



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ηλεκτρικά Τρένα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σοχωράκης Εμμανουήλ

Επιβλέπων: Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Αύγουστος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Ηλεκτρικά Τρένα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σοχωράκης Εμμανουήλ

Επιβλέπων: Μαρία Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30^η Σεπτεμβρίου 2018.

.....
Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Αύγουστος 2018

.....

Σοχωράκης Εμμανουήλ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σοχωράκης Εμμανουήλ, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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

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

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης τα ηλεκτρικά τρένα. Αρχικά, στο κεφάλαιο 1 γίνεται ιστορική αναδρομή για τις ηλεκτρικές ατμομηχανές. Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται σημαντικοί τρόποι τροφοδοσίας των ηλεκτρικών τρένων, καθώς και διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθεί αυτή. Γίνεται επίσης αναφορά στα ηλεκτρικά συστήματα φρένων καθώς και στα δίκτυα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υποσταθμούς. Στο κεφάλαιο 3, παρουσιάζεται το σιδηροδρομικό σύστημα μαγνητικής αιώρησης (maglev) και το πώς οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις επενεργούν σε αμαξοστοιχίες, με αποτέλεσμα την αιώρηση και την πρόωσή τους. Αυτά τα συστήματα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως λόγω των πολύ υψηλών ταχυτήτων που μπορούν να αναπτύξουν τα τρένα maglev. Μεγάλο μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελούν οι ελληνικοί ηλεκτρικοί σιδηρόδρομοι. Γενικά στοιχεία, ιστορική αναδρομή και διάφορα ηλεκτρικά τρένα και τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρατίθενται στα κεφάλαια 4, 5 και 6 για τον ΗΣΑΠ, το Μετρό της Αθήνας και το Τραμ της Αθήνας αντίστοιχα.

Λέξεις-Κλειδιά: ηλεκτροκίνηση, ηλεκτράμαξες, μαγνητική αιώρηση, ηλεκτρικά συστήματα έλξης

Abstract

This thesis deals with the study of electric trains. Initially, at Chapter 1, a historical overview of electric locomotives is made. In Chapter 2, important ways of powering electric trains are presented, as well as various means used to complete that power supply. Reference is also made to electric brake systems as well as to electricity distribution networks in substations. In Chapter 3, there is presentation of the Maglev Magnetic Railway System and how electromagnetic forces act on trains, resulting in their suspension and propulsion. These systems are of particular interest mainly because of the very high speeds that maglev trains can develop. Great part of this thesis is the Greek electric railways. General facts, historical overview and various electric trains and their technical characteristics are listed in chapters 4, 5 and 6 for the Athens-Piraeus Electric Railways, Athens Metro and the Athens Tram respectively.

Key-Words: electrification, electric locomotives, magnetic suspension, electric traction systems

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου, Κα. Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτή την εργασία, αλλά και για την υπομονή της και την στήριξή της για κάθε απορία που είχα σχετικά με αυτή.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, η οποία με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους πολυτιμότερους ανθρώπους της
ζωής μου, τους γονείς μου

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract	5
Ευχαριστίες.....	7
Περιεχόμενα.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	12
1.1 Εισαγωγή στις ηλεκτρικές ατμομηχανές	12
1.2 Η Ιστορία της Ηλεκτρικής Ατμομηχανής	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΡΕΝΩΝ	18
2.1 Συστήματα ηλεκτρικής έλξης	18
2.1.1 Σύστημα Ηλεκτροκίνησης συνεχούς ρεύματος (DC).....	18
2.1.2 Σύστημα ηλεκτροκίνησης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).....	20
2.1.3 Σύνθετο σύστημα	21
2.2 Τρίτη ράγα.....	21
2.3 Παπούτσι.....	22
2.4 Σιδηροδρομικά Κενά.....	23
2.5 Μηχανισμοί επιστροφής ρεύματος	24
2.6 Παντογράφος.....	24
2.7 Εναέριες Γραμμές Τροφοδοσίας.....	26
2.8 Ηλεκτρικά Συστήματα Φρένων.....	28
2.9 Εντολή Πέδησης.....	29
2.10 Ηλεκτροδότηση 25KV/50Hz	30
2.11 Δίκτυα Διανομής.....	31
2.12 Υποσταθμοί	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΙΩΡΗΣΗ (MAGLEV).....	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Τεχνολογία	34
3.3 Σιδηροδρομικά Συστήματα Maglev	35
3.4 Πρόωση	35
3.5 Ηλεκτρομαγνητική Αιώρηση (EMS).....	35
3.6 Ηλεκτροδυναμική Αιώρηση (EDS).....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΣΑΠ.....	39
4.1 Προϊστορία: 1835-1869.....	39
4.2 Ο ατμήλατος Σ.Α.Π.: 1869-1904.....	40

4.3 Ο Σ.Α.Π. μετά την ηλεκτροκίνηση: 1904-1925.....	43
4.4 Το «ΘΗΡΙΟ» της Κηφισιάς: 1882-1936	46
4.5 Οι Ε.Η.Σ. και τα μεγάλα έργα επέκτασης του δικτύου: 1926-1975.....	48
4.6 Οι ΗΣΑΠ και η ένταξή τους το σύστημα Μετρό της Αθήνας: 1976-1999.....	55
4.7 Προς το 2000	57
4.8 Ηλεκτροδότηση και Ραδιοδίκτυο	59
4.9 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα ΗΣΑΠ και τεχνικά χαρακτηριστικά τους.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	71
5.1 Γενικές πληροφορίες.....	71
5.2 Σχέδια για το δίκτυο τις δεκαετίες 1950 – 1980	71
5.3 Δημιουργία δικτύου μετρό 1990-2004.....	73
5.4 Εξελίξεις μετά το 2004.....	74
5.5 Επιδομή και χάραξη δικτύου	76
5.6 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα Μετρό και τεχνικά χαρακτηριστικά τους	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΝΕΟ TRAM ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ	83
6.1 Γενικές πληροφορίες.....	83
6.2 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα Τραμ και τεχνικά χαρακτηριστικά τους	86
Συμπεράσματα	92
Βιβλιογραφία.....	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Εισαγωγή στις ηλεκτρικές ατμομηχανές

Μια ηλεκτρική ατμομηχανή είναι μια ατμομηχανή που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από εναέριες γραμμές, μια τρίτη ράγα ή με αποθήκευση ενέργειας επί του σκάφους, όπως μια μπαταρία ή ένα υπερπυκνωτή.

Οι ηλεκτροκίνητες μηχανές με κινητήρια μηχανήματα που κινούνται επί του σκάφους, όπως κινητήρες ντίζελ ή αεριοστρόβιλοι, ταξινομούνται ως ηλεκτροκίνητα πετρελαιοκίνητα ή αεριοστρόβιλοι και όχι ηλεκτρικά, επειδή ο συνδυασμός ηλεκτρικών γεννητριών / κινητήρων χρησιμεύει μόνο ως σύστημα μετάδοσης ισχύος.

Οι ηλεκτρικές μηχανές επωφελούνται από την υψηλή απόδοση των ηλεκτρικών κινητήρων, συχνά πάνω από το 90% (με εξαίρεση την ανεπάρκεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας). Επιπρόσθετη απόδοση μπορεί να επιτευχθεί από την αναγεννητική πέδηση, η οποία επιτρέπει την ανάκτηση της κινητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της πέδησης για την επαναφορά της ισχύος στη γραμμή. Οι νεότερες ηλεκτρικές μηχανές χρησιμοποιούν ηλεκτροκίνητες εναλλασσόμενου ρεύματος εναλλασσόμενου ρεύματος που παρέχουν φρενάρισμα με ανάκτηση ενέργειας. Οι ηλεκτρικές μηχανές είναι ήσυχες σε σύγκριση με τις μηχανές ντίζελ, καθώς δεν υπάρχει κινητήρας και θόρυβος εξάτμισης και λιγότερο μηχανικός θόρυβος. Η έλλειψη παλινδρομικών εξαρτημάτων σημαίνει ότι οι ηλεκτρικές μηχανές είναι ευκολότερες στην πίστα, μειώνοντας τη συντήρηση της τροχιάς. Η χωρητικότητα του σταθμού παραγωγής ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερη από κάθε μεμονωμένη χρήση μηχανών, έτσι οι ηλεκτρικές μηχανές μπορούν να έχουν υψηλότερη ισχύ από τις μηχανές ντίζελ και μπορούν να παράγουν ακόμα υψηλότερη βραχυπρόθεσμη ισχύ υπερτάσεων για γρήγορη επιτάχυνση. Οι ηλεκτρικές μηχανές είναι ιδανικές για σιδηροδρομικές μεταφορές με συχνές στάσεις. Οι ηλεκτρικές μηχανές χρησιμοποιούνται σε εμπορευματικές οδούς με σταθερά υψηλό όγκο κυκλοφορίας ή σε περιοχές με προηγμένα σιδηροδρομικά δίκτυα. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, ακόμη και αν καίγονται ορυκτά καύσιμα, είναι πολύ καθαρότεροι από τις κινητές πηγές όπως οι κινητήρες ατμομηχανής. Η ισχύς μπορεί επίσης να προέρχεται από καθαρές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της γεωθερμικής ενέργειας, της υδροηλεκτρικής ενέργειας, της πυρηνικής ενέργειας, της ηλιακής ενέργειας και των ανεμογεννητριών.

Το κύριο μειονέκτημα της ηλεκτροκίνησης είναι το υψηλό κόστος για τις υποδομές: εναέριες γραμμές ή τρίτο σιδηροδρομικό δίκτυο, υποσταθμοί και συστήματα ελέγχου. Η δημόσια πολιτική στις ΗΠΑ παρεμποδίζει την ηλεκτροκίνηση: υψηλότεροι φόροι ιδιοκτησίας επιβάλλονται σε ιδιόκτητες σιδηροδρομικές εγκαταστάσεις εάν ηλεκτροδοτούνται. Οι εκπομπές καυσαερίων ρυθμίζονται στις ατμομηχανές και τους θαλάσσιους κινητήρες, παρόμοιους με τους κανονισμούς για τις εκπομπές φορτηγών, προκειμένου να περιοριστεί η ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, νιτρικά οξείδια και εκπομπές αιθάλης από αυτές τις κινητές πηγές ενέργειας. Επειδή η σιδηροδρομική υποδομή είναι ιδιόκτητη στις ΗΠΑ,

οι σιδηρόδρομοι δεν επιθυμούν να πραγματοποιήσουν τις απαραίτητες επενδύσεις για την ηλεκτροκίνηση. Στην Ευρώπη και αλλού, τα σιδηροδρομικά δίκτυα θεωρούνται μέρος της εθνικής υποδομής μεταφορών, όπως και οι δρόμοι, οι αυτοκινητόδρομοι και οι πλωτές οδοί, που συχνά χρηματοδοτούνται από το κράτος. Οι φορείς εκμετάλλευσης του τροχαίου υλικού καταβάλλουν τέλη ανάλογα με τη χρήση των σιδηροδρόμων. Αυτό καθιστά δυνατές τις μεγάλες επενδύσεις που απαιτούνται για την τεχνική και μακροπρόθεσμα, οικονομικά συμφέρουσα ηλεκτροδότηση.

1.2 Η Ιστορία της Ηλεκτρικής Ατμομηχανής

DC Ατμομηχανές

Η πρώτη γνωστή ηλεκτρική ατμομηχανή δημιουργήθηκε το 1837 από τον χημικό Robert Davidson του Aberdeen και τροφοδοτήθηκε από γαλβανικά κύτταρα. Ο Davidson δημιούργησε αργότερα μια μεγαλύτερη ατμομηχανή ονομαζόμενη Galvani, που εκτέθηκε στην έκθεση Royal Scottish Society of Arts το 1841. Το όχημα επτά τόνων είχε δύο μοτέρ άμεσης κίνησης, με σταθερούς ηλεκτρομαγνήτες που επενεργούν σε σιδερένιες ράβδους που συνδέονται με έναν ξύλινο κύλινδρο σε κάθε άξονα, και απλούς μεταγωγούς. Έβγαλε ένα φορτίο έξι τόνων στα τέσσερα μίλια ανά ώρα (περίπου 6 χιλιόμετρα την ώρα) για μια απόσταση ενάμισι μιλίου (περίπου 2 χιλιόμετρα). Δοκιμάστηκε στο Σιδηροδρομικό Σταθμό του Εδιμβούργου και της Γλασκόβης το Σεπτέμβριο του επόμενου έτους, αλλά η περιορισμένη ισχύς από τις μπαταρίες εμπόδισε τη γενική χρήση του. Καταστράφηκε από σιδηροδρομικούς εργάτες, οι οποίοι το θεωρούσαν απειλή για την ασφάλεια της εργασίας τους.

Το πρώτο ηλεκτρικό επιβατικό τρένο παρουσιάστηκε από τον Werner von Siemens στο Βερολίνο το 1879. Η ατμομηχανή οδηγήθηκε από κινητήρα ισχύος 2.2 kW και η αμαξοστοιχία, αποτελούμενη από την ατμομηχανή και τρία αυτοκίνητα, έφθασε σε ταχύτητα 13 km / h. Κατά τη διάρκεια τεσσάρων μηνών, το τρένο μετέφερε 90.000 επιβάτες σε κυκλική διαδρομή μήκους 300 μέτρων (984 πόδια). Ο ηλεκτρισμός (150 VDC) τροφοδοτήθηκε μέσω μιας τρίτης μόνωσης μεταξύ των τροχιών. Ένας κύλινδρος επαφής χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή του ηλεκτρικού ρεύματος. Η πρώτη γραμμή ηλεκτρικού τραμ στον κόσμο άνοιξε στο Lichterfelde κοντά στο Βερολίνο, το 1881. Χτίστηκε από τον Werner von Siemens. Ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος Volk άνοιξε το 1883 στο Μπράιτον. Επίσης, το 1883, το τραμ Mödling και Hinterbrühl άνοιξε κοντά στη Βιέννη στην Αυστρία. Ήταν το πρώτο τραμ στον κόσμο σε τακτική υπηρεσία που τροφοδοτείται από μια εναέρια γραμμή. Πέντε χρόνια αργότερα στις Η.Π.Α., ηλεκτροκίνητα καροτσάκια πρωτοστάτησαν το 1888 στο Richmond Union Passenger Railway, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό σχεδιασμένο από τον Frank J. Sprague.

Μεγάλο μέρος της πρώιμης ανάπτυξης της ηλεκτρικής κίνησης προήλθε από την αυξανόμενη χρήση σηράγγων, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Ο καπνός από ατμομηχανές ήταν επιβλαβής και οι δήμοι είχαν όλο και περισσότερο την τάση να απαγορεύουν τη χρήση τους εντός των ορίων

τους. Η πρώτη ηλεκτρικά επεξεργασμένη γραμμή του υπόγειου σιδηρόδρομου ήταν ο σιδηροδρομικός σταθμός του Λονδίνου και του Νότου του Λονδίνου, υπό την προϋπόθεση μιας ρήτρας στην εξουσιοδοτική πράξη που απαγορεύει τη χρήση ισχύος ατμού. Άνοιξε το 1890, χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές μηχανές που κατασκευάστηκαν από τους Mather και Platt. Η ηλεκτρική ενέργεια έγινε γρήγορα η τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος που προτιμάται για τους υπόγειους σιδηρόδρομους, που υπονόμευσε την εφεύρεση του ελέγχου αμαξοστοιχιών πολλαπλών μονάδων του Sprague το 1897. Τα επιφανειακά και υπερυψωμένα συστήματα ταχείας διέλευσης χρησιμοποιούσαν γενικά ατμό μέχρι να αναγκαστούν να μετατραπούν με διάταγμα.

