ένα τρένο που ταξιδεύει με ταχύτητα 160 χλμ/ώρα χρειάζεται περίπου 2 χλμ για να σταματήσει, μετά την εφαρμογή της πέδης. Ακόμη και σε ένα σύστημα σηματοδότησης με επιβολή (*ATP*), υπάρχει πάντοτε κίνδυνος ένα τρένο να παραβιάσει απαγορευτικό σήμα, να σταματηθεί από την επιβολή του συστήματος *ATP* και, παρ' όλ' αυτά, να συγκρουστεί με το προπορευόμενο τρένο. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί στην περίπτωση, όπου το προπορευόμενο τρένο είναι σταματημένο ακριβώς μετά το σήμα που το προστατεύει. Το πρόβλημα αυτό έχει επισημανθεί προ πολλού και μπορεί να ξεπεραστεί με την πρόβλεψη διαστήματος μήκους, εντός του οποίου το τρένο θα ακινητοποιηθεί πλήρως. Το διάστημα αυτό ονομάζεται **επέκταση μήκους αποκλεισμού** (*overlap*).

Στην απλούστερη περίπτωση, η επέκταση μήκους αποκλεισμού (*overlap*) θα είναι μία απόσταση, στο μήκος της οποίας θα μπορέσει το τρένο να σταματήσει, έχοντας παραβιάσει απαγορευτικό σήμα. Η απόσταση αυτή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση

του σήματος αρκετά πριν από την είσοδο στο μήκος αποκλεισμού, το οποίο καλύπτεται από το σήμα αυτό.



3.3.5. Απόσταση Ασφαλούς Πέδησης

Στις κύριες γραμμές των σιδηροδρομικών δικτύων, επειδή είναι αδύνατο να υπολογιστούν όλα τα διαφορετικά μήκη πέδησης των διαφόρων τύπων αμαξοστοιχιών και επειδή είναι αδύνατο να προβλεφθεί πότε ένας μηχανοδηγός θα αντιδράσει σε απαγορευτικό σήμα, χρησιμοποιείται **σταθερή** τιμή επέκτασης μήκους αποκλεισμού (π.χ. 200 μέτρα).

Σε γραμμές μετρό που χρησιμοποιούν συστήματα *ATP*, η απόσταση υπολογίζεται μέσω ακριβούς μαθηματικού τύπου, στη βάση της γνωστής δυνατότητας πέδησης του συρμού μετρό, της κατά μήκος κλίσης στην υπόψη περιοχή, της μέγιστης δυνατής ταχύτητας των τρένων που χρησιμοποιούν το τμήμα, ενός πρόσθετου διαστήματος αντίδρασης του μηχανοδηγού στη θέα του σήματος και ενός μικρού συμπληρωματικού περιθωρίου ασφαλείας. Το αποτέλεσμα του υπολογισμού ονομάζεται **απόσταση ασφαλούς πέδησης** (*safe braking distance*). Η επέκταση μήκους αποκλεισμού (*overlap*) περιλαμβάνει την απόσταση ασφαλούς πέδησης.

Στις κύριες γραμμές των σιδηροδρομικών δικτύων, ο υπολογισμός της απόστασης ασφαλούς πέδησης καθίσταται σύνθετος, εξαιτίας των διαφορετικών ταχυτήτων και δυνατοτήτων πέδησης των διαφόρων τρένων που χρησιμοποιούν την ίδια γραμμή. Σε ορισμένες περιοχές περιπλέκεται περαιτέρω από την ανάγκη να παρέχεται συχνή προαστιακή υπηρεσία, στις ίδιες γραμμές με τα γρήγορα *InterCity* τρένα, καθώς και με εμπορικά τρένα με διάφορες δυνατότητες πέδησης.

Τα μήκη αποκλεισμού πρέπει να είναι βραχέα, ώστε να επιτρέπουν πυκνή κυκλοφορία (μικρές χρονοαποστάσεις) μεταξύ των προαστιακών τρένων. Όμως, τα μήκη πέδησης για τα τρένα μεγάλων ταχυτήτων πρέπει να είναι μακρά. Η αντίθεση αυτή επιλύεται μερικώς με την χρησιμοποίηση **σηματοδότησης πολλαπλών ενδείξεων** (*multi-aspect signalling*).

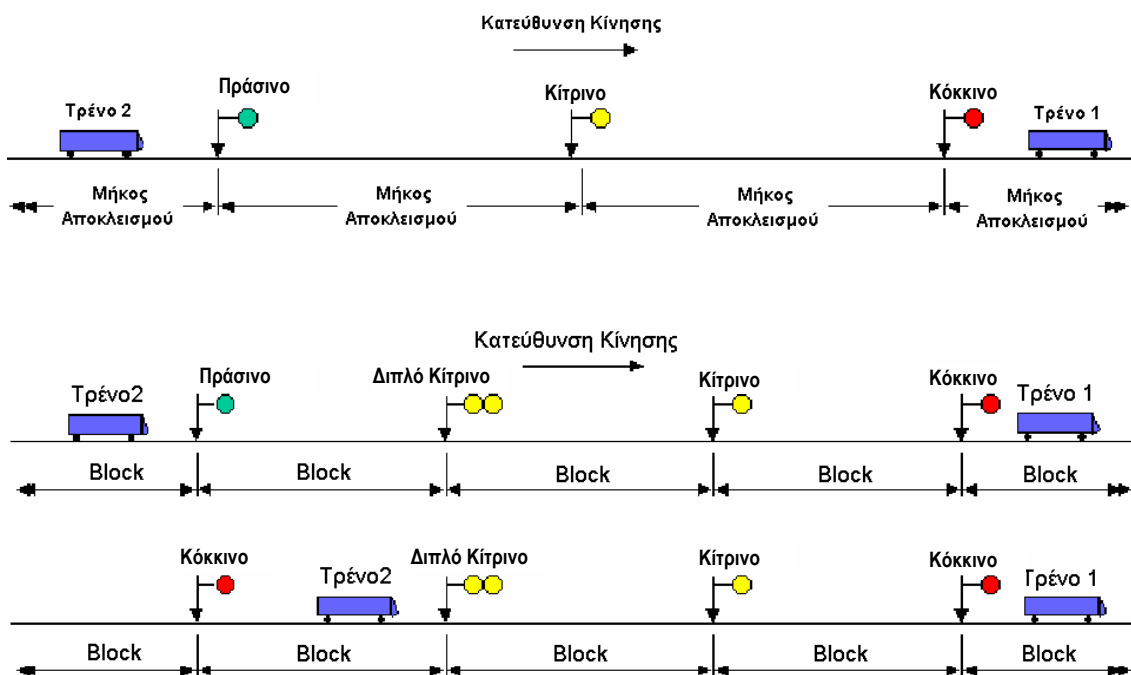
3.3.6. Σηματοδότηση Πολλαπλών Ενδείξεων

Σκοπός της σηματοδότησης πολλαπλών ενδείξεων είναι να επιτρέπει την αύξηση του αριθμού των τρένων που κυκλοφορούν σε μία γραμμή. Να επιτρέπει επίσης σε μία συχνή υπηρεσία χαμηλής ταχύτητας να λειτουργεί στην ίδια γραμμή με υπηρεσία μεγάλης ταχύτητας και να συνεχίζουν να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ασφαλείας. Βασίζεται στην αρχική σύλληψη της προστασίας τμήματος που είναι κατειλημμένο από τρένο με απαγορευτικό σήμα (κόκκινο), με την προσθήκη όμως προειδοποιητικών

ενδείξεων (κίτρινα) στα προηγούμενα σήματα, που παρέχουν στα μεγαλύτερης ταχύτητας ή μεγαλύτερου βάρους τρένα το αναγκαίο μήκος για να σταματήσουν.

Η βασική σηματοδότηση πολλαπλών ενδείξεων αποτελείται από: (α) Κόκκινο σήμα στην είσοδο του κατειλημμένου τμήματος, (β) Κίτρινη μονή ένδειξη στο σήμα που προστατεύει το προηγούμενο τμήμα, (γ) Κίτρινη διπλή ένδειξη στο τμήμα πριν το προηγούμενο. Μόνο στο επόμενο προς τα πίσω σήμα υπάρχει πράσινη ένδειξη (πλήρης ταχύτητα). Παραλλαγή του συστήματος αυτού αποτελεί το σύστημα τριών ενδείξεων (κόκκινο, κίτρινο και πράσινο).

Με το σύστημα **σηματοδότησης πολλαπλών ενδείξεων** δίνεται σε ένα γρήγορο τρένο η προειδοποίηση απαγορευτικού (κόκκινο), τουλάχιστον δύο μήκη αποκλεισμού πριν το τρένο πλησιάσει στο σήμα αυτό. Φυσικά οι ίδιες ενδείξεις δίνονται και σε ένα βραδύτερα κινούμενο προαστιακό τρένο, του οποίου όμως ο μηχανοδηγός γνωρίζει, ότι δεν χρειάζεται να αρχίσει να επιβραδύνει, παρά μόνο αφού φτάσει (ή προσπεράσει) το μονό κίτρινο σήμα, γιατί κινείται με μικρότερη ταχύτητα. Σε περιόδους αιχμών κυκλοφορίας, τα τρένα αυτά θα κινούνται λοιπόν με την κανονική τους ταχύτητα, κάτω από μια διαδοχή κίτρινων σημάτων, πράγμα που επιτρέπει την απαιτούμενη μεγάλη συχνότητα κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή, τα τρένα κινούνται με μικρές **χρονοαποστάσεις (headways)**.



3.3.7. Χρονοαποστάσεις

Για να παρασχεθεί συχνή σιδηροδρομική υπηρεσία, τα διαστήματα χρόνου μεταξύ των τρένων πρέπει να είναι βραχεία, δηλαδή τα τρένα πρέπει να κυκλοφορούν με μικρές **χρονοαποστάσεις (headways)**.

Θεωρείται γενικά αποδεκτό, ότι 30 τρένα την ώρα κινούμενα σε μια γραμμή κατά την ίδια κατεύθυνση αποτελούν πρακτικώς το όριο της χωρητικότητας μιας μεγάλης πυκνότητας προαστιακής ή αστικής σιδηροδρομικής υπηρεσίας. Αυτό είναι το ισοδύναμο **λειτουργικής χρονοαπόστασης** (*operating headway*) 2 λεπτών, όπου τρένα περνούν μπροστά από ένα σημείο κάθε 2 λεπτά. Η λειτουργική χρονοαπόσταση δεν ταυτίζεται με την χρονοαπόσταση σηματοδότησης.

Η **χρονοαπόσταση σηματοδότησης** (*signalling headway*) είναι μικρότερη από τη λειτουργική χρονοαπόσταση και αποτελεί συνάρτηση της σιδηροδρομικής υπηρεσίας που θα μπορούσε να λειτουργήσει, αν όλα τα τρένα κυκλοφορούσαν με τη μέγιστη ταχύτητα για την οποία έχει σηματοδοτηθεί η γραμμή, χωρίς διακυμάνσεις. Στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να επιτευχθεί, λόγω διαφορών στη γεωμετρία της γραμμής, στις τεχνικές μηχανοδότησης, σε μικροσφάλματα προσαρμογής στο δρομολόγιο, σε διακυμάνσεις της ταχύτητας, κλπ. Προστίθεται λοιπόν ένα περιθώριο στη χρονοαπόσταση σηματοδότησης, ώστε να παρέχεται στη σιδηροδρομική επιχείρηση λογική χρονοαπόσταση κυκλοφορίας των τρένων.

Κατά την Διεθνή Ένωση Σιδηροδρόμων (*International Union of Railways - UIC*), η λειτουργική χρονοαπόσταση δρομολογίων βασικών αξόνων (*main line*), διάρκειας μεγαλύτερης της μιας ώρας, πρέπει να προκύπτει από την προσαύξηση της χρονοαπόστασης σηματοδότησης κατά 67%. Για πυκνή υπηρεσία τύπου μετρό σε ώρα αιχμής, η συνιστώμενη αντίστοιχη προσαύξηση είναι 33%.

Το βρετανικό σύστημα σηματοδότησης τεσσάρων ενδείξεων (πράσινο, διπλό κίτρινο, κίτρινο, κόκκινο) επιτρέπει χρονοαπόσταση σηματοδότησης 90 δευτερολέπτων (40 τρένα/ώρα) για ταχύτητες έως 160 χλμ/ώρα. Η λειτουργική χρονοαπόσταση (χρονοαπόσταση σηματοδότησης προσαυξημένη κατά 33%) επιτρέπει την κυκλοφορία 30 τρένων/ώρα.

3.3.8. Ζώνες Ταχυτήτων

Ένα τρένο που πλησιάζει απαγορευτικό (κόκκινο) σήμα, περνά διαδοχικά μέσω μιάς σειράς ζωνών ταχυτήτων. Το πράσινο σήμα επιτρέπει τη χρησιμοποίηση της ζώνης των υψηλότερων ταχυτήτων. Το διπλό κίτρινο (εφ' όσον προβλέπεται) επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μιας πιο περιοριστικής ζώνης, το κίτρινο ακόμη πιο περιοριστικής και το κόκκινο επισημαίνει τη ζώνη μηδενικής ταχύτητας.

Η ταχύτητα του τρένου, καθώς αυτό περνά στις διαδοχικές ζώνες ταχυτήτων, ελέγχεται χειροκίνητα από τον μηχανοδηγό, ο οποίος χρησιμοποιεί τη γνώση του για το τροχαίο υλικό που κινεί, τις τοπικές συνθήκες, τις θέσεις των σημάτων και τις συνθήκες πέδησης, ώστε να υπολογίσει την ταχύτητα με την οποία πρέπει να κυκλοφορεί. Στη Βρετανία, αν κυκλοφορεί μέσω διαδοχής κίτρινων σημάτων, θα πρέπει επίσης να ακυρώνει τη σειρά του συστήματος προειδοποίησης AWS σε κάθε κίτρινο σήμα που περνά. Πολλά εξαρτώνται από την εμπειρία και τη ικανότητά του να παίρνει αποφάσεις, καθώς επίσης και από την ικανότητά του να διακρίνει ένα ήχο σειράς προειδοποίησης κίτρινου χρώματος από ήχο σειράς κόκκινου χρώματος. Τα σιδηροδρομικά ατυχήματα στη διάρκεια των ετών έχει δείξει, ότι και οι μηχανοδηγοί μπορεί να κάνουν λάθη.

3.3.9. Σταθερά και Κινητά Μήκη Αποκλεισμού

Σε συμβατικό **σύστημα αυτόματου αποκλεισμού** (*automatic block system*), η επιτρεπόμενη χρονοαπόσταση (*headway*) μεταξύ δύο τρένων προσδιορίζεται από το σταθερό μήκος κάθε μήκους αποκλεισμού και είναι συνεπώς αμετάβλητη. Οι εξελίξεις της ηλεκτρονικής έχουν επιτρέψει τη λειτουργία **συστημάτων «κινητού αποκλεισμού»** (*"moving block" system*), στα οποία το μήκος αποκλεισμού προσδιορίζεται όχι από την σταθερή απόσταση στο έδαφος, αλλά από τη σχετική απόσταση και ταχύτητες μεταξύ διαδοχικών τρένων. Σε ένα τυπικό σύστημα «κινητού αποκλεισμού» (*"moving block" system*), συσκευές στις γραμμές μεταδίδουν σε δέκτες, που βρίσκονται σε κάθε τρένο, συνεχείς κωδικοποιημένες πληροφορίες σχετικές με τα προπορευόμενα τρένα. Ειδική συσκευή επί του τρένου συγκρίνει τις πληροφορίες αυτές με τη θέση και ταχύτητα του τρένου, προεκτιμά την απόσταση ασφαλούς ακινητοποίησης του τρένου έναντι του προπορευόμενου και υπολογίζει συνεχώς τη μέγιστη ταχύτητα, ώστε να συντηρείται η απόσταση ασφαλείας.

Τα συστήματα «κινητού αποκλεισμού» (*"moving block" systems*), αναπτύχθηκαν κυρίως για χρήση σε **αστικά** σιδηροδρομικά συστήματα με μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας σε ώρες αιχμής και στα οποία οι ταχύτητες κυκλοφορίας των τρένων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές. Στα συστήματα αυτά, η εφαρμογή του «κινητού αποκλεισμού» μεγαλώνει τη δυνατότητα διέλευσης τρένων από μία σιδηροδρομική γραμμή στη μονάδα του χρόνου.

3.4. Αυτόματη Προστασία Συρμών (ATP)

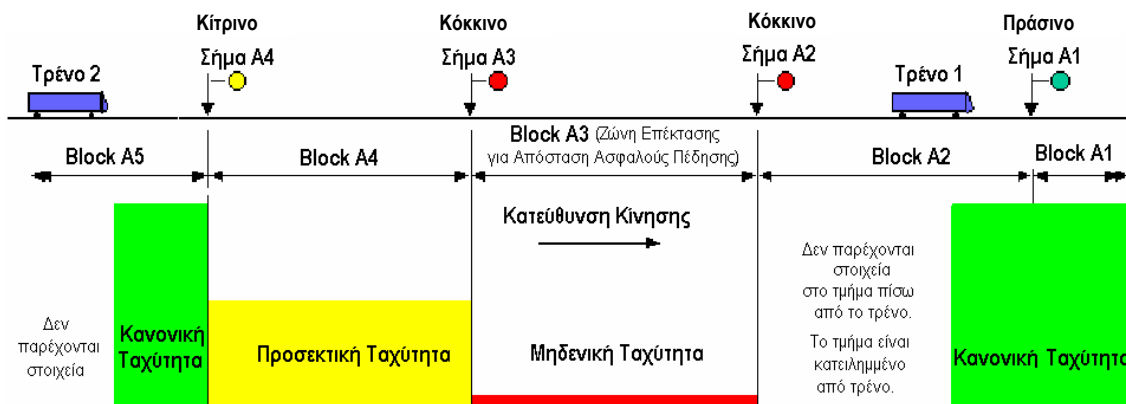
Μια βασική μορφή **αυτομάτου ελέγχου συρμών** (*automatic train control*) άρχισε να χρησιμοποιείται στα μεγάλα σιδηροδρομικά δίκτυα από τη δεκαετία του 1920, ώστε να εξασφαλίζεται η υπακοή των μηχανοδηγών στα απαγορευτικά σήματα. Όταν η ένδειξη σηματοδότησης είναι απαγορευτική, ενεργοποιείται ηλεκτρομαγνητική συσκευή μεταξύ των σιδηροτροχιών, η οποία εκπέμπει ηχητική προειδοποίηση στον θάλαμο μηχανοδήγησης κάθε τρένου, που περνά πάνω από τη συσκευή αυτή. Αν ο μηχανοδηγός αποτύχει να αντιδράσει κατάλληλα μέσα σε ορισμένο μικρό χρονικό διάστημα, τίθεται αυτομάτως σε λειτουργία το σύστημα πέδησης του τρένου.

Η εξέλιξη της εφαρμογής αυτής, γνωστή γενικά με τον όρο **Αυτόματη Προστασία Συρμών** (*Automatic Train Protection - ATP*), αναπτύσσεται συνεχώς από τη δεκαετία του 1950, ώστε να παρέχει συνεχή έλεγχο της ταχύτητας των τρένων. Το σύστημα Αυτόματης Προστασίας Συρμών έχει κυρίως εφαρμοστεί σε πυκνής κυκλοφορίας αστικές και προαστιακές σιδηροδρομικές γραμμές, καθώς και στις γραμμές υψηλών ταχυτήτων των προηγμένων σιδηροδρομικών δικτύων στην Ευρώπη και την Ιαπωνία.