Η πρώτη χρήση ηλεκτροδότησης σε μια κύρια γραμμή ήταν σε τετράπλευρο τμήμα της γραμμής ζωνών του Βαλτιμόρη της Βαλτιμόρης και του Σιδηροδρομίου του Οχάιο (B & O) το 1895 που συνδέει το κύριο τμήμα της B & O με τη νέα γραμμή στη Νέα Υόρκη μέσω μιας σειράς σιδηρόδρομων γύρω από τις άκρες του κέντρου της Βαλτιμόρης. Παράλληλες διαδρομές στον σιδηρόδρομο της Πενσυλβανίας έδειξαν ότι ο καπνός άνθρακα από ατμομηχανές θα αποτελούσε σημαντικό ζήτημα λειτουργίας και δημόσια όχληση. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τρεις μονάδες Bo + Bo, στο νότιο άκρο του ηλεκτρικού τμήματος. Συζεύχτηκαν στην ατμομηχανή και το τράβηξαν μέσα από τις σιδηροτροχιές. Οι εισοδοί των σιδηροδρόμων στη Νέα Υόρκη απαιτούσαν παρόμοιες σιδηροτροχιές και τα προβλήματα καπνού ήταν πιο έντονα εκεί. Μια σύγκρουση στη σιδηροδρομική γραμμή του Park Avenue το 1902 οδήγησε τον νομοθέτη της πολιτείας της Νέας Υόρκης να απαγορεύσει τη χρήση ατμομηχανών που παράγουν καπνό νότια του ποταμού Harlem μετά την 1η Ιουλίου 1908. Σε απάντηση, οι ηλεκτρικές μηχανές άρχισαν να λειτουργούν το 1904 στο κεντρικό σιδηρόδρομο της Νέας Υόρκης. Στη δεκαετία του 1930, ο σιδηρόδρομος της Πενσυλβανίας, ο οποίος είχε εισαγάγει ηλεκτρικές μηχανές λόγω του κανονισμού της Νέας Υόρκης, ηλεκτροφόρησε ολόκληρη την επικράτειά του ανατολικά του Harrisburg της Πενσυλβανίας.

Οι σιδηρόδρομοι Σικάγο, Μιλγουόκι, St. Paul και Ειρηνικός (Milwaukee Road), η τελευταία διηπειρωτική γραμμή που θα κατασκευαστεί, ηλεκτροφόρησαν τις γραμμές τους στα βραχώδη βουνά και στον Ειρηνικό Ωκεανό από το 1915. Ωστόσο, από αυτό το σημείο η ηλεκτροδότηση στις Ηνωμένες Πολιτείες συσχετίστηκε περισσότερο με πυκνή αστική κίνηση και η χρήση ηλεκτρικών μηχανών μειώθηκε εν όψει της πετρελαιοποίησης. Οι πετρελαιοκινητήρες μοιράστηκαν μερικά από τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής ατμομηχανής πάνω από τον ατμό και το κόστος κατασκευής και συντήρησης της υποδομής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, που αποθάρρυνε τις νέες εγκαταστάσεις, οδήγησε στην εξάλειψη της ηλεκτροδότησης της κύριας γραμμής έξω από τα βορειοανατολικά. Εκτός από λίγα συστήματα αιχμαλωσίας (π.χ. το Black Mesa και η λίμνη Powell), μέχρι το 2000 η ηλεκτροδότηση περιοριζόταν στο βορειοανατολικό διάδρομο και κάποια υπηρεσία μετακίνησης. Ακόμη και εκεί, οι υπηρεσίες μεταφοράς φορτίου διοχετεύονταν με ντίζελ. Η ανάπτυξη συνεχίστηκε στην Ευρώπη, όπου η ηλεκτροδότηση ήταν ευρέως διαδεδομένη.

AC Ατμομηχανές

Η πρώτη πρακτική AC ηλεκτρική ατμομηχανή σχεδιάστηκε από τον Charles Brown. Το 1891, ο Μπράουν είχε επιδείξει μετάδοση ισχύος μεγάλου μήκους, χρησιμοποιώντας τριφασικό AC, μεταξύ ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου στο Lauffen am Neckar και τη Φρανκφούρτη στον Main West, σε απόσταση 280 χιλιομέτρων. Χρησιμοποιώντας την εμπειρία που απέκτησε ενώ εργάζονταν για τον Jean Heilmann σε ατμο-ηλεκτρικά σχέδια ατμομηχανών, ο Μπράουν παρατήρησε ότι οι τριφασικοί κινητήρες είχαν υψηλότερη αναλογία ισχύος προς το βάρος από τον κινητήρα DC και λόγω της απουσίας ενός μεταγωγέα, ήταν απλούστεροι στην κατασκευή και στη συντήρηση. Ωστόσο, ήταν πολύ μεγαλύτεροι από τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος της εποχής και δεν μπορούσαν να τοποθετηθούν σε υποστρώματα φορέων: μπορούσαν να μεταφερθούν μόνο μέσα σε αμαξοστοιχίες.

Το 1894 ο Ούγγρος μηχανικός Kálmán Kandó ανέπτυξε νέους κινητήρες και γεννήτριες τριών φάσεων ασύγχρονης ηλεκτροκίνησης για ηλεκτρικές μηχανές. Τα αρχικά σχέδια του Kandó του 1894 εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά σε ένα σύντομο τριφασικό τραμ με ηλεκτρικό ρεύμα στο Evian-les Bains (Γαλλία), το οποίο κατασκευάστηκε μεταξύ 1896 και 1898.

Το 1918 ο Kandó εφηύρε και ανέπτυξε τον περιστροφικό μετατροπέα φάσης, επιτρέποντας στις ηλεκτρικές μηχανές να χρησιμοποιούν τριφασικούς κινητήρες ενώ τροφοδοτούνται μέσω ενός ενιαίου καλωδιωμένου καλωδίου που φέρει την απλή φάση εναλλασσόμενου ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz) των εθνικών δικτύων υψηλής τάσης.

Το 1896, η Oerlikon εγκατέστησε το πρώτο εμπορικό παράδειγμα του συστήματος στο τραμ του Λουγκάνο. Κάθε ατμομηχανή 30 τόνων είχε δύο 110 kW (περίπου 150 hp) κινητήρες που λειτουργούν με τρεις φάσεις 750 V 40 Hz που τροφοδοτούνται από διπλές εναέριες γραμμές. Οι τριφασικοί κινητήρες κινούνται με σταθερή ταχύτητα και παρέχουν φρενάρισμα με ανάκτηση. Είναι κατάλληλοι για διαδρομές με απότομη διαβάθμιση και οι πρώτες τριφασικές ατμομηχανές της κύριας γραμμής παρέχονται από τον Brown (τότε σε συνεργασία με τον Walter Boveri) το 1899 στη 40 km γραμμή Burgdorf Thun, Ελβετία. Η πρώτη υλοποίηση μιας βιομηχανικής παροχής μονοφασικών συσσωρευτών συχνότητας για μηχανές έλξης προήλθε από το Oerlikon το 1901, χρησιμοποιώντας τα σχέδια του Hans Behn-Eschenburg και Emil Huber-Stockar. Η εγκατάσταση στη γραμμή Seebach-Wettingen των Ελβετικών Ομοσπονδιακών Σιδηροδρόμων ολοκληρώθηκε το 1904. Οι μηχανές έλξης των 15 kV, 50 Hz 345 kW (περίπου 460 hp) και 48 τόνων χρησιμοποιούσαν μετασχηματιστές και περιστροφικούς μετατροπείς για να τροφοδοτήσουν κινητήρες έλξης DC.

Οι Ιταλικοί σιδηρόδρομοι ήταν οι πρώτοι στον κόσμο που εισήγαγαν ηλεκτρική έλξη για ολόκληρη τη διάρκεια μιας κύριας γραμμής και όχι απλά ένα σύντομο τέντωμα. Η γραμμή των 106 χιλιομέτρων Valtellina άνοιξε στις 4 Σεπτεμβρίου του 1902. Σχεδιάστηκε από τον Kandó και μια ομάδα από τα έργα του Ganz. Το ηλεκτρικό σύστημα ήταν τριφασικό στα 3 kV 15 Hz. Η τάση ήταν σημαντικά υψηλότερη από την προηγούμενη και απαιτούσε νέα σχέδια για ηλεκτροκινητήρες και συσκευές μεταγωγής. Το τριφασικό σύστημα δύο συρμάτων χρησιμοποιήθηκε σε διάφορους σιδηροδρόμους στη Βόρεια Ιταλία και έγινε γνωστό ως "το ιταλικό σύστημα". Ο Kandó προσκλήθηκε το 1905 να

αναλάβει τη διεύθυνση της Società Italiana Westinghouse και οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών ιταλικών ηλεκτρικών μηχανών. Κατά την περίοδο ηλεκτροδότησης των ιταλικών σιδηροδρόμων, έγιναν δοκιμές ως προς το είδος ισχύος που θα χρησιμοποιούσε: σε μερικά τμήματα υπήρχε τριφασική τροφοδοσία 3.600 V 16 2/3 Hz, σε άλλες υπήρχαν 1.500 V DC, 3 kV DC και παροχή 10 kV AC 45 Hz. Μετά το Β 'Παγκόσμιο Πόλεμο, επιλέχθηκε ηλεκτρισμός 3 kV DC για ολόκληρο το ιταλικό σιδηροδρομικό σύστημα. 1,500 V DC εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ορισμένες γραμμές κοντά στη Γαλλία και 25 kV 50 Hz χρησιμοποιείται από τρένα υψηλής ταχύτητας.

Μια μεταγενέστερη ανάπτυξη του Kandó, που συνεργάζεται τόσο με τα έργα Ganz όσο και με την Societa Italiana Westinghouse, ήταν ένας ηλεκτρομηχανικός μετατροπέας, ο οποίος επιτρέπει τη χρήση τριφασικών κινητήρων από μονοφασικό AC, εξαλείφοντας την ανάγκη για δύο καλώδια εναέριας κυκλοφορίας. Το 1923, η πρώτη ατμομηχανή μετατροπής φάσης στην Ουγγαρία κατασκευάστηκε με βάση τα σχέδια του Kandó και η σειρά παραγωγής άρχισε σύντομα. Η πρώτη εγκατάσταση, στα 16 kV 50 Hz, ήταν το 1932 στο τμήμα 56 χλμ. των οδικών σιδηροδρόμων της Ουγγαρίας μεταξύ Βουδαπέστης και Komárom. Αυτό αποδείχθηκε επιτυχές και η ηλεκτροδότηση επεκτάθηκε στο Hegyeshalom το 1934.

Στην Ευρώπη, τα σχέδια ηλεκτροκίνησης επικεντρώθηκαν αρχικά σε ορεινές περιοχές για διάφορους λόγους: οι προμήθειες άνθρακα ήταν δύσκολες, η υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν άμεσα διαθέσιμη και οι ηλεκτρικές μηχανές έδιναν περισσότερη πρόσφυση σε πιο απότομες γραμμές. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην Ελβετία, όπου σχεδόν όλες οι γραμμές είναι ηλεκτρισμένες. Σημαντική συμβολή στην ευρύτερη υιοθέτηση της ελκτικής έλξης προέρχεται από τη SNCF της Γαλλίας μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η εταιρεία αξιολόγησε την γραμμή AC βιομηχανικής συχνότητας που διέρρευσε μέσω της απότομης κοιλάδας Höllental της Γερμανίας, η οποία ήταν υπό τη γαλλική κυβέρνηση μετά τον πόλεμο. Μετά από δοκιμές, η εταιρεία αποφάσισε ότι οι επιδόσεις των ατμομηχανών AC ήταν επαρκώς ανεπτυγμένες ώστε να επιτρέπουν σε όλες τις μελλοντικές εγκαταστάσεις της, ανεξάρτητα από το έδαφος, να είναι αυτού του προτύπου, με τη φθηνότερη και αποδοτικότερη υποδομή της. Η απόφαση της SNCF, αγνοώντας 2.000 μίλια (3.200 χλμ.) DC υψηλής τάσης ήδη εγκατεστημένα στα γαλλικά δρομολόγια, είχε επιρροή στο πρότυπο που επιλέχθηκε για άλλες χώρες της Ευρώπης.

Η δεκαετία του 1960 είδε την ηλεκτροδότηση πολλών ευρωπαϊκών κύριων γραμμών. Η ευρωπαϊκή τεχνολογία ηλεκτρικών κινητήρων είχε βελτιωθεί σταθερά από τη δεκαετία του 1920 και έπειτα. Συγκριτικά, η κατηγορία Milwaukee Road EP-2 (1918) ζύγιζε 240 t, με ισχύ 3,330 kW και μέγιστη ταχύτητα 112 km / h. Το 1935, το γερμανικό E 18 είχε ισχύ 2.800 kW, αλλά ζύγιζε μόνο 108 τόνους και είχε μέγιστη ταχύτητα 150 km / h. Στις 29 Μαρτίου του 1955, η γαλλική ατμομηχανή CC 7107 έφθασε τα 331 χλμ. / ώρα. Το 1960 οι μηχανές SJ Class Dm 3 στους σουηδικούς σιδηροδρόμους παρήγαγαν ρεκόρ 7.200 kW. Οι μηχανές με δυνατότητα εμπορικής εξυπηρέτησης επιβατών με ταχύτητα 200 km / h εμφανίστηκαν στη Γερμανία και τη Γαλλία την ίδια περίοδο. Περαιτέρω βελτιώσεις προέκυψαν από την εισαγωγή ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου, τα οποία επέτρεψαν τη χρήση ολοένα και πιο ελαφρών και ισχυρότερων κινητήρων που θα μπορούσαν να

τοποθετηθούν μέσα στο φορείο (τυποποιώντας από την δεκαετία του 1990 τους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες που τροφοδοτούνται από τους μετατροπείς GTO).

Στη δεκαετία του 1980, η ανάπτυξη υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας έφερε περαιτέρω ηλεκτροδότηση. Η ιαπωνική Shinkansen και η γαλλική TGV ήταν τα πρώτα συστήματα για τα οποία κατασκευάστηκαν από την αρχή οι γραμμές υψηλής ταχύτητας. Παρόμοια προγράμματα πραγματοποιήθηκαν στην Ιταλία, τη Γερμανία και την Ισπανία. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η μόνη νέα υπηρεσία κύριας γραμμής ήταν μια επέκταση της ηλεκτροδότησης πάνω από τον Βορειοανατολικό Διάδρομο από το New Haven, Connecticut, στη Βοστώνη της Μασαχουσέτης, αν και συνεχίστηκαν νέα ηλεκτρικά ελαφρά σιδηροδρομικά συστήματα. Στις 2 Σεπτεμβρίου του 2006, μια ηλεκτροκίνητη μηχανή τύπου ESF-ES4-U4 (ÖBB Class 1216) που κατασκευάστηκε από την Siemens, απέκτησε 357 km / h (221 mph), το ρεκόρ για αμαξοστοιχία, στη νέα γραμμή μεταξύ Ingolstadt και Νυρεμβέργη . Αυτή η ατμομηχανή είναι σήμερα σε μεγάλο βαθμό αμετάβλητη από την ÖBB για την ανάσυρση του Railjet, η οποία ωστόσο περιορίζεται σε μέγιστη ταχύτητα 230 χλμ. / ώρα λόγω οικονομικών προβλημάτων και προβλημάτων υποδομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΡΕΝΩΝ

2.1 Συστήματα ηλεκτρικής έλξης

Μια ηλεκτρική ατμομηχανή μπορεί να τροφοδοτηθεί με ισχύ από:

Επαναφορτιζόμενα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως μηχανές εξόρυξης με μπαταρία ή υπερφόρτωση.

Σταθερή πηγή, όπως μία τρίτη ράγα ή εναέριο σύρμα.

Τα διακριτικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών μηχανών είναι:

Ο τύπος ηλεκτρικής ισχύος που χρησιμοποιείται, AC ή DC.

Η μέθοδος αποθήκευσης (μπαταρίες, υπερπυκνωτές) ή ηλεκτρικής ενέργειας συλλογής (μετάδοσης).

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη των κινητήρων έλξης στους κινητήριους τροχούς (οδηγούς).

Το σύστημα που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ισχύ για σύστημα έλξης, δηλαδή για σιδηροτροχιές, τραμ, καροτσάκια κ.λπ. ονομάζεται ηλεκτρική έλξη. Η ηλεκτροδότηση γραμμής αναφέρεται στον τύπο του συστήματος παροχής πηγής που χρησιμοποιείται κατά την τροφοδοσία των ηλεκτρικών συστημάτων ατμομηχανής. Μπορεί να είναι AC ή DC ή σύνθετη τροφοδοσία.

Η επιλογή του τύπου ηλεκτροδότησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα της προσφοράς, ο τύπος μιας περιοχής εφαρμογής ή οι υπηρεσίες όπως αστικές, προαστιακές και βασικές γραμμές κ.λπ.