Στο σύστημα Αυτόματης Προστασίας Συρμών, οπτικές ενδείξεις στο θάλαμο μηχανοδήγησης είτε αναπαράγουν τις ενδείξεις των φανών σηματοδότησης κατά την κατεύθυνση κίνησης του τρένου, είτε παρέχουν μέχρι δέκα διαφορετικές οδηγίες, σχετικές με τη διατήρηση της ταχύτητας, την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση, σε σχέση με την κατάσταση της γραμμής εν όψει. Η αποτυχία του μηχανοδηγού να ανταποκριθεί σε περιοριστική οδηγία συνεπάγεται την αυτόματη έναρξη πέδησης και μείωσης της

παρεχομένης ισχύος. Οι ενδείξεις στον θάλαμο μηχανοδήγησης ενεργοποιούνται μέσω της επί του συρμού επεξεργασίας κωδικοποιημένων σημάτων, που διοχετεύονται είτε μέσω των σιδηροτροχιών είτε μέσω κυκλωμάτων καλωδίων προσαρμοσμένων στις σιδηροτροχιές. Τα σήματα αυτά συλλέγονται από το τρένο μέσω αγωγίων συρμάτων. Σε μερικές γραμμές κυκλοφορίας επιβατικών τρένων υψηλών ταχυτήτων η λειτουργία του συστήματος ATP προϋποθέτει την απαγόρευση χρήσης της παραδοσιακής σηματοδότησης παρά την γραμμή.

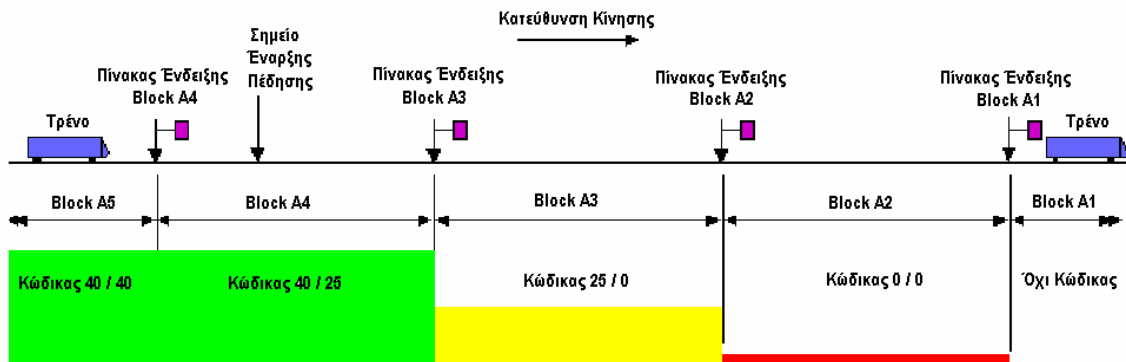
Ένα σύστημα ATP αποτελείται από σειρά ζωνών ταχυτήτων, που εμφανίζονται πίσω από το προπορευόμενο τρένο, ώστε να μειώσουν κατά βήματα την ταχύτητα του τρένου που ακολουθεί, καθώς αυτό πλησιάζει. Σε όρους συμβατικής σηματοδότησης, κάθε ζώνη ταχυτήτων είναι το ισοδύναμο ενός τμήματος αποκλεισμού:



- Στο τμήμα του κατειλημμένου τμήματος πίσω από το προπορευόμενο τρένο, η επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι φυσικά μηδενική. Πρόκειται για το κατειλημμένο τμήμα.
- Στο επόμενο τμήμα πίσω από το κατειλημμένο, η επιτρεπόμενη ταχύτητα είναι επίσης μηδενική. Πρόκειται για την «επέκταση» (*overlap*) ή «απόσταση ασφαλούς πέδησης» (*safe braking distance*). Αν το τρένο που ακολουθεί επιχειρήσει να εισέλθει στο τμήμα αυτό, θα παρεμποδιστεί αυτομάτως. Βέβαια και ο μηχανοδηγός, υπό φυσιολογικές συνθήκες, θα σταματήσει το τρένο πριν εισέλθει στην απαγορευμένη περιοχή. Τα συστήματα ATP επιτρέπουν αυτή την ελευθερία του μηχανοδηγού, αλλά παρεμβαίνουν και σταματούν το τρένο αυτομάτως όταν αναγνωρίζουν την κατάσταση ως κρίσιμη.
- Τα προηγούμενα τμήματα περιορίζουν προοδευτικά την ταχύτητα του τρένου, με τον τρόπο που ήδη περιγράφηκε. Το σύστημα δίνει στο τρένο μια μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, με την οποία πρέπει να προσεγγίσει το όριο της ζώνης. Παραβίαση αυτής της ταχύτητας συνεπάγεται την εφαρμογή αυτόματης πέδησης.

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα μετρό χρησιμοποιούν τέτοιο σύστημα Αυτόματης Προστασίας Συρμών (ATP), σε συνδυασμό με σύστημα Αυτόματης Λειτουργίας Συρμών (*automatic train operation - ATO*), που σημαίνει ότι δεν απαιτείται δράση του μηχανοδηγού.

Τα τρένα υψηλών ταχυτήτων *TGV* των Γαλλικών Σιδηροδρόμων (*SNCF*) χρησιμοποιούν παρόμοιο σύστημα, αλλά καθοδηγούνται από μηχανοδηγούς.



Οι εξελίξεις της Ηλεκτρονικής έχουν καταστήσει απλή την προμήθεια και εγκατάσταση συστημάτων *ATP*. Όμως, τα συστήματα αυτά προϋποθέτουν ότι, για όλα τα τρένα που κυκλοφορούν, το απαιτούμενο μήκος πέδησης για ακινητοποίηση είναι το ίδιο. Αυτό συμβαίνει σε γραμμές μετρό ή σε γραμμές αποκλειστικής (*dedicated*) κυκλοφορίας, όπως οι γραμμές των *TGV*. Αντίθετα, στους περισσότερους βασικούς (*main line*) σιδηροδρομικούς άξονες τα πράγματα είναι διαφορετικά. Εδώ κυκλοφορούν πολλοί διαφορετικοί τύποι τρένων, ο καθένας με τα δικά του χαρακτηριστικά πέδησης, πράγμα που αποτελεί και ένα από τους λόγους, για τους οποίους οι περισσότεροι συμβατικοί (*main line*) σιδηρόδρομοι δεν έχουν εγκαταστήσει συστήματα *ATP*.

3.4.1. Αυτόματα Συστήματα Ελέγχου

Διάφορες συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται στη σιδηροδρομική βιβλιογραφία και βιομηχανία αναφέρονται σε διαφορετικά συστήματα ελέγχου. Ας προσπαθήσουμε να διευκρινίσουμε τι πρέπει να γίνεται κατανοητό σε κάθε περίπτωση.

3.4.1.1. *ATP*

Το σύστημα *ATP* (Αυτόματη Προστασία Συρμών - *Automatic Train Protection*) έχει ήδη περιγραφεί. Τα τρένα που χρησιμοποιούν *ATP* μπορούν (και αυτό γίνεται συχνά) να καθοδηγούνται χειροκίνητα από τον μηχανοδηγό, που ελέγχει τις λειτουργίες κίνησης και πέδησης. Ο κεντρικός έλεγχος δεν είναι απαραίτητος, δεδομένου ότι η αξιοπιστία του συστήματος εξασφαλίζεται τοπικά. Παρ' όλ' αυτά, ο κεντρικός έλεγχος παρέχεται επίσης ως δυνατότητα κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος *ATP*.

3.4.1.2. *ATO*

Με το σύστημα *ATO* (Αυτόματη Λειτουργία Συρμών - *Automatic Train Operation*) ελέγχεται η κίνηση και πέδηση ενός τρένου. Δεδομένου ότι με το σύστημα αυτό ο μηχανοδηγός δεν έχει έλεγχο των παραπάνω, με την εγκατάσταση *ATO* είναι επίσης απαραίτητη και η εγκατάσταση συστήματος *ATP*. Το σύστημα *ATO* δεν μπορεί να

λειτουργήσει χωρίς *ATP*. Τα περισσότερα συστήματα *ATO* επιτρέπουν στον μηχανοδηγό να λειτουργήσει χειροκίνητα, χωρίς όμως να μπορεί να παραβιάσει το σύστημα *ATP*. Ούτε στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η εγκατάσταση κεντρικού ελέγχου, η οποία όμως συνήθως παρέχεται.

3.4.1.3. *ATC*

Το σύστημα *ATC* (Αυτόματος Έλεγχος Συρμών - *Automatic Train Control*) αποτελεί τον συνδυασμό των συστημάτων *ATP* και *ATO*, που περιγράφηκαν ανωτέρω.

3.4.1.4. *ATS*

Το σύστημα *ATS* (Αυτόματη Εποπτεία Συρμών - *Automatic Train Supervision*) βασίζεται στον κεντρικό έλεγχο των κινήσεων των τρένων. Χρησιμοποιήθηκε πριν καταστούν διαθέσιμα τα συστήματα *ATO* ή *ATP*. Το κέντρο ελέγχου έχει πλήρη εικόνα των κινήσεων και μπορεί να τις οργανώσει με τον απαιτούμενο τρόπο. Αυτό γινόταν αρχικά μέσω τηλεφωνικών μηνυμάτων προς τους χειριστές της σηματοδότησης τοπικών διαδρομών. Στις μέρες μας γίνεται είτε αυτόματα από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, είτε, όταν απαιτείται για τη διόρθωση κάποιας διατάραξης του πλέγματος δρομολογίων, χειροκίνητα από τον ρυθμιστή κυκλοφορίας.