Οι τρεις κύριοι τύποι ηλεκτρικών συστημάτων έλξης που υπάρχουν είναι οι εξής:

Σύστημα ηλεκτροδότησης συνεχούς ρεύματος (DC)

Σύστημα ηλεκτροδότησης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Σύνθετο σύστημα.

2.1.1 Σύστημα Ηλεκτροκίνησης συνεχούς ρεύματος (DC)

Η επιλογή του συστήματος ηλεκτροκίνησης συνεχούς ρεύματος περιλαμβάνει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το ζήτημα του χώρου και του βάρους, η ταχεία επιτάχυνση και η πέδηση ηλεκτρικών κινητήρων συνεχούς ρεύματος, το χαμηλότερο κόστος σε σύγκριση με τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος, η λιγότερη κατανάλωση ενέργειας κ.ο.κ.

Σε αυτόν τον τύπο συστήματος, η τριφασική ισχύς που λαμβάνεται από τα ηλεκτρικά δίκτυα υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση και μετατρέπεται σε DC από τους ανορθωτές και τους μετατροπείς ισχύος.

DC σύστημα έλξης:

Αυτός ο τύπος παροχής DC τροφοδοτείται στο όχημα με δύο διαφορετικούς τρόπους:

Συστήματα τρίτης και τέταρτης ράγας λειτουργούν σε χαμηλές τάσεις (600-1200V).

Συστήματα εναέριων γραμμών τροφοδοσίας χρησιμοποιούν υψηλές τάσεις (1500-3000V).

Τα συστήματα τροφοδοσίας της ηλεκτροδότησης συνεχούς ρεύματος περιλαμβάνουν:

Παροχή 300-500V για τα ειδικά συστήματα όπως τα συστήματα μπαταριών.

600-1200V για τους αστικούς σιδηρόδρομους όπως τα τραμ και τα ελαφρά τρένα με το μετρό.

1500-3000V για προαστιακές και mainline υπηρεσίες όπως τα ελαφρά μετρό και τα βαρέα μετρό τρένα.

Λόγω της υψηλής ροπής εκκίνησης και του μέτριου ελέγχου ταχύτητας, οι κινητήρες της σειράς DC χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στα συστήματα έλξης DC. Παρέχουν υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες και χαμηλή ροπή στις υψηλές ταχύτητες.

Πλεονεκτήματα:

Σε περίπτωση βαρέων αμαξοστοιχιών που απαιτούν συχνές και γρήγορες επιταχύνσεις, οι κινητήρες έλξης DC είναι καλύτερη επιλογή συγκριτικά με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η αμαξοστοιχία συνεχούς ρεύματος καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τη μονάδα εναλλασσόμενου ρεύματος στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας.

Ο εξοπλισμός σε σύστημα έλξης DC είναι λιγότερο δαπανηρός, ελαφρύτερος και πιο αποδοτικός από το σύστημα έλξης AC.

Δεν προκαλεί ηλεκτρική παρεμβολή στις κοντινές γραμμές επικοινωνίας.

Μειονεκτήματα:

Ακριβοί υποσταθμοί απαιτούνται σε συχνά διαστήματα.

Το εναέριο σύρμα ή η τρίτη ράγα πρέπει να είναι σχετικά μεγάλο και βαρύ.

Η τάση συνεχίζει να μειώνεται με την αύξηση του μήκους.

2.1.2 Σύστημα ηλεκτροκίνησης εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Το σύστημα έλξης AC έχει γίνει πολύ δημοφιλές στις μέρες μας και χρησιμοποιείται συχνότερα στα περισσότερα συστήματα έλξης λόγω πολλών πλεονεκτημάτων, όπως η γρήγορη διαθεσιμότητα και η παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που μπορεί εύκολα να ενισχυθεί ή να χαμηλωθεί, ο εύκολος έλεγχος των ηλεκτροκινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, ο λιγότερος αριθμός απαιτήσεων υποσταθμών και η ύπαρξη ελαφρών αλυσοειδών που μεταφέρουν χαμηλά ρεύματα σε υψηλές τάσεις κ.ο.κ.

Τα συστήματα τροφοδοσίας της AC ηλεκτροδότησης περιλαμβάνουν μονοφασικά, τριφασικά και σύνθετα συστήματα. Τα μονοφασικά συστήματα αποτελούνται από παροχή 11 έως 15 KV στα 16,7 Hz και 25 Hz για τη διευκόλυνση της μεταβλητής ταχύτητας σε ηλεκτροκινητήρες εναλλαγής AC. Χρησιμοποιεί μετασχηματιστές υποβιβασμού και μετατροπείς συχνότητας προς μετατροπή από τις υψηλές τάσεις και τη σταθερή βιομηχανική συχνότητα.

Η μονή φάση 25KV στα 50Hz είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση για ηλεκτροκίνηση εναλλασσόμενου ρεύματος. Χρησιμοποιείται για συστήματα βαρέων μεταφορών και υπηρεσίες βασικών γραμμών, καθώς δεν απαιτεί μετατροπή συχνότητας. Αυτός είναι ένας από τους ευρέως χρησιμοποιούμενους τύπους σύνθετων συστημάτων όπου η τροφοδοσία μετατρέπεται σε DC για την οδήγηση κινητήρων έλξης DC.

Σύστημα έλξης AC:

Το σύστημα τριών φάσεων χρησιμοποιεί κινητήρα επαγωγής τριών φάσεων για την οδήγηση της ατμομηχανής και εκτιμάται στα 3,3 kV, 16,7 Hz. Το σύστημα διανομής υψηλής τάσης με παροχή 50 Hz μετατρέπεται σε αυτή την ονομαστική τιμή ηλεκτρικού κινητήρα από μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί δύο εναέριες γραμμές και η σιδηροδρομική γραμμή αποτελεί μια άλλη φάση, αλλά αυτό δημιουργεί πολλά προβλήματα στις διασταυρώσεις.

Πλεονεκτήματα:

Απαιτούνται λιγότεροι υποσταθμοί.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελαφρύτερο καλώδιο εναέριας γραμμής τροφοδοσίας.

Μειωμένο βάρος της δομής στήριξης.

Μειωμένο κόστος κεφαλαίου ηλεκτροκίνησης.

Μειονεκτήματα:

Σημαντικό κόστος ηλεκτροκίνησης.

Αυξημένο κόστος συντήρησης γραμμών.

Τα εναέρια καλώδια περιορίζουν περαιτέρω την απόσταση από τις σήραγγες. Η αναβάθμιση απαιτεί πρόσθετο κόστος ειδικά σε περίπτωση που υπάρχουν γέφυρες και σήραγγες.

2.1.3 Σύνθετο σύστημα

Τα σύνθετα συστήματα (ή τα συστήματα πολλαπλών συστημάτων) χρησιμοποιούνται για την παροχή συνεχόμενων διαδρομών κατά μήκος των διαδρομών που ηλεκτροδοτούνται χρησιμοποιώντας περισσότερα από ένα συστήματα. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η αλλαγή των μηχανών στους σταθμούς μεταγωγής. Αυτοί οι σταθμοί έχουν εναέρια σύρματα που μπορούν να αλλάξουν από μία τάση σε άλλη. Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν πολυλειτουργικές μηχανές που μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από πολλές διαφορετικές τάσεις και τύπους ρεύματος. Στην Ευρώπη, είναι κοινή η χρήση μηχανών τεσσάρων συστημάτων. (1,5 kV DC, 3 kV DC, 15 kV 16 Hz, 25 kV 50 Hz AC).

2.2 Τρίτη ράγα

Η τρίτη ράγα είναι μια μέθοδος παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε σιδηροδρομική ατμομηχανή ή αμαξοστοιχία, μέσω ενός ημι-συνεχή άκαμπτου αγωγού τοποθετημένου κατά μήκος ή μεταξύ των σιδηροτροχιών μιας σιδηροδρομικής γραμμής. Χρησιμοποιείται συνήθως σε σύστημα μαζικής διέλευσης ή ταχείας διαμετακόμισης, το οποίο έχει ευθυγραμμίσεις στους δικούς του διαδρόμους, πλήρως ή σχεδόν πλήρως διαχωρισμένο από το εξωτερικό περιβάλλον. Συστήματα τρίτης ράγας έχουν πάντα παροχή από ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος.

Η ηλεκτροδότηση τρίτης ράγας δεν σχετίζεται με την τρίτη σιδηροτροχιά που χρησιμοποιείται σε σιδηροτροχιές διπλού διαμετρήματος.

Τα συστήματα τρίτης ράγας είναι ένα μέσο για την παροχή ηλεκτρικής έλξης σε αμαξοστοιχίες χρησιμοποιώντας μια πρόσθετη σιδηροτροχιά (αποκαλούμενη "ηλεκτροφόρος ράγα") για το σκοπό αυτό. Στα περισσότερα συστήματα, η ηλεκτροφόρος ράγα τοποθετείται στα άκρα της σιδηροτροχιάς έξω από τις ράγες κίνησης, αλλά σε μερικά συστήματα χρησιμοποιείται μια κεντρική ηλεκτροφόρος ράγα. Η ηλεκτροφόρος ράγα στηρίζεται σε κεραμικούς μονωτήρες ή μονωμένους βραχίονες, συνήθως σε διαστήματα περίπου 3 μέτρων.

Οι αμαξοστοιχίες έχουν μεταλλικά μπλοκ επαφής που ονομάζονται παπούτσια συλλογής (ή παπούτσια επαφής ή παπούτσια pickup) τα οποία έρχονται σε επαφή με την ηλεκτροφόρο ράγα. Το ρεύμα έλξης επιστρέφει στον σταθμό παραγωγής μέσω των ράβδων κίνησης. Η ηλεκτροφόρος ράγα είναι συνήθως κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής αγωγιμότητας και οι ράγες κίνησης συνδέονται ηλεκτρικά χρησιμοποιώντας δεσμούς σύρματος ή άλλες διατάξεις, ώστε να ελαχιστοποιείται η αντίσταση στο ηλεκτρικό

κύκλωμα. Τα παπούτσια επαφής μπορούν να τοποθετηθούν κάτω, επάνω ή δίπλα στην τρίτη ράγα, ανάλογα με τον τύπο της τρίτης ράγας που χρησιμοποιείται. Αυτές οι τρίτες ράγες αναφέρονται ως επαφή πυθμένα, επαφή κορυφής ή πλευρική επαφή, αντίστοιχα.

Οι ηλεκτροφόρες ράγες πρέπει να διακόπτονται σε διαβάσεις επιπέδων, διασταυρώσεις και κενά υποσταθμού. Στην άκρη κάθε τμήματος παρέχονται κωνικές ράγες για την ομαλή εμπλοκή των παπουτσιών επαφής της αμαξοστοιχίας.

Η θέση επαφής μεταξύ της αμαξοστοιχίας και της ράγας ποικίλλει: ορισμένα από τα παλαιότερα συστήματα χρησιμοποίησαν την επάνω επαφή, αλλά οι μεταγενέστερες εξελίξεις χρησιμοποιούν επαφή πλευράς ή πυθμένα, που επέτρεψαν την κάλυψη της ράγας, προστατεύοντας τους εργαζόμενους από τυχαία επαφή και προστατεύοντας την ράγα από το χιόνι και την πτώση των φύλλων.

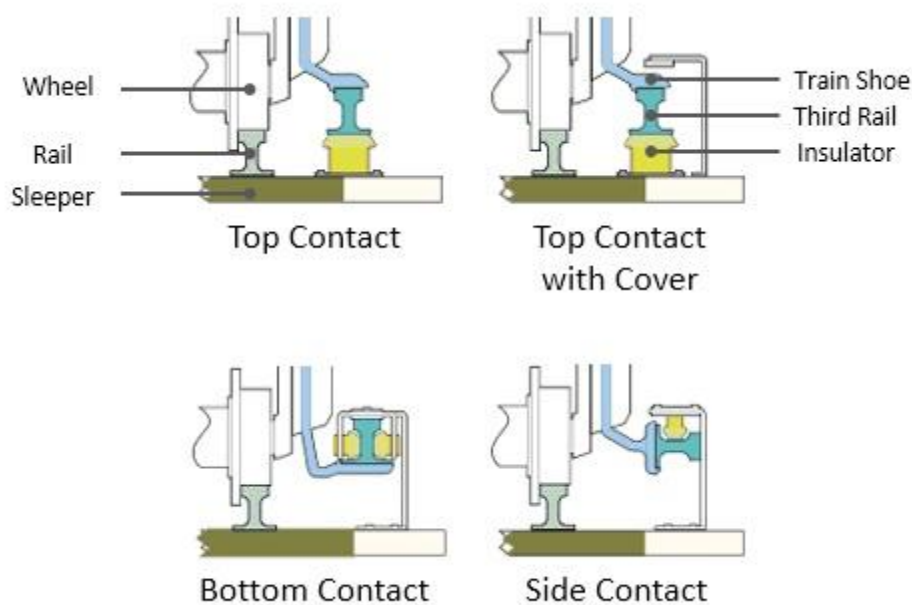


Τροφοδοσία από τρίτη ράγα στην αμαξοστοιχία British Class 442 στην περιοχή Battersea του νοτιοδυτικού Λονδίνου

2.3 Παπούτσι

Η τρίτη ράγα βρίσκεται συνήθως έξω από τις δύο σιδηροτροχιές, αλλά σε ορισμένα συστήματα συναρμολογείται μεταξύ τους. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταδίδεται στην αμαξοστοιχία μέσω ενός παπουτσιού ολίσθησης, το οποίο συγκρατείται σε επαφή με τη ράγα. Σε πολλά συστήματα, παρέχεται ένα μονωτικό κάλυμμα πάνω από την τρίτη ράγα για την προστασία των εργαζομένων που εργάζονται κοντά στην τροχιά. Μερικές φορές το παπούτσι σχεδιάζεται για να έρχεται σε επαφή με την πλευρά της τρίτης ράγας (που

ονομάζεται "πλευρική λειτουργία") ή το κάτω μέρος (που ονομάζεται "κατώτερη λειτουργία" ή "χαμηλό"), επιτρέποντας την τοποθέτηση του προστατευτικού καλύμματος απευθείας στην άνω επιφάνεια. Όταν το παπούτσι ολισθαίνει κατά μήκος της άνω επιφάνειας, αναφέρεται ως "κορυφή". Όταν το παπούτσι ολισθαίνει κατά μήκος της κάτω επιφάνειας, επηρεάζεται λιγότερο από τη συσσώρευση χιονιού, πάγου ή φύλλων και μειώνει τις πιθανότητες ηλεκτροπληξίας ενός ατόμου έρχεται σε επαφή με τη ράγα. Παραδείγματα συστημάτων που χρησιμοποιούν υπόγεια τρίτη ράγα περιλαμβάνουν το Metro-North στη νότια κοιλάδα του Hudson, τη μητροπολιτική περιοχή της Νέας Υόρκης, την αγορά SEPTA Market-Frankford Line στη Φιλαδέλφεια και τον σιδηρόδρομο Docklands του Λονδίνου.



2.4 Σιδηροδρομικά Κενά

Λόγω των κενών στην ηλεκτροφόρο ράγα (π.χ. σε διασταυρώσεις), μια αμαξοστοιχία μπορεί να σταματήσει σε μια θέση όπου όλα τα παπούτσια του φορτιστή ισχύος βρίσκονται σε κενά, έτσι ώστε να μην υπάρχει διαθέσιμη δύναμη έλξης. Τότε η αμαξοστοιχία βρίσκεται «εν κενώ». Ένα άλλο τρένο πρέπει τότε να έρθει πίσω από την αγκυροβολημένη αμαξοστοιχία για να την σπρώξει προς την ηλεκτροφόρο ράγα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα καλώδιο βραχυκυκλώματος για να τροφοδοτήσει αρκετή ισχύ στην αμαξοστοιχία για να βρει ένα από τα παπούτσια επαφής της πίσω στην ηλεκτροφόρο ράγα. Η αποφυγή αυτού του προβλήματος απαιτεί ελάχιστο μήκος αμαξοστοιχιών που μπορούν να εκτελούνται σε μια γραμμή. Οι ατμομηχανές είτε είχαν το εφεδρικό αντίγραφο ενός ενσωματωμένου συστήματος πετρελαιοκινητήρων (π.χ. British Rail Class 73) είτε είχαν συνδεθεί σε παπούτσια στα σιδηροδρομικά βαγόνια (π.χ. Metropolitan Railway).