3.4.2. Περιορισμοί του Συστήματος *ATP*

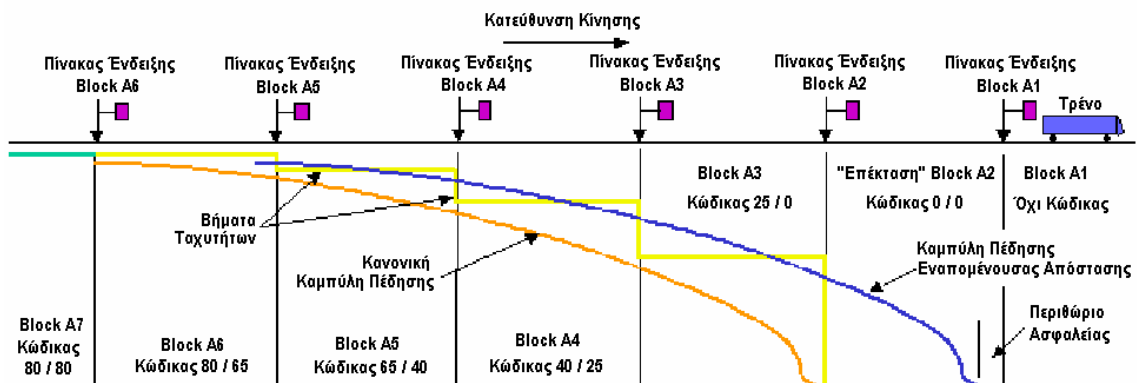
Παρ' όλα τα πλεονεκτήματα ασφαλείας που παρέχει το σύστημα *ATP*, έχει και αυτό τους περιορισμούς του. Ένα παράδειγμα είναι ο περιορισμός της χωρητικότητας της γραμμής. Το σύστημα *ATP* που περιγράφηκε πιο πάνω χρησιμοποιεί την έννοια των ζωνών ταχυτήτων, οι οποίες προοδευτικά περιορίζουν την ταχύτητα ενός τρένου, καθώς αυτό πλησιάζει κόκκινο σήμα. Από την περιγραφή φάνηκε, ότι προκειμένου να υπάρξει εγγύηση ότι δεν υφίσταται κίνδυνος σύγκρουσης, είναι αναγκαίο να διατηρείται εκτός χρήσης ένα μη κατειλημμένο τμήμα, η επέκταση δηλαδή της ζώνης μηδενικής ταχύτητας πριν το κατειλημμένο τμήμα. Η επιβολή ενός πρόσθετου σηματοδοτούμενου τμήματος μεταξύ δύο διαδοχικών τρένων, που αυξάνει τη μεταξύ τους απόσταση, αυξάνει επίσης και την χρονοαπόσταση, μειώνει δηλαδή τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών (*paths*) για την κυκλοφορία τρένων στη μονάδα του χρόνου.

Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού είναι η αύξηση του αριθμού των τμημάτων αποκλεισμού (*block sections*), έτσι ώστε τα τμήματα επέκτασης (*overlap sections*) να είναι βραχύτερα και να αντιστοιχούν ακριβέστερα στο μήκος πέδησης, σε κάθε σημείο. Αυτή η λύση όμως είναι δαπανηρή. Προϋποθέτει περισσότερα κυκλώματα γραμμής και εξοπλισμό. Ένας άλλος τρόπος είναι να προβλέπεται κάποιος τρόπος ελέγχου της ταχύτητας και να συγκρίνεται αυτή με τη **εναπομένουσα απόσταση** (*distance to go*) μέχρι το επόμενο σήμα.

3.4.3. Εναπομένουσα Απόσταση

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα *ATP* περιλαμβάνουν τώρα, στο θάλαμο μηχανοδήγησης, τα χαρακτηριστικά πέδησης (*braking profile*) του τρένου. Με τον

τρόπο αυτόν ελέγχεται αν το τρένο παραμένει πάντοτε εντός των περιοριστικών ορίων ταχύτητας, καθώς πλησιάζει κατειλημμένο τμήμα, όπως τα όρια αυτά προκύπτουν από την καμπύλη επιβράδυνσης της ταχύτητας του υπόψη τρένου. Μικροϋπολογιστής επί του τρένου παραλαμβάνει ενδείξεις (α) της τρέχουσας ταχύτητας, (β) της απόστασης του από το επόμενο σηματοδοτούμενο τμήμα (εναπομένουσα απόσταση), και (γ) του ορίου ταχύτητας στο επόμενο τμήμα (ταχύτητα-στόχος) και εξασφαλίζει συνεχώς, ότι η τρέχουσα ταχύτητα βρίσκεται σε επίπεδα, που επιτρέπουν την επίτευξη της ταχύτητα-στόχου πριν την είσοδο στο επόμενο τμήμα. Αν το τρένο παραβιάσει τα όρια της καμπύλης ταχύτητας, προκαλείται αυτομάτως εφαρμογή πέδης.

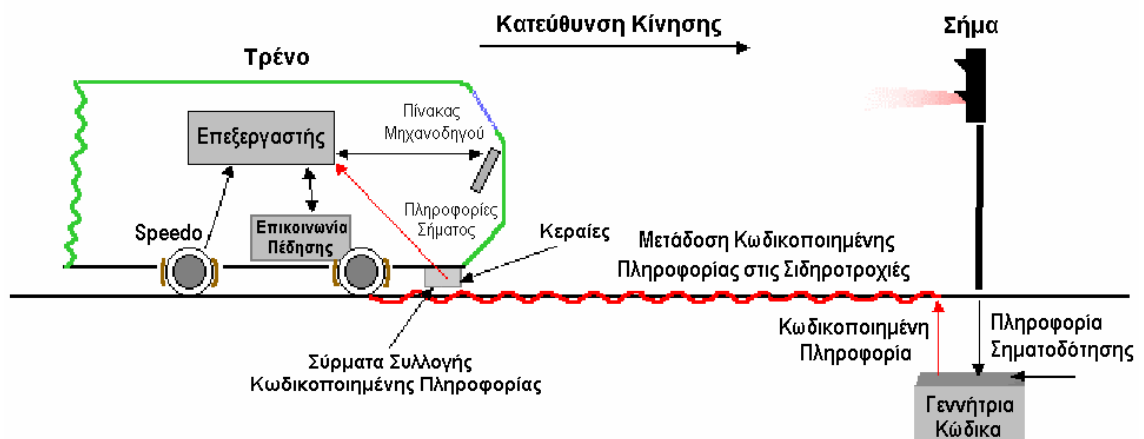


Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών πέδης (*brake profile*) της μεθόδου εναπομένουσας απόστασης (*distance-to-go scheme*) βασίζεται στη γνώση των δυνατοτήτων πέδησης του τρένου. Η γνώση αυτή χρησιμοποιείται για να ελέγχεται συνεχώς η μείωση της ταχύτητας του τρένου, καθώς αυτό πλησιάζει το επόμενο τμήμα με την μειωμένη ανωτάτη ταχύτητα. Η μέθοδος της εναπομένουσας απόστασης αντικαθιστά παλαιότερη μέθοδο, με την οποία ελεγχόταν απλώς η ταχύτητα του τρένου, σε σχέση με την ανωτάτη επιτρεπόμενη ταχύτητα στο υπόψη τμήμα.

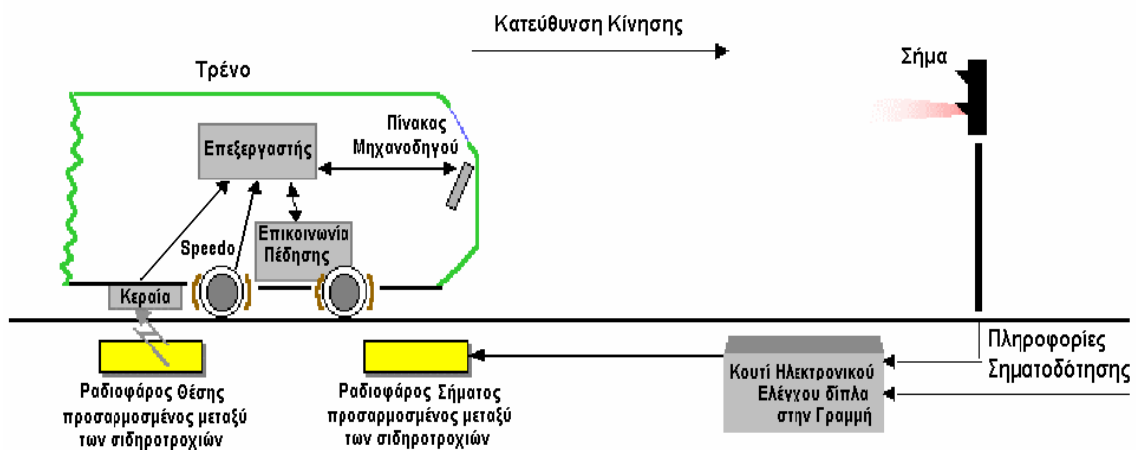
3.4.4. Συνεχής Μετάδοση και Ραδιοφάροι

Στα συστήματα ATP υπάρχουν δύο τρόποι να φτάνουν στο τρένο οι πληροφορίες για την επιτρεπόμενη ταχύτητα και την κατάσταση του επόμενου μήκους αποκλεισμού. Ένας τρόπος είναι η συνεχής μετάδοση. Ο άλλος είναι η χρήση προσαρμοσμένων στη γραμμή ραδιοφάρων (*beacons, balises*).

Το σύστημα συνεχούς μετάδοσης χρησιμοποιεί κυκλώματα γραμμής ή βρόγχους καλωδίων μεταξύ των γραμμών, για τη μετάδοση πληροφοριών στο τρένο, καθώς αυτό κινείται. Ένα ζεύγος συρμάτων συλλογής, που κρέμονται κάτω από το εμπρόσθιο τμήμα του τρένου, καταγράφουν τη ροή πληροφοριών και τη μεταβιβάζουν στον θάλαμο μηχανοδότησης, στους επεξεργαστές του συστήματος ATP.



Το σύστημα χρησιμοποιεί ραδιοφάρους, προσαρμοσμένους μεταξύ των σιδηροτροχιών. Το τρένο εκπέμπει συνεχή δέσμη, η οποία ενεργοποιεί αυτομάτως τον ραδιοφάρο καθώς περνά επάνω του και οι πληροφορίες μεταβιβάζονται στο τρένο.



Πλεονέκτημα του συστήματος ραδιοφάρων είναι η μικρότερη δαπάνη εγκατάστασης και η αποφυγή μέρους του πρόσθετου παρά την γραμμή εξοπλισμού. Μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι αφού τον τρένο περάσει τον ραδιοφάρο προσεγγίζοντας ένα σήμα, και εάν το σήμα μεταβληθεί σε λιγότερο απαγορευτική ένδειξη, οι σχετικές πληροφορίες δεν θα φτάσουν στο τρένο, παρά μόνο αφού περάσει πάνω από τον επόμενο ραδιοφάρο, πράγμα που μπορεί να συνεπάγεται άσκοπες μειώσεις ταχυτήτων ή ακινητοποιήσεις, δηλαδή μείωση της χωρητικότητας της γραμμής. Το πρόβλημα μπορεί σε μεγάλο βαθμό να θεραπευθεί με την πρόβλεψη για επιπλέον ραδιοφάρους κατά την προσέγγιση στα σήματα.



Ραδιοφάρου (beacons, balises)

3.4.5. ATP και Διάφοροι Τύποι Τρένων

Ένα από τα προβλήματα των συστημάτων *ATP*, που αφορά τους συμβατικούς σιδηροδρόμους σε βασικούς (*main line*) άξονες, είναι η εξ' ορισμού αδυναμία των συστημάτων αυτών να αντιμετωπίσουν προβλήματα διαφορετικών ταχυτήτων και διαφορετικών δυνατοτήτων πέδησης διαφόρων κατηγοριών τρένων. Για να είναι εγγυημένη η αξιοπιστία οποιουδήποτε συστήματος *ATP*, η σιδηροδρομική επιχείρηση που το χρησιμοποιεί πρέπει να είναι σε θέση να εγγυηθεί, ότι κανένα από τα τρένα που χρησιμοποιούν το σύστημα αυτό δεν θα παραβιάσει την απόσταση ασφαλούς πέδησης, με βάση την οποία έχει κατασκευαστεί το σύστημα. Μέχρι τώρα κανένα σύστημα *ATP* δεν μπορεί να εγγυηθεί κάτι τέτοιο. Πλησιέστερα έχει φτάσει ένα σύστημα, που απαιτεί από τον μηχανοδηγό, πριν την έναρξη του ταξιδιού, να εισάγει τα χαρακτηριστικά του τρένου στον υπολογιστή του θαλάμου μηχανοδήγησης. Ασφαλώς κάτι τέτοιο προϋποθέτει, ότι ο μηχανοδηγός δεν εισάγει εσφαλμένα στοιχεία.

3.5. Τηλεδιοίκηση

3.5.1. Αλληλεξάρτηση (Interlocking) και Προσδιορισμός Διαδρομής (routing)

Η αλληλεξάρτηση (*interlocking*) στις σιδηροδρομικές διασταυρώσεις (*crossings*) και τους σιδηροδρομικούς κόμβους (*junctions*) αποτρέπει την ένδειξη σήματος ελεύθερης κυκλοφορίας σε τρένο μιας διαδρομής, όταν σήμα ελεύθερης κυκλοφορίας έχει ήδη δοθεί σε άλλο τρένο, κινούμενο σε ανταγωνιστική διαδρομή.

Οι προσπάθειες για τη μηχανική αλληλεξάρτηση (*mechanical interlocking*) αλλαγών τροχιάς (*switches*) και σηματοδότησης ξεκίνησαν στη Γαλλία (1855) και τη Βρετανία (1856). Η αλληλεξάρτηση επιτυγχανόταν μέσω σειράς αλληλεπιδρυσών ράβδων, συνδεδεμένων στους μοχλούς λειτουργίας της σηματοδότησης στη θέση σηματοδότησης (*signal box*). Η φυσική διάταξη των ράβδων απέτρεπε τον προσδιορισμό ανταγωνιστικών κινήσεων.

Με τη βελτίωση των συστημάτων, μεγάλοι θάλαμοι σηματοδότησης σε σύνθετους σιδηροδρομικούς κόμβους είχαν τεράστια πλαίσια μοχλών αλληλεξάρτησης.

Αργότερα, καθώς οι μοχλοί σηματοδότησης αντικαταστάθηκαν από μικροσκοπικούς μοχλούς ή κουμπιά, τα πλαίσια μηχανικής σηματοδότησης αντικαταστάθηκαν από αλληλεξαρτήσεις μέσω ηλεκτρονόμων (*relay interlockings*). Ηλεκτρο-μαγνητικοί ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούντο εν σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται ο ασφαλής προσδιορισμός διαδρομής σε σιδηροδρομικούς κόμβους. Σχεδιάζονταν σύνθετοι πίνακες ελέγχου, που έδειχναν τον τρόπο αλληλεπίδρασης των ηλεκτρονόμων και εξασφάλιζαν την ασφάλεια και αξιοπιστία του συστήματος.

3.5.2. Διασύνδεση Στερεάς Κατάστασης

Η πιο σύγχρονη βελτίωση της αλληλεξάρτησης (*interlocking*) είναι η Αλληλεξάρτηση Στερεάς Κατάστασης (*Solid State Interlocking - SSI*), ένας τρόπος ελέγχου των απαιτήσεων ασφαλείας για την αλληλεξάρτηση σε σιδηροδρομικούς κόμβους με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, σε αντικατάσταση των ηλεκτρονόμων (*relays*), που χρησιμοποιούντο μέχρι τότε. Η Αλληλεξάρτηση Στερεάς Κατάστασης αναπτύχθηκε στη Βρετανία και εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά στον κόμβο Leamington Spa το 1985. Αποτελεί πλέον την προτιμώμενη εφαρμογή σε σύγχρονες εγκαταστάσεις σηματοδότησης.

Η προστασία από εσφαλμένη λειτουργία ή χειρισμό επιτυγχάνεται μέσω διπλών ή και τριπλών ελέγχων. Παράλληλα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών χρησιμοποιούνται για την εξέταση, με διαφορετικούς τρόπους, των ηλεκτρονικών εντολών προσδιορισμού διαδρομών. Η προσδιορισθείσα διαδρομή γίνεται αποδεκτή από το σύστημα μόνον εφ' όσον οι παραπάνω αυτόματες συγκρίσεις επιβεβαιώνουν όλες, ότι εξασφαλίζεται η κυκλοφορία σε ανταγωνιστικές διαδρομές.

3.5.3. Προσδιορισμός Διαδρομής και Αλληλεξάρτηση

Τα **συστήματα προσδιορισμού διαδρομής** (*route-setting systems*) ή **διασυνδεσης διαδρομής** (*route-interlocking systems*) αποτελούν σύγχρονες επεκτάσεις της παραπάνω αρχής της μηχανικής αλληλεξάρτησης.

Με τα συστήματα αυτά, ο χειριστής της σηματοδότησης ή ρυθμιστής κυκλοφορίας μπορεί να προσδιορίσει πλήρη σιδηροδρομική διαδρομή μέσω σύνθετης περιοχής σιδηροδρομικού δικτύου, πατώντας απλώς πλήκτρα επί ενός πίνακα ελέγχου.

3.6. Κεντρικός Έλεγχος Κυκλοφορίας

Η Ηλεκτρονική έχει ιδιαίτερος μεγεθύνει τις δυνατότητες ακριβούς (αλλά και οικονομικού από την άποψη της απαιτούμενης εργασίας) ελέγχου πυκνής σιδηροδρομικής κυκλοφορίας, παρέχοντας τη δυνατότητα να εποπτεύεται εκτεταμένη περιοχή από ένα κέντρο σηματοδότησης ή ρύθμισης της κυκλοφορίας.

Η εφαρμογή αυτή είναι ευρέως γνωστή ως **Κεντρικός Έλεγχος Κυκλοφορίας** (*Centralized Traffic Control - CTC*).

Στη Βρετανία, για παράδειγμα, ένα κέντρο τηλεδιοίκησης, έχοντας ως κέντρο μια βασική πόλη, μπορεί να καλύψει δίκτυο σε ακτίνα 320 χιλιομέτρων από αυτήν. Το ελεγχόμενο δίκτυο, χρησιμοποιούμενο από προαστιακά, *intercity* και εμπορικά τρένα, μπορεί να περιλαμβάνει 450 σημεία αλλαγών και 1.200 πιθανές εναλλακτικές διαδρομές.

Στις ΗΠΑ, οι σιδηρόδρομοι *Union Pacific Railroad Company* έχουν συγκεντρώσει το σύνολο της ρύθμισης της κυκλοφορίας επί του δικτύου τους στα κεντρικά τους γραφεία

στην Ομάχα της Νεμπράσκα. Η συγκέντρωση αυτή του ελέγχου σημάτων και αλλαγών τροχιάς είναι δυνατή, λόγω της ικανότητας των ηλεκτρονικών συστημάτων να μεταφέρουν μέσω ενός διαύλου επικοινωνιών πλήθος διαφόρων εντολών προς τις συσκευές εδάφους, ξεχωριστά κωδικοποιημένων, καθώς και να παραλαμβάνουν διαβεβαιώσεις εκτέλεσης των εντολών εξίσου ταχύτατα.