2.5 Μηχανισμοί επιστροφής ρεύματος

Όπως συμβαίνει με τις εναέριες γραμμές, το ρεύμα επιστροφής συνήθως ρέει μέσω μιας ή και των δύο σιδηροτροχιών κίνησης και η διαρροή στη γείωση δεν θεωρείται σοβαρή. Όταν τα τρένα τρέχουν σε λάστιχα από καουτσούκ, όπως σε μέρη του μετρό της Λυών, του μετρό του Παρισιού, του μετρό του Μεξικού, του μετρό του Σαντιάγκο, του δημοτικού μετρό του Σαπόρο και σε όλο το μετρό του Μόντρεαλ και ορισμένα αυτοματοποιημένα συστήματα διαμετακόμισης, πρέπει να παρέχεται ζωντανός σιδηρόδρομος για την τροφοδότηση του ρεύματος. Η επιστροφή πραγματοποιείται μέσω των σιδηροτροχιών της συμβατικής διαδρομής μεταξύ αυτών των οδηγών ράβδων.

Ένας άλλος σχεδιασμός, με μια τρίτη ράγα (τροφοδοσία ρεύματος, έξω από τις τροχιές κίνησης) και τέταρτη ράγα (τρέχουσα επιστροφή, στο μέσον μεταξύ των σιδηροτροχιών κίνησης), χρησιμοποιείται από μερικά χαλύβδινα συστήματα τροχών. Το Μετρό του Λονδίνου είναι το μεγαλύτερο από αυτά. Ο κύριος λόγος για τη χρήση της τέταρτης ράγας για τη μεταφορά του ρεύματος επιστροφής είναι να αποφευχθεί το ρεύμα αυτό να ρέει μέσα από τις αρχικές επενδύσεις μεταλλικών σηράγγων οι οποίες ποτέ δεν προορίζονταν να μεταφέρουν ρεύμα και οι οποίες θα υποστούν ηλεκτρολυτική διάβρωση αν τέτοια ρεύματα ρέουν σε αυτές.

Ένα άλλο σύστημα τεσσάρων ραγών είναι η γραμμή M1 του μετρό του Μιλάνου, όπου το ρεύμα τραβιέται από μια πλευρική, επίπεδη ράβδο με πλευρική επαφή, με επιστροφή μέσω κεντρικής ράγας με επάνω επαφή. Κατά μήκος ορισμένων τμημάτων στο βόρειο τμήμα της γραμμής υπάρχει επίσης μια εναέρια γραμμή για να επιτρέψει στα τρένα της γραμμής M2 (που χρησιμοποιούν παντογράφους και υψηλότερη τάση και δεν έχουν παπούτσια επαφής) πρόσβαση σε αποθήκη που βρίσκεται στη γραμμή M1. Στις αποθήκες, οι αμαξοστοιχίες γραμμής M1 χρησιμοποιούν παντογράφους για λόγους ασφαλείας, ενώ η μετάβαση γίνεται κοντά στις αποθήκες μακριά από τις τροχιές εισοδήματος.

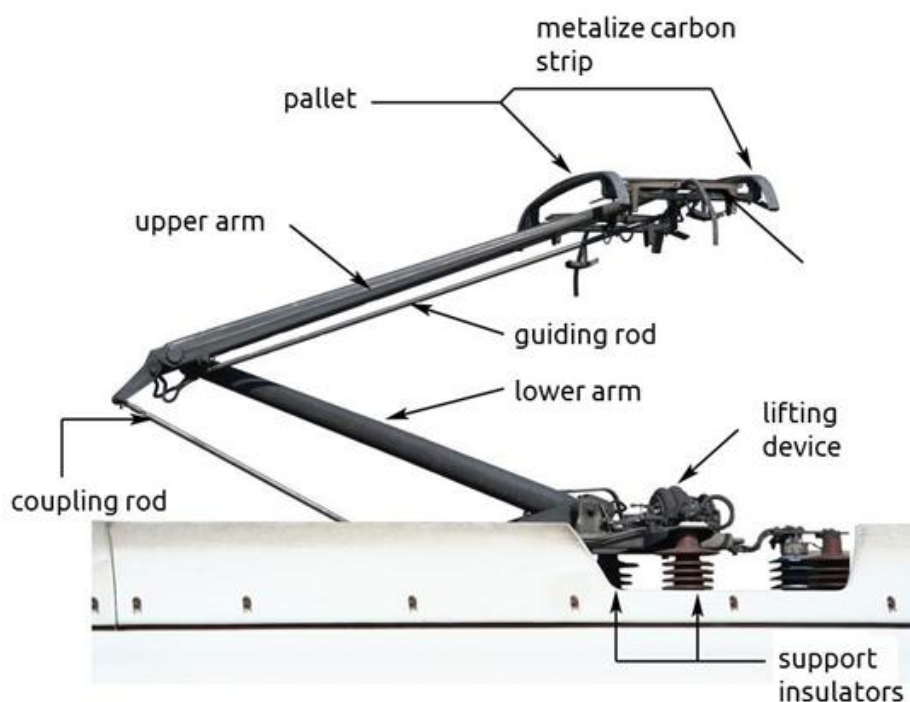
2.6 Παντογράφος

Ο παντογράφος είναι μια συσκευή που είναι τοποθετημένη στην οροφή ενός ηλεκτρικού τρένου, τραμ (ή ηλεκτρικού λεωφορείου) για να συλλέγει ενέργεια μέσω επαφής με μια εναέρια γραμμή. Είναι ένας κοινός τύπος συλλέκτη ρεύματος. Συνήθως, χρησιμοποιεί ένα ή δύο σύρματα, με το ρεύμα επιστροφής να τρέχει μέσα από την τροχιά. Ο όρος προέρχεται από την ομοιότητα ορισμένων μορφών με τους μηχανικούς παντογράφους που χρησιμοποιούνται για την αντιγραφή χειρογράφων και σχεδίων.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος παντογράφου σήμερα είναι ο λεγόμενος μισο-παντογράφος (μερικές φορές σε σχήμα «Z»), ο οποίος εξελίχθηκε για να παρέχει ένα πιο συμπαγές και ανταποκρινόμενο σχέδιο μονού βραχίονα σε υψηλές ταχύτητες, καθώς τα τρένα έγιναν γρηγορότερα. Ο Louis Faiveley εφηύρε αυτό το είδος παντογράφου το 1955. Ο μισο-παντογράφος μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σε όλα, από τα πολύ γρήγορα τρένα (όπως το TGV) έως τα αστικά συστήματα τραμ χαμηλής ταχύτητας. Ο σχεδιασμός λειτουργεί με την ίδια απόδοση σε κάθε κατεύθυνση της κίνησης, όπως αποδεικνύουν οι ελβετικοί και αυστριακοί σιδηρόδρομοι των οποίων οι καινούριες μηχανές υψηλών επιδόσεων, το Re 460 και το Taurus, λειτουργούν και προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η γεωμετρία και το σχήμα των παντογράφων καθορίζονται από το πρότυπο EN 50367 / IEC 60486 - Σιδηροδρομικές εφαρμογές - Συστήματα συλλογής ρεύματος - Τεχνικά κριτήρια για την αλληλεπίδραση μεταξύ παντογράφων και εναέριων γραμμών.

Το ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης για σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικών σιδηροδρόμων αποτελείται από ένα ανώτερο καλώδιο που φέρει βάρος (γνωστό ως αλυσοειδές) από το οποίο αναρτάται ένα σύρμα επαφής. Ο παντογράφος είναι εφοδιασμένος με ελατήριο και ωθεί ένα παπούτσι επαφής επάνω στην κάτω πλευρά του σύρματος επαφής για να τραβήξει το ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία της αμαξοστοιχίας. Οι σιδηροτροχιές χάλυβα ενεργούν ως ηλεκτρική επιστροφή. Καθώς η αμαξοστοιχία κινείται, το παπούτσι επαφής ολισθαίνει κατά μήκος του σύρματος και μπορεί να τοποθετήσει στάσιμα κύματα στα καλώδια τα οποία σπάνε την επαφή και υποβαθμίζουν τη συλλογή ρεύματος.



Ένας παντογράφος

Οι παντογράφοι με εναέρια σύρματα είναι πλέον η κυρίαρχη μορφή της συλλογής ρεύματος για τα σύγχρονα ηλεκτρικά τρένα, επειδή, αν και πιο εύθραυστα από μια τρίτη ράγα, επιτρέπουν τη χρήση υψηλότερων τάσεων.

Οι παντογράφοι λειτουργούν συνήθως με πεπιεσμένο αέρα από το σύστημα πέδησης του οχήματος είτε για να ανυψώσουν τη μονάδα και να την κρατήσουν ενάντια στον αγωγό είτε, όταν χρησιμοποιούνται ελατήρια για την πραγματοποίηση της επέκτασης, να το χαμηλώσουν. Ως προφύλαξη έναντι της απώλειας πίεσης στη δεύτερη περίπτωση, ο βραχίονας συγκρατείται στην κάτω θέση με μια παγίδα. Για τα συστήματα υψηλής τάσης, η ίδια παροχή αέρα χρησιμοποιείται για την «εκτόνωση» του ηλεκτρικού τόξου όταν χρησιμοποιούνται οι διακόπτες κυκλώματος οροφής.

Οι παντογράφοι μπορεί να έχουν είτε ένα μόνο είτε ένα διπλό βραχίονα. Οι παντογράφοι διπλού βραχίονα είναι συνήθως βαρύτεροι, απαιτούν περισσότερη δύναμη για ανύψωση και μείωση, αλλά μπορεί επίσης να είναι περισσότερο ανεκτικοί σε σφάλματα.

2.7 Εναέριες Γραμμές Τροφοδοσίας

Οι σιδηρόδρομοι γενικά τείνουν να προτιμούν εναέριες γραμμές, συχνά αποκαλούμενες "αλυσοειδή", μετά το σύστημα υποστήριξης που χρησιμοποιείται για να συγκρατεί το σύρμα παράλληλα προς το έδαφος. Είναι δυνατές τρεις μέθοδοι συλλογής:

Πλαίσιο τρόλεϊ: ένας μακρύς εύκαμπτος πόλος, ο οποίος εμπλέκεται στη γραμμή με ένα τροχό.

Συλλέκτης τόξου: ένα πλαίσιο που συγκρατεί μια μακριά ράβδο συλλογής πάνω στο σύρμα.

Παντογράφος: ένα αρθρωτό πλαίσιο που συγκρατεί τα σημεία συλλογής ενάντια στο σύρμα σε σταθερή γεωμετρία.

Από τις τρεις, η μέθοδος παντογράφου είναι η πλέον κατάλληλη για λειτουργία υψηλής ταχύτητας. Ορισμένες μηχανές χρησιμοποιούν τόσο την εναέρια όσο και την τρίτη συλλογή σιδηροτροχιών (π.χ. British Rail Class 92). Στην Ευρώπη, η συνιστώμενη γεωμετρία και το σχήμα των παντογράφων καθορίζονται από το πρότυπο EN 50367 / IEC 60486.

Το να κρεμαστεί ένα καλώδιο πάνω από τον σιδηρόδρομο, παρέχοντάς του ρεύμα και τρέχοντα τρένα κάτω από αυτό δεν είναι τόσο εύκολο αν πρόκειται να κάνει τη δουλειά του σωστά και να διαρκέσει αρκετό καιρό για να δικαιολογήσει τη δαπάνη της τοποθέτησης. Το καλώδιο πρέπει να μπορεί να μεταφέρει το ρεύμα (αρκετές χιλιάδες αμπέρ), να παραμείνει σε συμφωνία με τη διαδρομή, να αντέξει τον άνεμο (στους τυφώνες του Χονγκ Κονγκ μπορεί να φτάσει τα 200 km / h), το κρύο και τη θερμότητα και άλλες εχθρικές καιρικές συνθήκες.

Τα συστήματα εναέριων αλυσοειδών, που ονομάζονται "αλυσοειδή" από την καμπύλη που σχηματίζεται από το καλώδιο στήριξης, έχουν μια σύνθετη γεωμετρία, που σήμερα σχεδιάζεται συνήθως από υπολογιστή. Το σύρμα επαφής πρέπει να συγκρατείται οριζόντια και να τραβιέται πλευρικά για να διαπραγματευτεί τις καμπύλες στην τροχιά. Η τάση του σύρματος επαφής θα είναι περίπου 2 τόνοι. Το μήκος του σύρματος είναι συνήθως μεταξύ 1000 και

1500 μέτρων, ανάλογα με τις περιοχές θερμοκρασίας. Το σύρμα είναι ζιγκ-ζαγκ σε σχέση με την κεντρική γραμμή του σιδηροδρόμου, για την εξισορρόπηση της φθοράς του παντογράφου της αμαξοστοιχίας καθώς τρέχει από κάτω.

Το σύρμα επαφής είναι αυλακωτό ώστε να επιτρέπεται η τοποθέτηση κλιπ στην άνω πλευρά. Το κλιπ χρησιμοποιείται για τη στερέωση του αποσπώμενου καλωδίου. Η τάση του σύρματος διατηρείται με βάρη αιωρούμενα σε κάθε άκρο του μήκους του. Κάθε μήκος αλληλεπικαλύπτεται από τον γείτονά του για να εξασφαλιστεί ομαλή διέλευση για τον παντογράφο. Η εσφαλμένη ένταση, σε συνδυασμό με την εσφαλμένη ταχύτητα μιας αμαξοστοιχίας, θα προκαλέσει την αναπήδηση της κεφαλής παντογράφου. Ένα ηλεκτρικό τόξο συμβαίνει με κάθε αναπήδηση και ο παντογράφος και το σύρμα σύντομα θα φθαρούν μέσα από τέτοιες συνθήκες.

Περισσότεροι από ένας παντογράφοι σε ένα τρένο μπορούν να προκαλέσουν παρόμοιο πρόβλημα, όταν η κύρια κεφαλή παντογράφου θέτει ένα κύμα στο σύρμα και η πίσω κεφαλή δεν μπορεί να παραμείνει σε επαφή. Οι υψηλές ταχύτητες επιδεινώνουν το πρόβλημα. Ο γαλλικός σχηματισμός αμαξοστοιχίας υψηλής ταχύτητας (TGV) διαθέτει ηλεκτρικό όχημα σε κάθε άκρο της αμαξοστοιχίας, αλλά λειτουργεί μόνο με ένα παντογράφο που έχει ανυψωθεί κάτω από τις γραμμές υψηλής ταχύτητας 25 kV AC. Το πίσω αυτοκίνητο τροφοδοτείται μέσω καλωδίου 25 kV που διατρέχει το μήκος της αμαξοστοιχίας. Αυτά θα απαγορευόταν στη Βρετανία λόγω ασφάλειας.

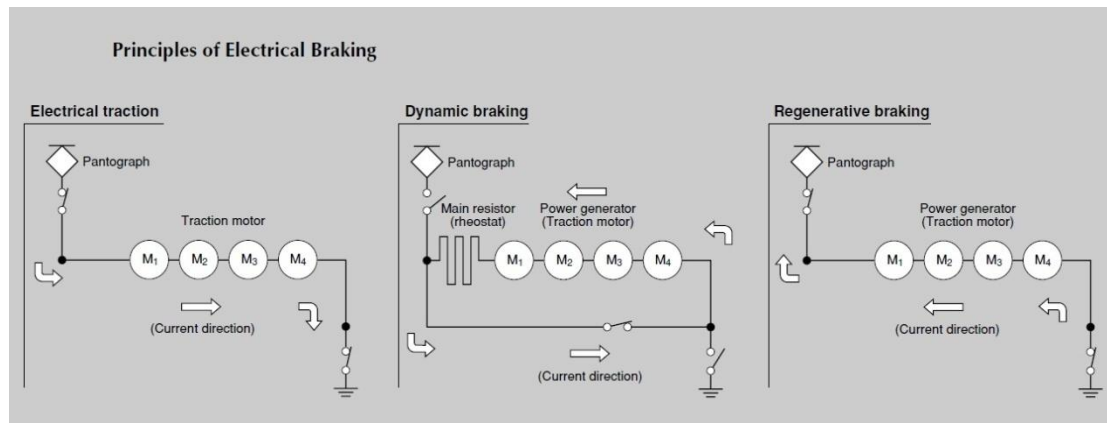


Εναέρια γραμμές στη Δανία κοντά στο Roskilde. Για αισθητικούς λόγους, η δομή στήριξης κατασκευάζεται από κοίλους χαλύβδινους ιστούς COR-TEN.