Η Ηλεκτρονική έχει πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες των κυκλωμάτων γραμμής. Ο διακεκριμένος αριθμός δρομολογίου, ή αλφαριθμητικός κωδικός ενός τρένου, εισάγεται στο σύστημα σηματοδότησης στο ελεγχόμενο με κύκλωμα γραμμής τμήμα αποκλεισμού, από το οποίο το τρένο αρχίζει το δρομολογίό του. Καθώς το τρένο μετακινείται από το ένα τμήμα αποκλεισμού στο επόμενο, η κατάληψη διαδοχικών κυκλωμάτων γραμμής προκαλεί αυτομάτως τη μετακίνηση του αριθμού ή κωδικού του στον πίνακα ελέγχου του κέντρου τηλεδιοίκησης, από τη μία θέση στην επόμενη. Όταν το τρένο περνά από την δικαιοδοσία ενός κέντρου τηλεδιοίκησης σε αυτήν του επομένου, ο κωδικός του εμφανίζεται αυτομάτως στον πίνακα ελέγχου του νέου κέντρου τηλεδιοίκησης. Οι πληροφορίες σε-πραγματικό-χρόνο (*real-time data*) για την πορεία κάθε τρένου, που παράγονται από ένα τέτοιο σύστημα, μπορούν να αξιοποιηθούν και να μεταδοθούν σε κάθε ενδιαφερομένο μέσα στη σιδηροδρομική επιχείρηση. Ειδικότερα, στους επιβατικούς σιδηροδρόμους, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν σε πίνακες ενημέρωσης κοινού στους σταθμούς. Στην ιδιαίτερη περίπτωση των αστικών και προαστιακών σιδηροδρομικών συστημάτων, η τηλεδιοίκηση των αλλαγών στους σιδηροδρομικούς κόμβους μπορεί να αυτοματοποιηθεί, όταν ο αριθμός ή κωδικός του τρένου παρέχει και την ένδειξη της διαδρομής του. Η ένδειξη αυτή αναγνωρίζεται ηλεκτρονικά από το σύστημα, καθώς το τρένο καταλαμβάνει το κύκλωμα γραμμής πλησιάζοντας στο σημείο αλλαγής κατεύθυνσης.

Από τα παραπάνω είναι προφανές, ότι τα μέσα για την πλήρη αυτοματοποίηση της σιδηροδρομικής λειτουργίας **υφίστανται**. Τα μέσα αυτά έχουν αξιοποιηθεί σε μερικά ιδιωτικά βιομηχανικά σιδηροδρομικά συστήματα από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το μεγαλύτερο μέρος από τις δυνατότητες αυτές έχει επίσης αξιοποιηθεί σε προηγμένα συστήματα μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (μετρό).

Η επέκταση της επεξεργασίας από ηλεκτρονικούς υπολογιστές των σε-πραγματικό-χρόνο πληροφοριών για την κίνηση των τρένων, οι οποίες έχουν ως πηγή τα κυκλώματα γραμμής, έχει περαιτέρω διευκολύνει τον έλεγχο της κυκλοφορίας στα μεγάλα σιδηροδρομικά δίκτυα. Στα πιο σύγχρονα Ευρωπαϊκά σιδηροδρομικά κέντρα, που ελέγχουν πυκνή κυκλοφορία επιβατικών τρένων, το προσωπικό ελέγχου έχει στη διάθεσή του: (α) γραφικές οθόνες σύγκρισης του πραγματικού δρομολογίου του τρένου με το θεωρητικό, (β) προβλέψεις για πιθανά προβλήματα σε κόμβους, όταν τα τρένα κινούνται με καθυστέρηση σε σχέση με το δρομολόγιο και (γ) συστάσεις για τη επανεξέταση των σχετικών προτεραιοτήτων των τρένων, ώστε να



Κεντρικός Έλεγχος Κυκλοφορίας

ελαχιστοποιηθεί η διατάραξη του πλέγματος των δρομολογίων.

Στις ΗΠΑ, όπου πολλές κύριες γραμμές είναι μονές, το **Σύστημα Ρύθμισης Κυκλοφορίας μέσω Η/Υ** (*Computer-Assisted Dispatching System - CADS*) μπορεί να απαλλάξει τον χειριστή από πολλή δουλειά ρουτίνας. Στο κέντρο ελέγχου του σιδηροδρόμου *Union Pacific* στην *Omaha* των ΗΠΑ, από τη στιγμή που ο ρυθμιστής κυκλοφορίας εισάγει τον κωδικό και την κατηγορία προτεραιότητας ενός τρένου, το σύστημα αυτομάτως προσδιορίζει αντιστοίχως τη διαδρομή του, καθορίζοντας και τον τρόπο υπέρβασης μεταξύ αυτού και των άλλων τρένων, σύμφωνα με την κατηγορία προτεραιότητας ενός εκάστου. Το σύστημα *CADS*, στη βάση της πραγματικής κυκλοφορίας των τρένων και των μεταβαλλόμενων συνθηκών στη γραμμή, ανανεώνει και τροποποιεί αυτομάτως και συνεχώς τις παραδοχές του. Στον ρυθμιστή παρέχεται η δυνατότητα να παρέμβει και να πάρει αποφάσεις διαφορετικές από τις υποδεικνυόμενες από το σύστημα.

Στις πρώτες εγκαταστάσεις Κεντρικού Ελέγχου Κυκλοφορίας (*CTC*) η γραμμολογία, τον έλεγχο της οποίας είχε το συγκεκριμένο κέντρο, παρουσιαζόταν μόνο σε μεγάλο πανοραμικό πίνακα ελέγχου, στον οποίο κατάλληλα τοποθετημένα φωτάκια παρουσίαζαν: (α) την ένδειξη κάθε αλλαγής και σήματος, (β) τα κατειλημμένα από τρένα τμήματα κυκλωμάτων γραμμής και (γ) σε παράθυρο, πάνω από κάθε κατειλημμένο τμήμα, τον κωδικό του συγκεκριμένου τρένου. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις, ο πίνακας ελέγχου περιελάμβανε και πλήκτρα για τον προσδιορισμό διαδρομής.

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις Κεντρικού Ελέγχου Κυκλοφορίας (*CTC*), ο μεγάλος πανοραμικός πίνακας ελέγχου διατηρείται εν γένει, αλλά οι ρυθμιστές είναι εφοδιασμένοι με έγχρωμες οθόνες, που παρουσιάζουν σε μεγαλύτερη κλίμακα την ειδική περιοχή ευθύνης τους. Σε πολλά συστήματα του είδους αυτού, η κίνηση του δρομέα (*cursor*) στην οθόνη με τη βοήθεια *light-pencil* ή *tracker-ball* αρκεί για τον προσδιορισμό της διαδρομής που πρέπει να μεταβληθεί. Εναλλακτικά, οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν αλφαριθμητικά πληκτρολόγια, στα οποία εισάγουν τους κωδικούς των νέων διαδρομών.

Στους βασικούς σιδηροδρομικούς άξονες της Βόρειας Αμερικής, ο ακριβής έλεγχος της κίνησης των τρένων είναι δυσκολότερος απ' ό,τι στην Ευρώπη, επειδή τα τμήματα αποκλεισμού έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος. Για να ξεπεράσουν το πρόβλημα αυτό, οι μεγάλες σιδηροδρομικές επιχειρήσεις των ΗΠΑ και του Καναδά συνεργάστηκαν στη διάρκεια τη δεκαετίας του 1980, για την εκπόνηση και εφαρμογή ενός **Ανεπτυγμένου Συστήματος Ελέγχου Συρμών** (*Advanced Train Control System - ATCS*), που θα αξιοποιούσε τις δυνατότητες της τεχνολογίας της μικροηλεκτρονικής και των επικοινωνιών. Στην πλήρη εφαρμογή του *ATCS*, τα τρένα στέλνουν συνεχώς και αυτομάτως στο κέντρο ελέγχου την ακριβή θέση και ταχύτητά τους, οι οποίες προσδιορίζονται από την ανάγνωση ενός σαρωτή (*scanner*) επί του τρένου των πληροφοριών που εκπέμπουν ραδιοφάροι της γραμμής.

Οι σιδηρόδρομοι *Burlington Northern* διερευνούν τη δυνατότητα ανάλυσης, από ηλεκτρονικό υπολογιστή επί του τρένου, των σημάτων που προέρχονται από

δορυφόρους προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης (*global positioning satellites*). Στο κέντρο ελέγχου, οι πληροφορίες από τα τρένα υφίστανται επεξεργασία, με στόχο να υπολογίσουν τη βέλτιστη ταχύτητα κάθε τρένου, σε σχέση με την προτεραιότητά του, την απόστασή του από άλλα τρένα που πρέπει να προσπεράσει και τα χαρακτηριστικά της διαδρομής. Από την ανάλυση αυτή συνεχώς ανανεούμενες εντολές μεταδίδονται στα τρένα και υφίστανται επεξεργασία από υπολογιστές στους θαλάμους μηχανοδότησης για την παραγωγή οπτικών ενδείξεων, ώστε τα τρένα να κυκλοφορούν με τη μέγιστη φροντίδα για λειτουργική αποτελεσματικότητα καθώς και για οικονομική κατανάλωση καυσίμου.

Παράδειγμα υπολογισμού των διαγραμμάτων χρόνου αποκλεισμού.

Ο χρονικός διαχωρισμός μεταξύ δύο συρμών καθορίζεται από τα μήκη αποκλεισμού και τις θέσεις των σημάτων. Στο απλό παράδειγμα που απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί, οι θέσεις αυτές ορίζονται ως εξής:

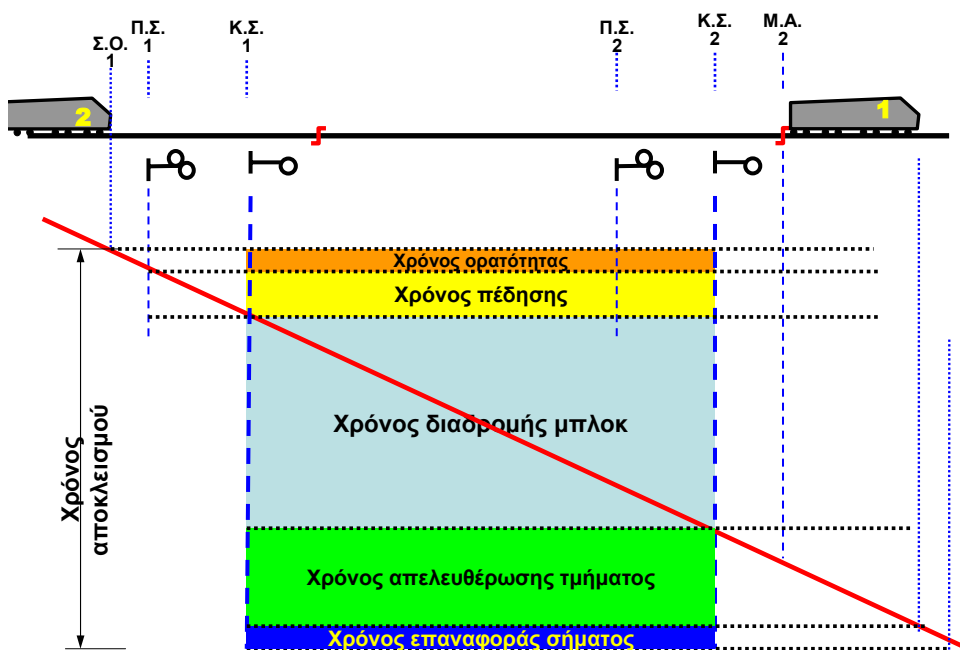
Σ.Ο.i η θέση του Σημείο Ορατότητας του προσήματος i