2.8 Ηλεκτρικά Συστήματα Φρένων

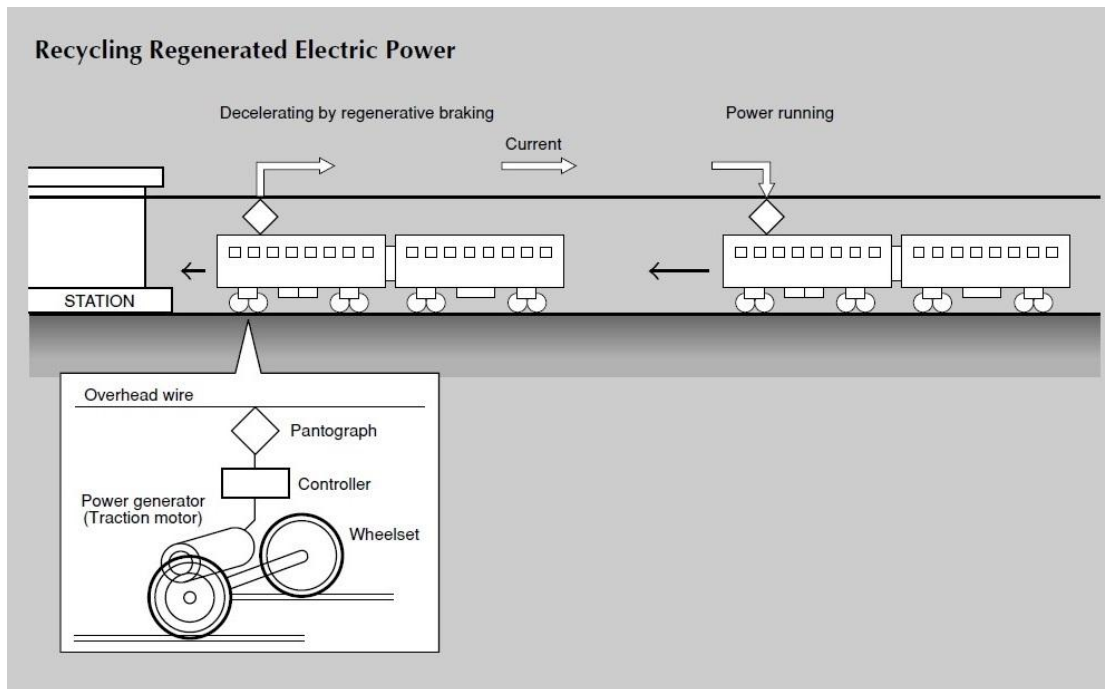
Ένα άλλο σύστημα πέδησης που χρησιμοποιείται από ηλεκτρικά τρένα είναι η ηλεκτρική δυναμική πέδηση που μετατρέπει τον κινητήρα σε γεννήτρια πεδήσεως που διαλύει την κινητική ενέργεια ως θερμότητα. Η αναγεννητική πέδηση χρησιμοποιεί το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα αντί να το διαχέει ως θερμότητα και γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη λόγω της ικανότητάς της να εξοικονομεί ενέργεια.

Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει τις αρχές των συστημάτων ηλεκτρικής έλξης, δυναμικής πέδησης και αναγεννητικής πέδησης. Αν και ο κινητήρας έλξης κινεί και επιταχύνει την αμαξοστοιχία, κατά τη διάρκεια της πέδησης, ενεργεί ως ηλεκτρική γεννήτρια και αποτελεί μέρος ενός κυκλώματος που αποτελείται από έναν κύριο αντιστάτη (ρεοστάτη), από οπλισμούς και από ένα σύστημα πεδίου. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει μέσω του κυκλώματος και καταναλώνεται από την κύρια αντίσταση, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια της αμαξοστοιχίας σε θερμότητα και ως εκ τούτου δρα ως φρένο.

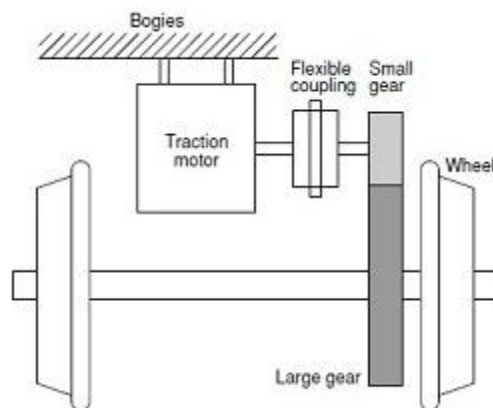


Η αναγεννητική πέδηση χρησιμοποιεί τον ίδιο τύπο κυκλώματος, αλλά η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την πέδηση δεν καταναλώνεται από την κύρια αντίσταση. Αντ' αυτού, μεταδίδεται στο εναέριο σύρμα. Η ροή αυτού του ηλεκτρικού ρεύματος ελέγχεται από έναν ελεγκτή κάτω από τον παντογράφο που ανοίγει και κλείνει με χρονισμό διαίρεσης δευτερολέπτου.

Τα ηλεκτρικά συστήματα πέδησης είναι οικονομικά, διότι δεν χρησιμοποιούν στοιχεία τριβής, σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα πέδησης. Το σύστημα πέδησης με ανάκτηση ενέργειας είναι ακόμα πιο οικονομικό, επειδή η ηλεκτρική ενέργεια που αναγεννάται από την κινητική ενέργεια της αμαξοστοιχίας μεταδίδεται στο εναέριο σύρμα και καθίσταται διαθέσιμη για την τροφοδότηση άλλου τροχαίου υλικού. Το πρόβλημα με τα ηλεκτρικά συστήματα πέδησης είναι ότι περιστασιακά δυσλειτουργούν επειδή έχουν σύνθετα κυκλώματα. Για το λόγο αυτό δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φρένα έκτακτης ανάγκης.



Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα πέδησης, η δύναμη πέδησης του κινητήρα έλξης (γεννήτρια) μεταδίδεται στους τροχούς μέσω γραναζιών. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ρυθμίζεται για να ελέγχει τη δύναμη πέδησης.



Transmission of Braking Force from Traction Motor to Wheels

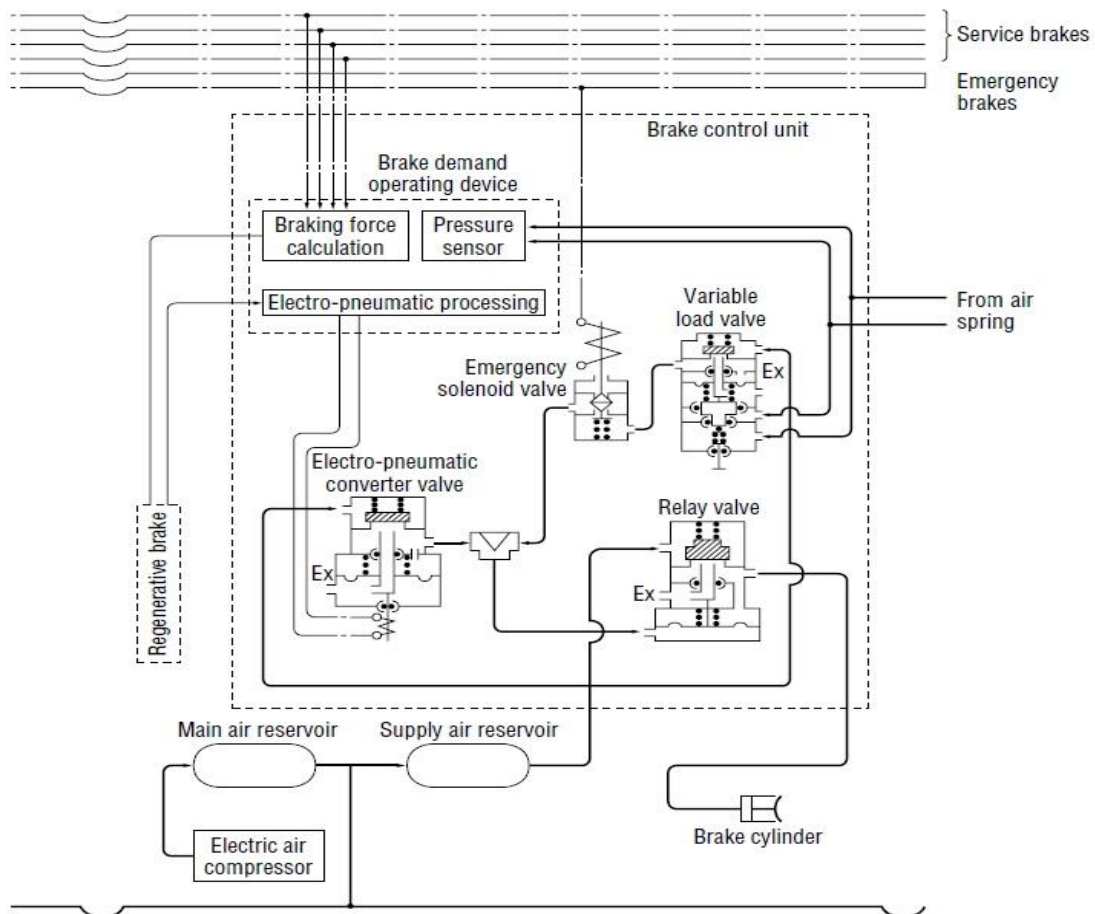
2.9 Εντολή Πέδησης

Τα φρένα πρέπει να λειτουργούν σε κάθε βαγόνι την ίδια στιγμή και με την απαιτούμενη δύναμη. Ο χρονισμός και η δύναμη πέδησης ελέγχονται από ένα ηλεκτρικό σύστημα εντολών ή από ένα σύστημα εντολών αέρα.

Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν ένα ψηφιακό ηλεκτρικό σύστημα εντολών, μια γραμμή εντολής πίεσης αέρα και τα συστήματα σε ένα σύστημα μονάδας ελέγχου φρένων (BCU), αντίστοιχα. Το ψηφιακό ηλεκτρικό σύστημα εντολών ελέγχει τη δύναμη πέδησης εφαρμόζοντας ψηφιακή τάση μέσω καλωδίων που διατρέχουν όλο το μήκος της αμαξοστοιχίας. Το σύστημα εντολών αέρα, αλλιώς γνωστό ως αναλογικό σύστημα αποστολέα, ελέγχει την πίεση αέρα σε σωλήνες που κινούν όλο το μήκος της αμαξοστοιχίας. Το σύστημα ελέγχου

αέρος χρησιμοποιείται σε φορτάμαξες και ορισμένα επιβατικά βαγόνια και μπορεί να μεταδίδει εντολές πέδησης σε τροχαίο υλικό χωρίς τροφοδοσία. Το ηλεκτρικό σύστημα χειρισμού χρησιμοποιείται σε shinkansen και άλλα νέα τρένα, και προσφέρει ελαφρύτερο βάρος και καλύτερους χρόνους απόκρισης, ακόμη και σε μακρινά τρένα. Το σύστημα BCU διατηρεί τη δύναμη πέδησης στο βέλτιστο επίπεδο προσαρμόζοντάς την ανάλογα με τις εντολές πέδησης, την ηλεκτρική δύναμη πέδησης (αναδρομική πέδηση), τον αριθμό επιβατών, την ταχύτητα κ.λπ.

Brake Control Unit (BCU) System



2.10 Ηλεκτροδότηση 25KV/50Hz

Αυτή η ηλεκτροδότηση είναι ιδανική για σιδηροδρόμους που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις ή μεταφέρουν βαρύ εμπόρευμα. Μετά από κάποιους πειραματισμούς πριν από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο στην Ουγγαρία και στο Μέλανα Δρυμό στη Γερμανία, χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη δεκαετία του 1950.

Ένας από τους λόγους για τους οποίους δεν εισήχθη νωρίτερα ήταν η έλλειψη κατάλληλου μικρού και ελαφρού εξοπλισμού ελέγχου και διόρθωσης πριν από την ανάπτυξη των ανορθωτών στερεάς κατάστασης και της σχετικής τεχνολογίας. Ένας άλλος λόγος ήταν οι αυξημένες αποστάσεις που απαιτούνταν όταν έτρεχαν κάτω από τις γέφυρες και σε σήραγγες, οι οποίες θα απαιτούσαν μεγάλη κατασκευαστική μηχανική για να προσφέρουν αυξημένη απόσταση από τα κινούμενα μέρη.

Οι σιδηρόδρομοι που χρησιμοποιούν παλαιότερα συστήματα συνεχούς ρεύματος χαμηλότερης χωρητικότητας έχουν εισαγάγει ή εισάγουν AC 25 kV αντί για 3 kV DC / 1,5 kV DC για τις νέες γραμμές υψηλής ταχύτητας.

2.11 Δίκτυα Διανομής

Η ηλεκτρική ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής μεταδίδεται σε υποσταθμούς δικτύου χρησιμοποιώντας τριφασικό σύστημα διανομής. Στον υποσταθμό του πλέγματος, ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού συνδέεται σε δύο από τις τρεις φάσεις της παροχής υψηλής τάσης. Ο μετασχηματιστής μειώνει την τάση στα 25 kV, η οποία τροφοδοτείται σε σταθμό τροφοδοσίας σιδηροδρόμων που βρίσκεται δίπλα στις διαδρομές. Τα SVC χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση φορτίου και τον έλεγχο τάσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατασκευάστηκαν αποκλειστικές μονοφασικές γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος σε υποσταθμούς με μονοφασικούς μετασχηματιστές εναλλασσόμενου ρεύματος. Τέτοιες γραμμές κατασκευάστηκαν για να προμηθεύσουν το γαλλικό TGV.

2.12 Υποσταθμοί

Ένας υποσταθμός έλξης, ένας σταθμός μετατροπής ρεύματος έλξης ή ένας υποσταθμός ισχύος έλξης (TPSS) είναι ένας ηλεκτρικός υποσταθμός που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια από τη μορφή που παρέχεται από τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας για δημόσια χρήση κοινής ωφελείας σε κατάλληλη τάση, τύπο ρεύματος και συχνότητα για την παροχή σιδηροδρόμων, τραμ ή τρόλεϊ με ρεύμα έλξης.

Αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος 50Hz ή 60Hz (AC) για την τροφοδοσία συστημάτων ηλεκτροκίνησης σιδηροδρομικών αγωγών εναλλασσόμενου ρεύματος σε χαμηλότερη συχνότητα και μονοφασική, όπως χρησιμοποιούνται από πολλά παλαιότερα συστήματα ή για την ανόρθωση του AC σε συνεχές ρεύμα για τα συστήματα αυτά (κυρίως συστήματα δημόσιας διαμετακόμισης) που χρησιμοποιούν DC για έλξη.

Οι μονάδες μετατροπής ρεύματος έλξης είτε είναι αποκεντρωμένες (όταν ένα εργοστάσιο τροφοδοτεί απευθείας τις εναέριες γραμμές ή την τρίτη ράγα του συστήματος έλξης, χωρίς τροφοδοσία σε δίκτυο διανομής ρεύματος έλξης) είτε κεντρικά (για την τροφοδοσία του δικτύου έλξης, συνήθως επιπρόσθετα με την άμεση τροφοδοσία των εναέριων γραμμών ή τρίτων ραγών).



Υποσταθμός έλξης σιδηροτροχιάς Woburn στο Lower Hutt της Νέας Ζηλανδίας, που παρέχει 1500 V DC στην ηλεκτροκίνητη γραμμή Hutt Valley.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΙΩΡΗΣΗ (MAGLEV)

3.1 Εισαγωγή

Το Maglev (που προέρχεται από τη μαγνητική ανύψωση) είναι ένα σύστημα μεταφοράς τρένων που χρησιμοποιεί δύο σετ μαγνητών, ένα σετ που απωθεί και σπρώχνει την αμαξοστοιχία πάνω από την τροχιά ως αιώρηση (επομένως Maglev, Magnetic-levitation), στη συνέχεια ένα άλλο σετ για τη μετακίνηση του «αιωρούμενου τρένου» μπροστά με μεγάλη ταχύτητα εκμεταλλευόμενη την έλλειψη τριβής. Σε ορισμένες περιοχές μεσαίας εμβέλειας (συνήθως μεταξύ 300-600 χιλιομέτρων), το Maglev μπορεί να ανταγωνιστεί ευνοϊκά με σιδηροτροχιές και αεροπλάνα υψηλής ταχύτητας.