Π.Σ.i η θέση του Προσήματος i

Κ.Σ.i η θέση του Κυρίου Σήματος i

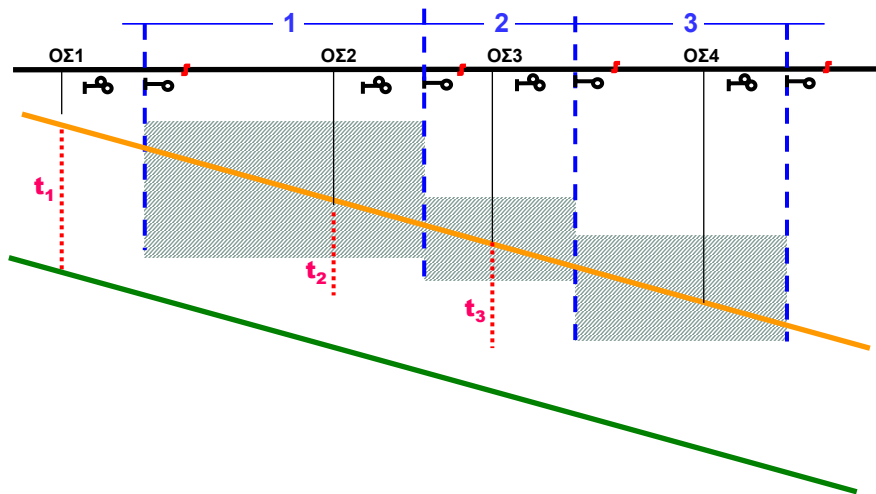
Μ.Α.i η θέση του πρώτου Μονωτικού Αρμού κατάντη του κυρίου σήματος i, δηλ. του μονωτικού αρμού του τμήματος [i-1, i].

Για να εξασφαλίσουμε ότι ο συρμός 2 δεν θα σταματήσει στον σηματοδότη 1, θα πρέπει την χρονική στιγμή που η κεφαλή του συρμού διέρχεται από το σημείο ορατότητας Σ.Ο.1 του προσήματος 1, το τμήμα αποκλεισμού να είναι ελεύθερο και να έχει ενεργοποιηθεί η κατάλληλη ένδειξη στο προσήμα 1. Η ένδειξη στο προσήμα 1, ότι το τμήμα αποκλεισμού είναι ελεύθερο ενεργοποιείται όταν ο τελευταίος άξονας του προπορευόμενου συρμού έχει διέλθει από τον κατάντη μονωτικό αρμό του τμήματος αποκλεισμού, και μετά την παρέλευση του απαραίτητου χρόνου για την επαναφορά του σήματος.

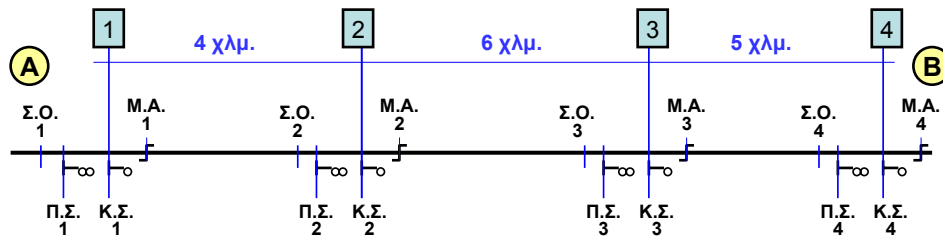


Με βάση τις θέσεις των σημάτων και την ταχύτητα ενός συρμού, μπορεί να υπολογισθεί η ακολουθία των τμημάτων αποκλεισμού. Αυτή η ακολουθία ορίζει τον ελάχιστο χρονικό διαχωρισμό της αμαξοστοιχίας που ακολουθεί και κινείται με μια συγκεκριμένη σταθερή ταχύτητα.

Ακολουθία τμημάτων αποκλεισμού



ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ – ΑΣΚΗΣΗ 1



- Συρμός με σταθερή ταχύτητα $v = 100$ χλμ/ώρα και μήκος $l=300\mu.$, κινείται από το Α στο Β
- Την χρονική στιγμή $t=0$, η κεφαλή του συρμού διέρχεται από το Σ.Ο.1 (σημείο όρασης 1 του προσήματος 1 - Π.Σ.1)
- Η απόσταση μεταξύ Σ.Ο. και Π.Σ. είναι 500
- Η απόσταση μεταξύ Π.Σ. και Κ.Σ. είναι 1000 μ
- Η απόσταση μεταξύ Κ.Σ. και Μ.Α. είναι 200 μ .

Με ποια σταθερή ταχύτητα θα πρέπει να κινείται ο συρμός που ακολουθεί, έτσι ώστε να τηρεί την ελάχιστη χρονική ακολουθία από τον προπορευόμενο συρμό στο σημείο Σ.Ο.1 ?

Δεν δίνονται στοιχεία για τον χρόνο επαναφοράς του σήματος και επομένως θεωρείται ίσος με μηδέν.

Χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες μεταβλητές:

Σ.Ο.i η θέση του Σημείο Ορατότητας του προσήματος i

Π.Σ.i η θέση του Προσήματος i

Κ.Σ.i η θέση του Κυρίου Σήματος i

Μ.Α.i η θέση του πρώτου Μονωτικού Αρμού κατάντη του κυρίου σήματος i , δηλ. του μονωτικού αρμού του τμήματος $[i-1, i]$.

Μ.Α.Κ.i η θέση από την οποία διέρχεται η κεφαλή του συρμού όταν ο τελευταίος άξονας του συρμού διέρχεται από την θέση **Μ.Α.i**.

L(y) είναι η απόσταση της θέσης y από το σημείο αναφοράς του συστήματος που για το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η θέση **Σ.Ο.1**. Θεωρούμε **L(Σ.Ο.1) = 0**

T_k(y) είναι η χρονική στιγμή που η κεφαλή της αμαξοστοιχίας k διέρχεται από την θέση y . Θεωρούμε ως αρχή του χρόνου μέτρησης, την χρονική στιγμή που ο συρμός 1 διέρχεται από το σημείο **Σ.Ο.1**, και επομένως **T₁(Σ.Ο.1) = 0**.

Για να εξασφαλισθεί ότι ο συρμός 2 που ακολουθεί δεν θα σταματήσει σε κανένα σηματοδότη, θα πρέπει για κάθε σηματοδότη i , να ισχύει η συνθήκη:

Ο ενωρίτερος χρόνος άφιξης του συρμού 2 στη θέση Σ.Ο.ι πρέπει να είναι μεταγενέστερος του χρόνου διέλευσης του τελευταίου άξονα του συρμού 1 από τον κατάντη μονωτικό αρμό του τμήματος αποκλεισμού [i, i+1], δηλ.

$$T_2(\Sigma.O.i) \geq T_1(M.A.K.i+1) \quad (3.1)$$

Για i=1,2,3, η σχέση (3.1) δίνει:

$$T_2(\Sigma.O.1) \geq T_1(M.A.K.2) \quad (3.1.a)$$

$$T_2(\Sigma.O.2) \geq T_1(M.A.K.3) \quad (3.1.β)$$

$$T_2(\Sigma.O.3) \geq T_1(M.A.K.4) \quad (3.1.γ)$$

Υπολογίζονται οι χρόνοι διέλευσης της κεφαλής του συρμού από τις θέσεις συρμού 1 από τις θέσεις των σημείων ορατότητας, προσημάτων, κυρίως σημάτων και μονωτικών αρμών.

Θέση x	Μήκος από Σ.Ο.1 L(x)	T1(x)
Σ.Ο.1	0	0
Π.Σ.1	500	18
Κ.Σ.1	1500	54
Μ.Α.Κ.1.	2000	72
Σ.Ο.2	4000	144
Π.Σ.2	4500	162
Κ.Σ.2	5500	198
Μ.Α.Κ.2.	6000	216
Σ.Ο.3	10000	360
Π.Σ.3	10500	378
Κ.Σ.3	11500	414
Μ.Α.Κ.3.	12000	432
Σ.Ο.4	15000	540
Π.Σ.4	15500	558
Κ.Σ.4	16500	594
Μ.Α.Κ.4.	17000	612

Για να τηρεί ο συρμός 2 την ελάχιστη χρονική ακολουθία από τον συρμό 1 στην θέση Σ.Ο.1, και να μην σταματήσει στον σηματοδότη 1, θα πρέπει η σχέση (3.1.a) να ισχύει σαν ισότητα:

$$T_2(\Sigma.O.1) = T_1(M.A.K.2) \quad (3.2)$$

Έστω V_2 η ταχύτητα του συρμού 2. Τότε από την ανισότητα (3.1.β) μπορούμε να ορίσουμε την ανώτατη ταχύτητα V_2 έτσι ώστε ο συρμός 2 που ακολουθεί να μην σταματήσει στον σηματοδότη 2.

$$\left. \begin{aligned} T_2(\Sigma.O.2) \geq T_1(M.A.K.3) &\Rightarrow T_2(\Sigma.O.1) + \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \geq T_1(M.A.K.3) \\ T_2(\Sigma.O.1) &= T_1(M.A.K.2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_1(M.A.K.2) + \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \geq T_1(M.A.K.3) \Rightarrow$$

$$V_2 \leq \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{T_1(M.A.K.3) - T_1(M.A.K.2)} \quad (3.3)$$

Εάν ισχύει η σχέση (3.3), από την ανισότητα (3.1.γ) μπορούμε να ορίσουμε την ανώτατη ταχύτητα V_2 έτσι ώστε ο συρμός 2 να μην σταματήσει στον σηματοδότη 3.

$$\left. \begin{aligned} T_2(\Sigma.O.3) \geq T_1(M.A.K.4) &\Rightarrow T_2(\Sigma.O.1) + \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \geq T_1(M.A.K.4) \\ T_2(\Sigma.O.1) = T_1(M.A.K.2) & \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

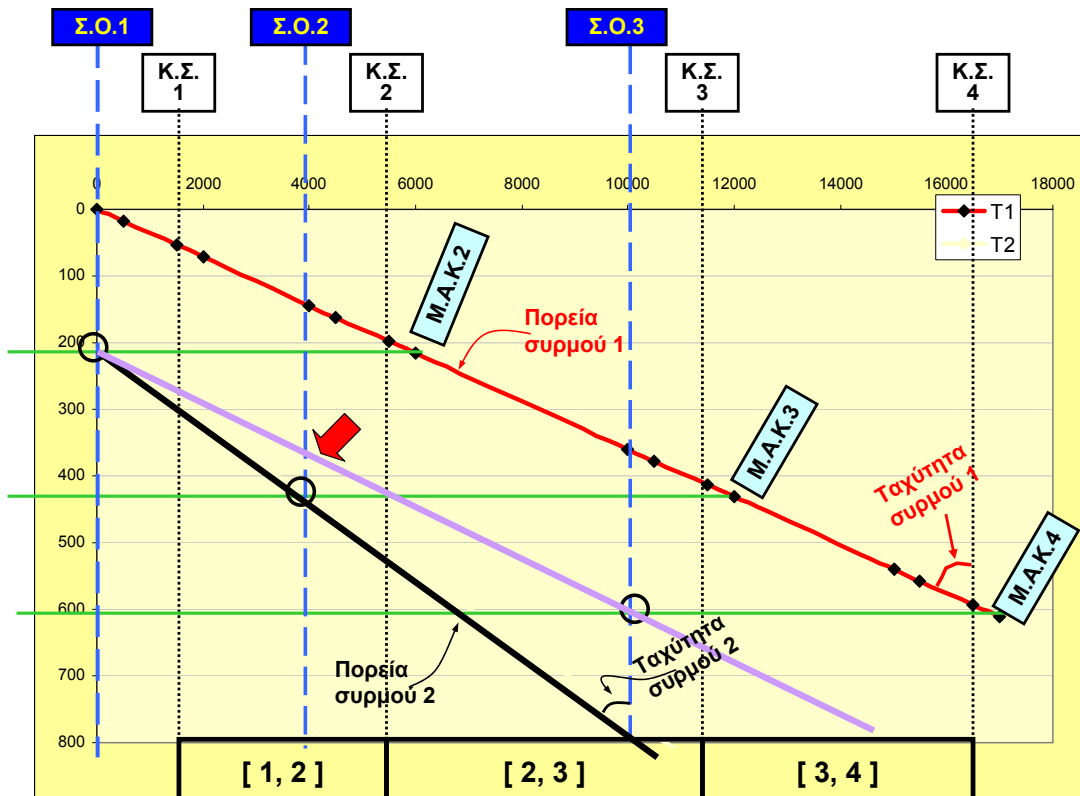
$$\begin{aligned} T_1(M.A.K.2) + \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} &\geq T_1(M.A.K.4) \Rightarrow \\ V_2 &\leq \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{T_1(M.A.K.4) - T_1(M.A.K.2)} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Η μέγιστη σταθερή ταχύτητα με την οποία πρέπει να κινείται ο συρμός 2 είναι η ελάχιστη εκ των δύο που υπολογίζονται από τις ανισότητες (3.3) και (3.4)

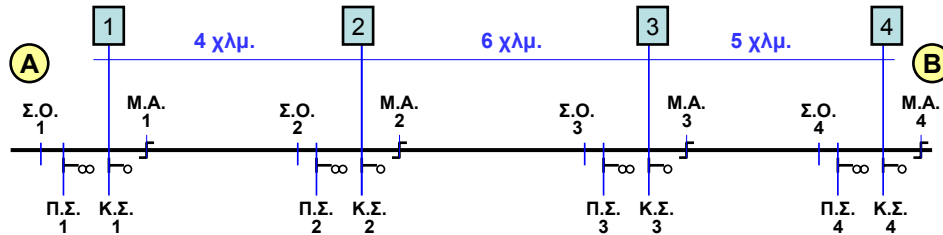
$$\max V_2 = \min \left\{ \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{T_1(M.A.K.3) - T_1(M.A.K.2)}, \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{T_1(M.A.K.4) - T_1(M.A.K.2)} \right\} \quad (3.5)$$

αντικαθιστώντας προκύπτει η τιμή της ταχύτητας του συρμού 2, $V_2 = 66,6$ χλμ/ωρα

Συνίσταται η γραφική απεικόνιση των ταχυτήτων και τμημάτων αποκλεισμού για έλεγχο των αποτελεσμάτων.



ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ – ΑΣΚΗΣΗ 2



- Συρμός με σταθερή ταχύτητα $v = 90$ χλμ/ώρα και μήκος $l=300$ μ., κινείται από το Α στο Β
- Την χρονική στιγμή $t=0$, η κεφαλή του συρμού διέρχεται από το Σ.Ο.1 (σημείο όρασης 1 του προσήματος 1 - Π.Σ.1)
- Ακολουθεί δεύτερος συρμός με σταθερή ταχύτητα $v = 120$ χλμ/ώρα και μήκος $l=300$ μ
- Η απόσταση μεταξύ Σ.Ο. και Π.Σ. είναι 500
- Η απόσταση μεταξύ Π.Σ. και Κ.Σ. είναι 1000 μ
- Η απόσταση μεταξύ Κ.Σ. και Μ.Α. είναι 200 μ.

Ποια είναι η ελάχιστη χρονική απόσταση μεταξύ των δύο συρμών στην χ.θ. 0+000, έτσι ώστε να κινούνται και οι δύο με σταθερή ταχύτητα ?

Για να κινείται ο συρμός 2 χωρίς να σταματήσει, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις:

$$T_2(\Sigma.O.1) \geq T_1(M.A.K.2) \quad (3.6.a)$$

$$T_2(\Sigma.O.2) \geq T_1(M.A.K.3) \quad (3.6.β)$$

$$T_2(\Sigma.O.3) \geq T_1(M.A.K.4) \quad (3.6.γ)$$

Ο χρονικός διαχωρισμός των δύο συρμών ισούται με την διαφορά του χρόνου άφιξης των δύο συρμών στην χ.θ. 0+000 δηλ. στο σημείο Σ.Ο.1. :

$$T_2(\Sigma.O.1) - T_1(\Sigma.O.1) = T_2(\Sigma.O.1) - 0 = T_2(\Sigma.O.1) :$$

Επομένως το ζητούμενο είναι να προσδιορισθεί η τιμή του $T_2(\Sigma.O.1)$.

Εκφράζουμε τις παραπάνω σχέσεις (3.6.α,β,γ) σαν συνάρτηση του χρονικού διαχωρισμού των δύο συρμών.

$$T_2(\Sigma.O.1) \geq T_1(M.A.K.2) \quad (3.7)$$

$$T_2(\Sigma.O.2) \geq T_1(M.A.K.3) \Rightarrow T_2(\Sigma.O.1) + \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \geq T_1(M.A.K.3) \Rightarrow$$

$$T_2(\Sigma.O.1) \geq T_1(M.A.K.3) - \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \quad (3.8)$$

$$T_2(\Sigma.O.3) \geq T_1(M.A.K.4) \Rightarrow T_2(\Sigma.O.1) + \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \geq T_1(M.A.K.4) \Rightarrow$$

$$T_2(\Sigma.O.1) \geq T_1(M.A.K.4) - \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \quad (3.9)$$

Ο ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός μεταξύ των δύο συρμών υπολογίζεται όταν οι παραπάνω σχέσεις (3.7), (3.8) και (3.9) ισχύουν σαν ισότητες. Δεδομένου ότι οι σχέσεις αυτές θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα, ο ελάχιστος χρονικός υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_2(\Sigma.O.1) = \max \left\{ \begin{array}{l} T_1(M.A.K.2), \quad T_1(M.A.K.3) - \frac{L(\Sigma.O.2) - L(\Sigma.O.1)}{V_2}, \\ T_1(M.A.K.4) - \frac{L(\Sigma.O.3) - L(\Sigma.O.1)}{V_2} \end{array} \right\} \quad (3.10)$$

Υπολογίζονται οι χρόνοι διέλευσης της κεφαλής του συρμού 1 από τις θέσεις των σημείων ορατότητας, προσημάτων, κυρίως σημάτων και μονωτικών αρμών.

Θέση x	Μήκος από Σ.Ο.1 L(x)	T1(x)
Σ.Ο.1	0	0
Π.Σ.1	500	20
Κ.Σ.1	1500	60
Μ.Α.Κ.1.	2000	80
Σ.Ο.2	4000	160
Π.Σ.2	4500	180
Κ.Σ.2	5500	220
Μ.Α.Κ.2.	6000	240
Σ.Ο.3	10000	400
Π.Σ.3	10500	420
Κ.Σ.3	11500	460
Μ.Α.Κ.3.	12000	480
Σ.Ο.4	15000	600
Π.Σ.4	15500	620
Κ.Σ.4	16500	660
Μ.Α.Κ.4.	17000	680

Αντικαθιστώντας στην σχέση (3.10), η ελάχιστη χρονική απόσταση μεταξύ των δύο συρμών υπολογίζεται σε 7 mins και 20 secs.