Με την τεχνολογία Maglev, δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη. Το τρένο ταξιδεύει κατά μήκος ενός οδηγού μαγνητών που ελέγχουν τη σταθερότητα και την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας. Επομένως, τα τρένα Maglev είναι πιο ήσυχα και ομαλότερα από τα συμβατικά τρένα και έχουν τις δυνατότητες για πολύ υψηλότερες ταχύτητες.

Τα οχήματα Maglev έχουν κάνει πολλά ρεκόρ ταχύτητας και μπορούν να επιταχύνουν και να επιβραδυνθούν πολύ ταχύτερα από τα συμβατικά τρένα. Ο μόνος πρακτικός περιορισμός είναι η ασφάλεια και η άνεση των επιβατών.

Η ισχύς που απαιτείται για την αιώρηση συνήθως δεν είναι ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας ενός συστήματος maglev υψηλής ταχύτητας. Η υπερνίκηση της οπισθέλκουσας, η οποία καθιστά όλη τη χερσαία μεταφορά περισσότερο ενεργοβόρα σε υψηλότερες ταχύτητες, παίρνει τη μέγιστη ενέργεια. Η τεχνολογία Vactrain έχει προταθεί ως μέσο για την υπέρβαση αυτού του περιορισμού.

Τα συστήματα Maglev ήταν πολύ πιο ακριβά για να κατασκευαστούν από τα συνηθισμένα συστήματα τρένων, αν και η απλούστερη κατασκευή των οχημάτων Maglev τα καθιστά φθηνότερα για την κατασκευή και τη συντήρησή τους. Παρά το πέρασμα ενός αιώνα έρευνας και ανάπτυξης, τα συστήματα μεταφοράς maglev λειτουργούν μόνο σε τρεις χώρες (Ιαπωνία, Νότια Κορέα και Κίνα). Τα αυξητικά οφέλη της τεχνολογίας maglev συχνά ήταν δύσκολο να δικαιολογηθούν σε σχέση με το κόστος και τον κίνδυνο, ειδικά όταν υπάρχει υφιστάμενη ή προτεινόμενη συμβατική γραμμή υψηλής ταχύτητας με εφεδρική μεταφορική ικανότητα, όπως στην ηπειρωτική Ευρώπη, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιαπωνία.



Η αμαξοστοιχία maglev (μαγνητική αιώρηση) της Σαγκάης επιτυγχάνει μέγιστη κανονική ταχύτητα λειτουργίας 268 μίλια την ώρα (431 χλμ. / ώρα)

3.2 Τεχνολογία

Τα συστήματα Maglev μπορεί να είναι μονής ή διπλής γραμμής και δεν είναι όλα τα μονόγραμμα τρένα μαγνητικά. Ορισμένα συστήματα σιδηροδρομικών μεταφορών ενσωματώνουν γραμμικούς κινητήρες αλλά χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητισμό μόνο για πρόωση, χωρίς να ανυψώνουν το όχημα. Τέτοιες αμαξοστοιχίες έχουν τροχούς και δεν είναι μαγνητικές. Τα Maglev, μονόγραμμα ή μη, μπορούν επίσης να κατασκευαστούν χωρίς ανύψωση. Αντίστροφα, τα συστήματα που δεν είναι Maglev, μονόγραμμα ή μη, μπορούν να ανυψωθούν επίσης. Ορισμένα τρένα maglev διαθέτουν ενσωματωμένους τροχούς και λειτουργούν σαν γραμμικά κινητήρια τροχοφόρα οχήματα σε βραδύτερες ταχύτητες αλλά "απογειώνονται" και αιωρούνται σε υψηλότερες ταχύτητες.

Οι δύο αξιοσημείωτοι τύποι τεχνολογίας maglev είναι:

Η ηλεκτρομαγνητική αιώρηση (EMS), όπου ηλεκτρονικά ελεγχόμενοι ηλεκτρομαγνήτες στην αμαξοστοιχία την έλκουν σε μια μαγνητικά αγωγίμη (συνήθως χαλύβδινη) τροχιά.

Η ηλεκτροδυναμική αιώρηση (EDS) χρησιμοποιεί υπεραγωγίμους ηλεκτρομαγνήτες ή ισχυρούς μόνιμους μαγνήτες που δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο προκαλεί ρεύματα σε κοντινούς μεταλλικούς αγωγούς όταν υπάρχει σχετική κίνηση, τα οποία ωθούν και τραβούν την αμαξοστοιχία προς την σχεδιασμένη θέση αιώρησης κατά τον τρόπο καθοδήγησης.

Μια άλλη τεχνολογία, η οποία σχεδιάστηκε, αποδείχθηκε μαθηματικά, αξιολογήθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, αλλά από τον

Μάιο του 2015 είναι αδρανής, είναι η μαγνητοδυναμική αιώρηση (MDS). Χρησιμοποιεί την μαγνητική δύναμη έλξης μιας συστοιχίας μόνιμων μαγνητών κοντά σε μια χαλύβδινη τροχιά για να σηκώσει το τρένο και να το κρατήσει στη θέση του. Άλλες τεχνολογίες όπως οι απωθητικοί μόνιμοι μαγνήτες και οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες έχουν γίνει αντικείμενο κάποιας έρευνας.

3.3 Σιδηροδρομικά Συστήματα Maglev

Ο όρος "maglev" αναφέρεται όχι μόνο στα οχήματα αλλά και στο σιδηροδρομικό σύστημα, ειδικά σχεδιασμένο για μαγνητική ανύψωση και πρόωση. Όλες οι επιχειρησιακές εφαρμογές της τεχνολογίας maglev καθιστούν ελάχιστη χρήση της τεχνολογίας των τροχοφόρων και δεν είναι συμβατές με τις συμβατικές σιδηροδρομικές γραμμές. Επειδή δεν μπορούν να μοιραστούν την υπάρχουσα υποδομή, τα συστήματα maglev πρέπει να σχεδιαστούν ως αυτόνομα συστήματα. Το σύστημα maglev SPM είναι διαλειτουργικό με χαλύβδινες σιδηροτροχιές και θα επιτρέπει στα οχήματα Maglev και τα συμβατικά τρένα να λειτουργούν στις ίδιες γραμμές. Στη Γερμανία σχεδιάστηκε επίσης ένα σύστημα maglev που λειτουργούσε με συμβατικές ράγες, αλλά ποτέ δεν αναπτύχθηκε πλήρως.

3.4 Πρόωση

Τα συστήματα EMS, όπως το HSST / Linimo, μπορούν να παράσχουν τόσο ανύψωση όσο και πρόωση χρησιμοποιώντας γραμμικό κινητήρα επί του σκάφους. Τα συστήματα EDS και ορισμένα συστήματα EMS όπως το Transrapid ανυψώνουν αλλά δεν κινούνται. Τέτοια συστήματα χρειάζονται κάποια άλλη τεχνολογία για πρόωση. Ένας γραμμικός κινητήρας (πηνία προώθησης) τοποθετημένος στην τροχιά είναι μια λύση. Σε μεγάλες αποστάσεις το κόστος των πηνίων μπορεί να είναι απαγορευτικό.

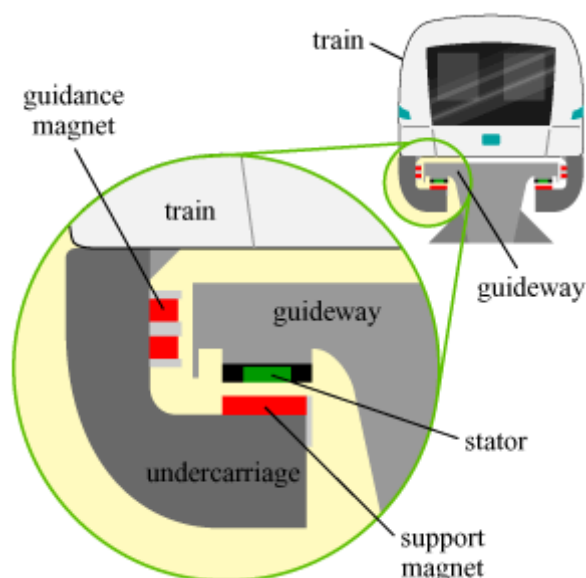
3.5 Ηλεκτρομαγνητική Αιώρηση (EMS)

Στα συστήματα ηλεκτρομαγνητικής αιώρησης (EMS), η αμαξοστοιχία αιωρείται πάνω από μια χαλύβδινη σιδηροτροχιά, ενώ οι ηλεκτρομαγνήτες, οι οποίοι συνδέονται με την αμαξοστοιχία, προσανατολίζονται προς την σιδηροτροχιά από κάτω. Το σύστημα είναι συνήθως διατεταγμένο σε μία σειρά βραχιόνων σχήματος C, με το ανώτερο τμήμα του βραχίονα προσαρτημένο στο όχημα και το κάτω εσωτερικό άκρο να περιέχει τους μαγνήτες. Η σιδηροτροχιά βρίσκεται μέσα στο C, μεταξύ των άνω και κάτω άκρων.

Η μαγνητική έλξη ποικίλει αντιστρόφως ανάλογα με τον κύβο απόστασης, άρα μικρές αλλαγές στην απόσταση μεταξύ των μαγνητών και της σιδηροτροχιάς

παράγουν πολύ διαφορετικές δυνάμεις. Αυτές οι αλλαγές στη δύναμη είναι δυναμικά ασταθείς - μια μικρή απόκλιση από τη βέλτιστη θέση τείνει να αυξάνεται, απαιτώντας εξελιγμένα συστήματα ανάδρασης ώστε να διατηρούν σταθερή απόσταση από την τροχιά (περίπου 15 χλστ. (0.59 ίντσες)).

Το κύριο πλεονέκτημα για τα αιωρούμενα συστήματα maglev είναι ότι λειτουργούν με όλες τις ταχύτητες, σε αντίθεση με τα ηλεκτροδυναμικά συστήματα, τα οποία λειτουργούν μόνο με ελάχιστη ταχύτητα περίπου 30 km / h (19 mph). Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για ξεχωριστό σύστημα αιώρησης χαμηλής ταχύτητας και μπορεί να απλοποιήσει τη διάταξη του σιδηροδρόμου. Από την άλλη πλευρά, η δυναμική αστάθεια απαιτεί μικρές ανοχές τροχιάς, οι οποίες μπορούν να αντισταθμίσουν αυτό το πλεονέκτημα. Ο Eric Laithwaite ανησύχησε ότι για να ικανοποιηθούν οι απαιτούμενες ανοχές, το χάσμα μεταξύ μαγνητών και σιδηροτροχιάς θα πρέπει να αυξηθεί στο σημείο όπου οι μαγνήτες θα ήταν υπερβολικά μεγάλοι. Στην πράξη, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε μέσω βελτιωμένων συστημάτων ανάδρασης, τα οποία υποστηρίζουν τις απαιτούμενες ανοχές.



Ηλεκτρομαγνητική αιώρηση (EMS)

3.6 Ηλεκτροδυναμική Αιώρηση (EDS)

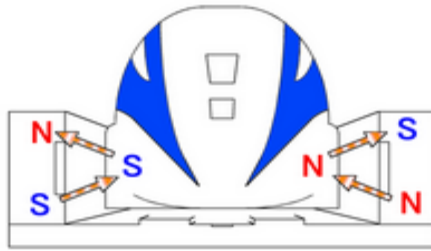
Στην ηλεκτροδυναμική ανάρτηση (EDS), τόσο ο καθοδηγητής όσο και η αμαξοστοιχία ασκούν ένα μαγνητικό πεδίο, και η αμαξοστοιχία αιωρείται από την απωστική και ελκτική δύναμη μεταξύ αυτών των μαγνητικών πεδίων. Σε ορισμένες διαμορφώσεις, η αμαξοστοιχία μπορεί να αιωρηθεί μόνο με απωστική δύναμη. Στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης του maglev στη δοκιμαστική πίστα Miyazaki, χρησιμοποιήθηκε ένα καθαρά απωθητικό σύστημα αντί του αργότερα απωστικού και ελκτικού συστήματος EDS. Το

μαγνητικό πεδίο παράγεται είτε με υπεραγωγίσιμους μαγνήτες είτε με μια σειρά από μόνιμους μαγνήτες. Η απωστική και ελκτική δύναμη στην τροχιά δημιουργείται από ένα επαγόμενο μαγνητικό πεδίο σε σύρματα ή άλλες αγωγίμες ταινίες στην τροχιά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων EDS maglev είναι ότι είναι δυναμικά σταθερά - οι μεταβολές στην απόσταση μεταξύ της τροχιάς και των μαγνητών δημιουργούν ισχυρές δυνάμεις για να επιστρέψουν το σύστημα στην αρχική του θέση. Επιπλέον, η ελκτική δύναμη μεταβάλλεται με τον αντίθετο τρόπο, παρέχοντας τα ίδια αποτελέσματα προσαρμογής. Δεν απαιτείται ενεργός έλεγχος ανάδρασης.

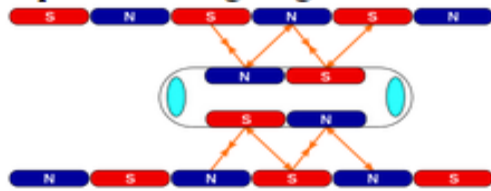
Ωστόσο, σε χαμηλές ταχύτητες, το ρεύμα που προκαλείται σε αυτά τα πηνία και η προκύπτουσα μαγνητική ροή δεν είναι αρκετά μεγάλο για να αιωρηθεί η αμαξοστοιχία. Για το λόγο αυτό, η αμαξοστοιχία πρέπει να διαθέτει τροχούς ή κάποια άλλη μορφή προσγείωσης για να στηρίξει την αμαξοστοιχία μέχρι να φτάσει στην ταχύτητα απογείωσης. Δεδομένου ότι μια αμαξοστοιχία μπορεί να σταματήσει σε οποιαδήποτε θέση, για παράδειγμα λόγω προβλημάτων εξοπλισμού, ολόκληρη η διαδρομή πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει τόσο τη λειτουργία χαμηλής όσο και υψηλής ταχύτητας.

Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι το σύστημα EDS δημιουργεί φυσικά ένα πεδίο στο σιδηρόδρομο μπροστά και πίσω από τους μαγνήτες ανύψωσης, το οποίο δρα ενάντια στους μαγνήτες και δημιουργεί μαγνητική οπισθέλκουσα. Αυτό γενικά αποτελεί πρόβλημα μόνο στις χαμηλές ταχύτητες. Σε υψηλότερες ταχύτητες κυριαρχούν άλλοι τρόποι έλξης.

Η δύναμη οπισθέλκουσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς πλεονέκτημα του ηλεκτροδυναμικού συστήματος, όμως καθώς δημιουργεί μία μεταβαλλόμενη δύναμη στις σιδηροτροχιές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντιδραστικό σύστημα για την οδήγηση της αμαξοστοιχίας, χωρίς την ανάγκη για ξεχωριστή πλάκα αντιδράσεως, όπως στην περίπτωση των περισσότερων συστημάτων γραμμικών κινητήρων. Ο Laithwaite οδήγησε στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων "μετατόπισης" στο εργαστήριο του Imperial College. Εναλλακτικά, τα πηνία προώθησης στον οδηγό χρησιμοποιούνται για να ασκήσουν δύναμη στους μαγνήτες της αμαξοστοιχίας και να κάνουν την αμαξοστοιχία να προχωρήσει προς τα εμπρός. Τα πηνία πρόωσης που ασκούν δύναμη στην αμαξοστοιχία είναι ουσιαστικά ένας γραμμικός κινητήρας. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα μέσω των πηνίων παράγει ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που κινείται προς τα εμπρός κατά μήκος της τροχιάς. Η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος συγχρονίζεται για να ταιριάζει με την ταχύτητα της αμαξοστοιχίας. Η μετατόπιση μεταξύ του πεδίου που ασκείται από τους μαγνήτες στην αμαξοστοιχία και του εφαρμοζόμενου πεδίου δημιουργεί μια δύναμη που κινεί το τρένο προς τα εμπρός.



SCMaglev EDS suspension is due to the magnetic fields induced either side of the vehicle by the passage of the vehicle's superconducting magnets.



EDS Maglev propulsion via propulsion coils

Ηλεκτροδυναμική αιώρηση (EDS)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΣΑΠ

4.1 Προϊστορία: 1835-1869

Το **1835** προτείνεται στην Ελλάδα η κατασκευή σιδηροδρόμου μεταξύ της Αθήνας και του Πειραιά. Ο σιδηρόδρομος σε πρώτη φάση προτείνεται με μονή γραμμή.

Το ίδιο έτος ξεκινάει η συγκοινωνία Αθήνας – Πειραιά με ιππηλάτες άμαξες, τα μετέπειτα ονομασθέντα «παμφορεία» ή «πολυφορεία». Η σχετική σύμβαση υπεγράφη στις 7/12/1835.

Το **1855** κατατίθεται τον Ιούνιο το πρώτο νομοσχέδιο για την ίδρυση του σιδηροδρόμου Αθήνας – Πειραιά. Το νομοσχέδιο, που προβλέπει παραχώρηση εκμετάλλευσης για μια περίοδο 55 ετών, ψηφίζεται ομόφωνα από τη Βουλή και δημοσιεύεται σαν νόμος ΤΖ «Περί συστάσεως σιδηροδρόμου απ' Αθηνών εις Πειραιά» στο ΦΕΚ 48/28.12.1855.

Τον Ιούνιο του **1857** με τον νόμο ΥΙΕ' παρατείνεται από 55 σε 75 έτη το αποκλειστικό δικαίωμα εκμετάλλευσης της γραμμής από τον ανάδοχο.



Αμαξοστοιχία έργων κατασκευής της πρώτης ελληνικής σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών – Πειραιώς κοντά στα Πετράλωνα. Δεξιά στο βάθος το Αστεροσκοπείο.

Το 1857 και το 1861 γίνονται δημοπρασίες για την εκτέλεση του έργου, αλλά οι κατακυρωμένες εταιρείες δεν προχωρούν το έργο. Το 1867 υπογράφεται σύμβαση που επικυρώνεται με νόμο (ΦΕΚ 64/1.11.1867). Τα έργα κατασκευής του Σιδηροδρόμου ξεκινούν το Νοέμβριο του 1867. Το 1868 μεταβιβάζονται τα δικαιώματα εκτέλεσης του έργου σε νέα Αγγλική εταιρία με τον τίτλο «Ανώνυμος Εταιρία του απ' Αθηνών εις Πειραιά Σιδηροδρόμου», που υπογράφει με το Ελληνικό Δημόσιο νέα σύμβαση στις 23/12/1868. Το έργο ολοκληρώθηκε το Φεβρουάριο του 1869 με τη βοήθεια Άγγλων μηχανικών. Η γραμμή είχε μήκος 8.5 χιλιόμετρα.

4.2 Ο ατμήλατος Σ.Α.Π.: 1869-1904

1869. Τα εγκαίνια του πρώτου σιδηροδρόμου

Η εταιρία του σιδηροδρόμου συνέστησε στην Αθήνα Διοικητικό Συμβούλιο. Τα εγκαίνια είχε αποφασισθεί να γίνουν στις 15 Φεβρουαρίου, αναβλήθηκαν όμως για τις 27 του ίδιου μήνα για να συμπληρωθούν ορισμένες ατέλειες τις οποίες είχε εντοπίσει η επιτροπή που επιθεώρησε τη γραμμή. Η πρώτη γενική δοκιμή έγινε στις 17 Φεβρουαρίου. Η αγγλικής κατασκευής ατμομηχανή έσυρε έξι οχήματα στα οποία υπήρχαν 200 προσκαλεσμένοι μηχανικοί. Πολιτευτές, δημοσιογράφοι και άλλοι. Διένυσε την απόσταση Αθήνας – Πειραιά σε 19 λεπτά.

Τα επίσημα εγκαίνια της λειτουργίας του σιδηροδρόμου έγιναν στις 27 Φεβρουαρίου 1869 και αποτέλεσαν το σημαντικότερο γεγονός της εποχής εκείνης. Οι δύο πόλεις -Αθήνα και Πειραιάς- έκαναν συναγωνισμό για το ποια θα διακοσμήσει με τον καλύτερο τρόπο το σταθμό της. Εξέδρες στήθηκαν, σημαιοστολίστηκαν οι δρόμοι που οδηγούσαν στους σταθμούς. Η συμμετοχή των κατοίκων πήρε μορφή «παλλαϊκού συναγερμού». Πολύ πριν από την ώρα που είχε προσδιορισθεί, πλήθη κόσμου είχαν καταλάβει το χώρο του Θησείου που βρισκόταν ο σταθμός Αθηνών και είχαν γεμίσει τα γύρω υψώματα. Έξω από το σταθμό είχε στηθεί ευρύχωρο ξύλινο παράπηγμα για την τέλεση του Αγιασμού, τον οποίο έψαλε ο μητροπολίτης Αθηνών. Στα εγκαίνια παρευρίσκονταν ο πρωθυπουργός και η βασίλισσα. Η βασίλισσα με τη συνοδεία της, το υπουργικό συμβούλιο και οι οικογένειές τους, μπήκαν στο πρώτο βαγόνι και στα υπόλοιπα εννέα οι προσκαλεσμένοι και πλήθος κόσμου που διαγκωνιζόταν να καταλάβει θέση στους χώρους που είχαν διατεθεί. Η ατμομηχανή στην οποία είχε δοθεί το όνομα της βασίλισσας, σκεπασμένη σχεδόν με δάφνες και μύρτα, ξεκίνησε αργά με συνεχή σφυρίγματα και ζητωκραυγές από τους παρισταμένους. Μετά από δεκαπέντε λεπτά η αμαξοστοιχία έφτασε στον Πειραιά, όπου την περίμεναν οι αρχές της πόλης και πλήθος κόσμου. Μετά τη σχετική τελετή, η αμαξοστοιχία επέστρεψε στην Αθήνα.

Η τακτική σιδηροδρομική συγκοινωνία του Σ.Α.Π. μεταξύ Αθήνας – Πειραιά, ξεκίνησε στις 28/2/1869 με 8 δρομολόγια την ημέρα ανά κατεύθυνση (Κυριακή και Δευτέρα γίνονταν 9 δρομολόγια).

Το **1874** ο Σ.Α.Π. εξαγοράζεται από τράπεζα αντί 60.000 λιρών Αγγλίας. Η νέα διοίκηση καταργεί την 3η θέση των επιβατών και καθιερώνει χιλιομετρικό τιμολόγιο εισιτηρίων.

Το **1880-1887**, η ίδια τράπεζα επιδιώκοντας μία βιώσιμη εκμετάλλευση του σιδηροδρόμου ιδρύει νέα «Ανώνυμο Εταιρία του απ' Αθηνών εις Πειραιά Σιδηροδρόμου» (ΣΑΠ) με κεφάλαιο 4.000.000 δρχ. Στο εργοστάσιο του ΣΑΠ κατασκευάζονται τα πρώτα εξάτροχα βαγόνια της γραμμής, για να αντικαταστήσουν τα αρχικά τετράτροχα που είχε φέρει η Εταιρία από το εξωτερικό. Τελειώνει η ανέγερση του σταθμού Πειραιά και αρχίζει να χτίζεται ο σταθμός του Θησείου καθώς και οι αποβάθρες των σταθμών Φαλήρου και Μοσχάτου. Εγκαθίσταται τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ των σταθμών. Μέχρι το 1883, οπότε έγινε επαναχάραξη της γραμμής στη σημερινή της θέση, η συγκοινωνία της παραλίας Φαλήρου γινόταν με διακλάδωση και η γραμμή του Πειραιά διερχόταν κατ' ευθείαν κοντά στην οδό Πειραιώς όπου βρισκόταν τότε το μνημείο Καραϊσκάκη. Από Αθήνα υπήρχε κάθε ώρα τραίνο για Πειραιά και στα μεσοδιαστήματα τραίνο για Φάληρο. Οι Πειραιώτες ερχόμενοι για Φάληρο αποβιβάζονταν στο μνημείο του Καραϊσκάκη και πεζοπορούσαν μέχρι να φτάσουν στην παραλία. Το 1883 κατασκευάζεται η γραμμή του ιπποσιδηροδρόμου από το σταθμό του Πειραιά στο Τελωνείο μέσω της παραλιακής οδού του λιμανιού. Μεταξύ 1881-1884 παραλαμβάνεται καινούργιο τροχαίο υλικό για τον σιδηρόδρομο (5 ατμάμαξες αγγλικής κατασκευής -οι «Ξούθος», «Ίων», «Φάληρος», «Θησεύς», «Κόδρος»- και 9 επιβατάμαξες Α', Β' θέσης). Κατόπιν αυτού πυκνώνουν τα δρομολόγια του ΣΑΠ.

Το **1888** κατασκευάζεται στα εργοστάσια του ΣΑΠ η «Παμμεγίστη» βασιλική σιδηροδρομική άμαξα. Η άμαξα αυτή κατασκευασμένη από 4 είδη (αμερικάνικο τικ, ερυθρόξυλο, μαμπλ και καρυόξυλο) κοσμεί σήμερα το Σιδηροδρομικό Μουσείο της Αθήνας.

Στις 20/5/1889 με το νόμο ΑΨΞΔ' επικυρώνεται σύμβαση, βάσει της οποίας μια εταιρεία θα αναλάμβανε το έργο της προέκτασης της γραμμής του ΣΑΠ από το Θησείο προς το Μοναστηράκι και την Ομόνοια. Η προέκταση αυτή περιλάμβανε χάραξη της γραμμής σε όρυγμα 450 μ. από Θησείο μέχρι Μοναστηράκι και σε σήραγγα 660 μ. για το τμήμα της γραμμής μεταξύ Μοναστηρακίου – Ομόνοιας, μήκους 850 μ. (συνολικό μήκος 1465 μ.). Η γραμμή θα κατασκευαζόταν διπλή και η εκμετάλλευσή της θα γινόταν από την εταιρία, με υποχρέωση καταβολής στον ΣΑΠ ετησίως ποσού 37.000 δρχ. σαν αντάλλαγμα.

Το **1890-1893** γίνεται διπλασιασμός της μονής γραμμής Αθήνας – Πειραιά.

Την ίδια περίοδο ο σιδηρόδρομος αποκτά νέο «αυτοματικό» σύστημα τροχοπέδησης, ενώ κατασκευάζεται στο εργοστάσιο του ΣΑΠ η μεγάλη εξέδρα του Ν. Φαλήρου, που τοποθετείται στην παραλία.

Τα έργα της προεκτάσεως, μέσω του ορύγματος στη Αρχαία Αγορά και της σήραγγας υπό την οδό Αθηνάς, προχωρούν με γοργούς ρυθμούς και ολοκληρώνονται το 1893.

Στις 17/5/1895 εγκαινιάζεται η υπόγεια προέκταση του ΣΑΠ μέχρι τον (ανοικτό σε όρυγμα) σταθμός της Ομόνοιας, στη γωνία των οδών Αθηνάς και

Λυκούργου. Η καθυστέρηση παραλαβής του έργου οφείλεται σε αντεγκλήσεις μεταξύ των δύο εταιριών (ΣΑΠ και Προεκτάσεως) για τεχνικά προβλήματα και ελλείψεις στο έργο. Η Αθήνα και οι Αθηναίοι παίρνουν την πρώτη γεύση από «υπόγειο μητροπολιτικό σιδηρόδρομο», αυτό που αργότερα θα ονομαστεί απλά «μετρό». Αρχικά στο τμήμα Μοναστηρακίου – Ομονοίας στρώθηκε μονή γραμμή και για τον λόγο αυτό οι συρμοί στο τμήμα Θησείου – Ομονοίας κυκλοφορούσαν με δύο ατμάμαξες, μια επικεφαλής και μία στην ουρά της αμαξοστοιχίας.

Το **1896**, το έτος αυτό, ο ΣΑΠ παρουσίασε αυξημένη επιβατική κίνηση, λόγω της ευρείας συμμετοχής του στην μεταφορά των χιλιάδων επισκεπτών απ' όλο τον κόσμο, που ήρθαν να παρακολουθήσουν την πρώτη αναβίωση των Ολυμπιακών Αγώνων που έλαβε χώρα στην Αθήνα. Οι ξένοι επισκέπτες αφικνούνταν με ατμόπλοια στον Πειραιά και ανέβαιναν στην Αθήνα με τους συρμούς του ΣΑΠ.

Στις **28/5/1898** υπεγράφη σύμβαση για την συγχώνευση των δύο εταιριών και την αντικατάσταση της ατμοκίνητης έλξης με ηλεκτρική. Το προνόμιο του ΣΑΠ παρατείνεται μέχρι το 1945. Η σύμβαση κυρώνεται στις **11/4/1900** με το νόμο ΒΨΞΕ'.

Προκηρύσσεται μειοδοτικός διαγωνισμός για την ηλεκτροκίνηση του δικτύου, στα πλαίσια του οποίου υποβάλλονται 9 προσφορές από Ελληνικούς και ξένους οίκους, που προέβλεπαν τρία διαφορετικά εναλλακτικά συστήματα ρευματοληψίας (από απλή εναέρια γραμμή μονοφασικού συνεχούς ρεύματος, από διπλή εναέρια γραμμή τριφασικού ρεύματος και από απλή επίγεια «τρίτη τροχιά» μονοφασικού συνεχούς ρεύματος).

Το **1901-1903** εκτελούνται τα έργα υποδομής για την λειτουργία του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου. Επιλέγεται σύστημα ισόγειας ρευματοληψίας με «τρίτη τροχιά» τοποθετημένη επί μονωτηρίων, με ονομαστική τάση ηλεκτροφόρου γραμμής 550-600 Volt και ρεύμα συνεχές. Την ηλεκτροκίνηση εξασφαλίζει η «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία»/THOMSONHOUSTONDELAMEDITERRANEE, που μόλις κατασκευάσει και το ομώνυμο εργοστάσιο παραγωγής ρεύματος στο Νέο Φάληρο και η οποία προμηθεύει από το εξωτερικό 40 οχήματα 1ης και 3ης θέσης (20 αυτοκίνητες άμαξες, 20 ρυμουλκούμενες άμαξες). Κατασκευάζονται εργοστάσιο υποστήριξης του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου στον Πειραιά και αμαξοστάσια σε Πειραιά και Θησείο. Γίνεται ακόμη η προμήθεια δύο ηλεκτραμαξών από την THOMSONHOUSTON.



Η ατμάμαξα «MAPINA» που μετά την ηλεκτροκίνηση του Σ.Α.Π. μεταβιβάστηκε στον Λαρισιακό Σιδηρόδρομο Πειραιώς - Δεμερλί – Συνόρων, μετέπειτα ΣΕΚ/ΟΣΕ. Η ατμάμαξα αυτή λειτουργούσε μέχρι την δεκαετία του '50 για βοηθητικές εργασίες, ελιγμούς κ.λ.π..

4.3 Ο Σ.Α.Π. μετά την ηλεκτροκίνηση: 1904-1925

Στις 16/9/1904 γίνονται τα εγκαίνια της νέας ηλεκτροκίνητης διπλής γραμμής του αστικού σιδηροδρόμου Πειραιώς – Αθηνών (Ομονοίας). Οι συρμοί αποτελούνται από 3 ή 4 ή 6 οχήματα (εκ των οποίων 2 ή 3 είναι ηλεκτρικές αυτοκινητάμαξες και τα υπόλοιπα ρυμουλκούμενες άμαξες). Ως προς την διεύθυνση των αμαξοστοιχιών εφαρμόστηκε το σύστημα των «πολλαπλών μονάδων» (Multiple unit system) που πρώτος ο Sprague εισήγαγε στην ηλεκτρική έλξη (διεύθυνση πολλών αυτοκινήτων αμαξών εν συζεύξει μέσω των ρυθμιστικών συσκευών μίας εξ αυτών). Οι πρώτες αυτές ηλεκτροκίνητες άμαξες του ΣΑΠ είχαν παρεμφερή σχεδίαση με τις αντίστοιχες του Παρισινού μετρό.

Ο νέος ηλεκτρικός σιδηρόδρομος Αθηνών – Πειραιώς εφοδιάστηκε με το σύστημα «της εις τμήματα διαιρέσεως της γραμμής και του αποκλεισμού των τμημάτων τούτων δια σημάτων (block system)». Η γραμμή διαιρέθηκε σε 6 τμήματα (με όρια: Σταθμό Πειραιώς, Σταθμό Φαλήρου, Σταθμό Μοσχάτου, Φυλακείο Συγγρού, Σταθμό Θησείου, Σταθμό Μοναστηρίου, Σταθμό Ομονοίας). Τα τμήματα αποκλεισμού εξασφαλιζονταν από σημαφόρους φέροντες βραχίονα και φραγές, που ευρίσκονταν σε μηχανική αλληλεξάρτηση μεταξύ των. Το σύστημα αυτό σηματοδότησης και ασφαλείας που εγκαταστάθηκε από τον αυστριακό οίκο SIEMENS – HALSKE, βασίστηκε στο

υπ' αυτόν εφαρμοζόμενο σύστημα «της εξαρτήσεως των σημάτων δι' ηλεκτροκινήτων κλείθρων κατά την επινόησιν του μηχανικού Frischen...».

Με το ως άνω σύστημα και με βάση τους απαιτούμενους χρόνους διάνυσης των τμημάτων αποκλεισμού της γραμμής του ΣΑΠ, επιτρέπονταν κατ' αρχήν χρονοαποστάσεις μεταξύ συρμών κατ' ελάχιστον 6 λεπτά. Τα πρώτα δρομολόγια του ηλεκτρικού είχαν χρονοαποστάσεις μεταξύ συρμών 15 λεπτά.

Το **1908-1910** η γραμμή του ιππήλατου τροchioδρόμου (τραμ) της Παραλίας Πειραιά που ανήκει στον ΣΑΠ, διαπλατώνεται σε κανονικό εύρος, επεκτείνεται μέχρι τον Σταθμό Λαρίσης του Πειραιά και ηλεκτροκινείται (600 Volt). Παραλαμβάνονται 7 διαξονικά ηλεκτρικά τροchioδρομικά οχήματα αγγλικής κατασκευής (DICKKERR, 1909). Τα εγκαίνια του νέου ηλεκτρικού τραμ του ΣΑΠ γίνονται στις 12/4/1910.

Το **1911** ο ΣΑΠ προμηθεύεται από τον οίκο Goossens δύο «υβριδικές» ηλεκτράμαξες τύπου Steeple-cab, με διπλή δυνατότητα ρευματοληψίας τόσο από την «τρίτη ηλεκτροφόρο τροχιά» του σιδηροδρόμου, όσο και από την εναέρια γραμμή επαφής του τραμ. Με τις ηλεκτράμαξες αυτές ξεκινά η συνδυασμένη εμπορευματική μεταφορά με εμπορικούς συρμούς του ΣΑΠ, μεταξύ της προκουμαίας του Κεντρικού Λιμένος Πειραιώς (όπου ξεφόρτωναν τα εμπορεύματα τα πλοία) και της Αθήνας. Για τον σκοπό αυτό στο Θησείο, όπου βρισκόταν ο εμπορικός σταθμός του ΣΑΠ, τοποθετήθηκε γερανός για την διευκόλυνση των φορτοεκφορτώσεων.

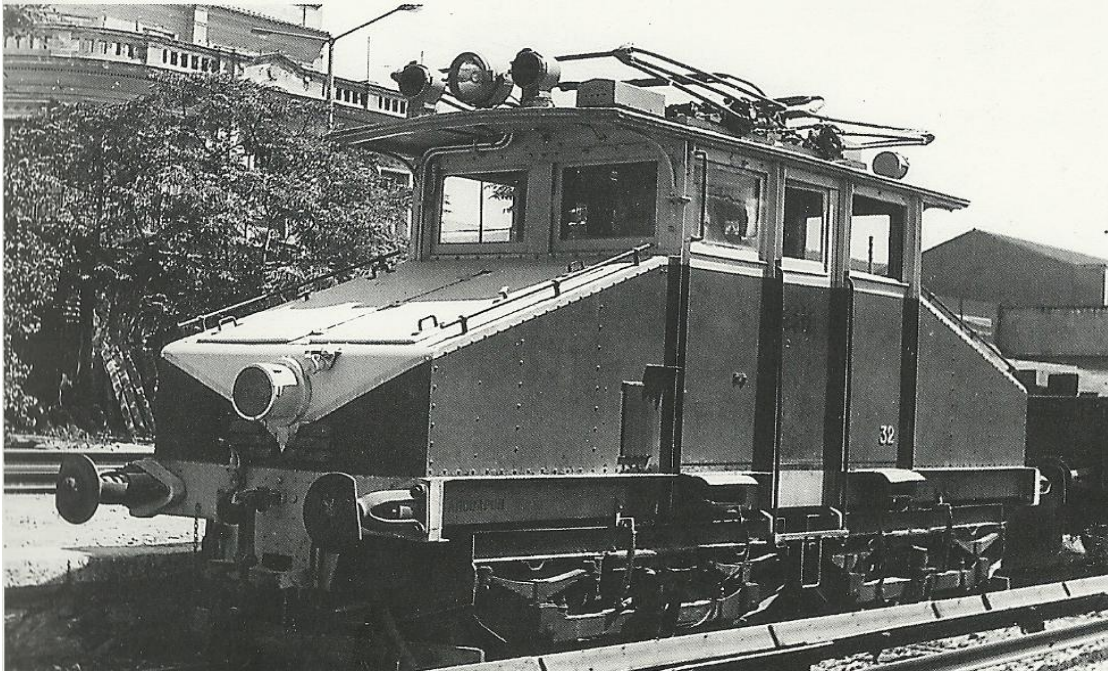
Το **1912** ο ΣΑΠ ενώνει την παραλιακή τροchioδρομική γραμμή του με τον Λαρισαϊκό Σιδηρόδρομο προς διευκόλυνση των στρατιωτικών μεταφορών και παραχωρεί στο Κράτος μία αμαξοστοιχία 10 οχημάτων του ατμήλατου σιδηροδρόμου για να χρησιμοποιηθεί σαν κινητό νοσοκομείο.

Το **1914** γίνεται η προμήθεια 9 νέων οχημάτων του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου από τον οίκο BAUMEMARPENT/DESOUCHESDAVID&CIE και 2 οχημάτων του τραμ της Παραλίας από τον DICKKERR. Επίσης, ανακαινίζεται ο σταθμός της Ομόνοιας.

Το **1915** εγκαινιάζεται η επέκταση της τροchioδρομικής γραμμής Παραλίας Πειραιά μέχρι το Βασιλικό Περίπτερο (Παλατάκι) στο Ξαβέρι.

Το **1923** έγινε αποπεράτωση κατασκευής 12 οχημάτων σιδηροδρόμου στο εργοστάσιο Πειραιά.

Το **1924-1925** έγινε αντικατάσταση του συστήματος σηματοδότησης και αποκλεισμού με πλέον σύγχρονο από την SIEMENSHALSKE. Με το σύστημα αυτό οι χρονοαποστάσεις μεταξύ των συρμών μπορούν θεωρητικά να μειωθούν σε 3 λεπτά. Έτσι καθίσταται δυνατή η πύκνωση των δρομολογίων στις ώρες αιχμής και μειώνονται οι καθυστερήσεις.



Η ηλεκτράμαξα 32 διαθέτει δύο τρόπους λειτουργίας: παντογράφο για λήψη από το εναέριο δίκτυο επαφής του τροchioδρόμου (τραμ) του ΣΑΠ/ΕΗΣ και πέδιλο για λήψη από την «τρίτη» ηλεκτροφόρο τροχιά του σιδηροδρόμου.



Το «φουργκόνι», η ηλεκτρική εμπορική αυτοκινητοάμαξα Νο 41 του ΣΑΠ που είχε επίσης διπλή δυνατότητα ρευματοληψίας από το εναέριο ηλεκτρικό δίκτυο του τραμ και το ισόγειο του τραίνου του ΣΑΠ/ΕΗΣ.

4.4 Το «ΘΗΡΙΟ» της Κηφισιάς: 1882-1936

Το **1882** υπογράφεται τον Μάιο σύμβαση μεταξύ του Ελληνικού κράτους και της Ελληνικής Εταιρίας Μεταλλουργείων Λαυρίου (ΕΕΜΛ) για την κατασκευή της γραμμής Αθηνών – Λαυρίου, πλάτους 1 μέτρου, συνολικού μήκους 76 χλμ. με διακλάδωση από το Ν. Ηράκλειο προς Κηφισιά. Το Δεκέμβριο του 1882 ιδρύεται η εταιρία «Σιδηρόδρομοι Αττικής», με αποκλειστικό μέτοχο την Ε.Ε.Μ.Λ., για την κατασκευή και εκμετάλλευση του εν λόγω δικτύου, το οποίο θα διαθέτει ατμήλατη έλξη.

Το **1883-1885** εκτελούνται τα έργα υποδομής, για την κατασκευή του δικτύου των «Σιδηροδρόμων Αττικής». Στις 4/2/1885 εγκαινιάζεται παρουσία πλήθους κόσμου το τμήμα Αθηνών (Πλ. Αττικής) – Κηφισιάς, που στη συνέχεια προεκτάθηκε μέχρι το Στροφύλι.

«Η πανηγυρικός εγκαινιασθείσα σιδηρά οδός απ' Αθηνών εις Κηφισίαν έχει ωρισμένον μήκος 14.808 μέτρων. Κατεσκευάσθησαν καθ' όλον το μήκος της γραμμής 78 τεχνικά έργα ...

...Η αμαξοστοιχία διέρχεται διά 9 γεφυρών, ων μάλλον αξιοσημείωτον είναι η των Ποδαράδων σιδηρά, και η υπό το υδραγωγείον Κασσαβέτη. Αι ατμάμαξαι, κατασκευασθείσαι εν τοις εργοστασίοις Tubize, εν Βελγική, δύνανται να σύρωσι και 12 βαγόνια, υπό την μεγίστην κλίσιν 25 χιλιοστών και ταχύτητα μέχρι 40 χιλιομέτρων, μετά 300 κατά μέσον όρον επιβατών...». (Απόσπασμα από την «Εφημερίδα» της 5/2/1885, συντάκτης της οποίας παραβρέθηκε στα εγκαίνια).

Στις 20/6/1885 γίνονται τα εγκαίνια και του δεύτερου τμήματος των «Σιδηροδρόμων Αττικής» από το Ν. Ηράκλειο μέχρι το Λαύριο.

Ο σιδηρόδρομος της Κηφισιάς, λόγω των αγκομαχητών και των πυκνών μαύρων καπνών του, έμεινε στην ιστορία της πρωτεύουσας με το παρατσούκλι «Θηρίο». Για πολλά χρόνια εξασφάλιζε πυκνή συγκοινωνία μεταξύ Αθηνών – Κηφισιάς (κάθε μία ώρα) καθώς και δύο συνδέσεις την ημέρα με το Λαύριο.

Το **1889** η γραμμή του «Θηρίου» επεκτείνεται από την πλατεία Αττικής μέχρι περίπου την Ομόνοια (στη σημερινή πλατεία Λαυρίου), μέσω των οδών Αγορακρίτου, Κοδριγκτώνος, Ρίζου και Γ' Σεπτεμβρίου.

Το **1991** με συμφωνητικό που υπεγράφη μεταξύ Ελληνικού Δημοσίου και Εταιρείας, οι «Σιδηρόδρομοι Αττικής» αναλαμβάνουν να εκτελέσουν έργα εξωραϊσμού της Κηφισιάς (ηλεκτροφωτισμό, δημιουργία άλσους με εστιατόριο, θέατρο, καφενείο κ.λπ.).

Το **1910** οι «Σιδηρόδρομοι Αττικής» εξαγοράζονται από την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία, με στόχο την ηλεκτροκίνηση του σιδηροδρόμου Κηφισιάς.

Το **1925-1926** η εταιρία ΣΑΠ, η Εταιρία των Σιδηροδρόμων Αττικής και η Εταιρία Τροχιοδρόμων Αθηνών – Πειραιώς – Περιχώρων συνεργάζονται με τον Αγγλικό Όμιλο κεφαλαιούχων «Πάουερ και Τράξιον Φάϊνανς Κόμπανυ». Από τον συνδυασμό αυτό σχηματίστηκαν δύο εταιρίες: οι ΕΗΣ (Ελληνικοί Ηλεκτρικοί Σιδηρόδρομοι) και η ΗΕΜ (Ηλεκτρική Εταιρία Μεταφορών). Οι ΕΗΣ

ιδρύονται το 1926 και αναλαμβάνουν την εκμετάλλευση του συγκοινωνιακού δικτύου του πρώην ΣΑΠ (αστικός σιδηρόδρομος Αθήνας – Πειραιά, τροχιοδρόμος παραλίας) με συμβατική υποχρέωση κατασκευής τροχιοδρομικής γραμμής Πειραιά – Περάματος, βελτίωσης της υπάρχουσας γραμμής του ηλεκτρικού με νέους σταθμούς και κατασκευή στην Αθήνα σήραγγας με διπλή γραμμή από την Ομόνοια μέχρι την πλατεία Αττικής, για να ενωθεί η γραμμή με τον σιδηρόδρομο Κηφισιάς.

Η ΗΕΜ ιδρύεται το 1926 αρχικά ως «Ελληνική Εταιρία Μεταφορών» και αναλαμβάνει την εκμετάλλευση του δικτύου τραμ της Εταιρίας Τροχιοδρόμων καθώς και της γραμμής Κηφισιάς των Σιδηροδρόμων Αττικής (η γραμμή Λαυρίου εκχωρείται στους ΣΠΑΠ το 1929) με συμβατική υποχρέωση να βελτιώσει και τροποποιήσει το τροχιοδρομικό δίκτυο, να αναλάβει την εκμετάλλευση υπό ίδρυση λεωφορειακών γραμμών (και αργότερα τρόλλεϋ) και τέλος να διαπλατύνει, εκσυγχρονίσει και ηλεκτροκινήσει τη γραμμή του «Θηρίου» της Κηφισιάς, για δυνατότητα μεταφοράς 1500 επιβατών ωριαία. Το 1926 η αφετηρία του «Θηρίου» μεταφέρεται πάλι στην Αττική, απ' όπου υπάρχει ανταπόκριση με τραμ της γραμμής Κ προς το κέντρο της Αθήνας. (Το Κ σήμαινε Κηφισιά). Η μεταφορά αυτή έγινε προκειμένου να ελευθερωθεί ο διάδρομος Ομόνοιας – Πλ. Αττικής, ώστε να αρχίσουν οι εκσκαφές για την κατασκευή της νέας σήραγγας του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου.

Το **1931** κατασκευάζεται από την ΗΕΜ η ενωτική γραμμή Σταθμού ΣΠΑΠ Αγ. Αναργύρων – Ν. Ηρακλείου, οπότε οι συρμοί των ΣΠΑΠ Αθηνών – Λαυρίου εκτρέπονται σε αυτήν, εγκαταλείποντας τη χρήση του διαδρόμου Σταθμού ΣΠΑΠ Αθήνας – Στ. Πλ. Αττικής – Στ. Ν. Ηρακλείου. Μεταπολεμικά οι ΣΠΑΠ θα δρομολογήσουν στη γραμμή Λαυρίου (ντηξελοκίνητες) αυτοκινητάμαξες, που θα μειώσουν τον χρόνο διαδρομής σε 1 ώρα και 50 λεπτά.

Στις 19/7/1937 η αρχική συμφωνία Ελληνικού Δημοσίου και ΗΕΜ συμπληρώνεται από δεύτερη σύμβαση, που περιλαμβάνει πλήρες τεχνικό, λειτουργικό και οργανωτικό σχέδιο ηλεκτροκίνησης του σιδηροδρόμου Κηφισιάς. Σύμφωνα με το παραπάνω σχέδιο ο νέος ηλεκτρικός σιδηρόδρομος Αθηνών – Κηφισιάς:

1. Θα αποτελείται από περιφραγμένη διπλή γραμμή κανονικού πλάτους με ηλεκτροδότηση μέσω επίγειας «τρίτης τροχιάς», υπό τάση συνεχούς ρεύματος 600 Volt.
2. Θα κατασκευαστεί «κατά τρόπον οικονομικών συμφώνως προς την πρακτική προαστιακών σιδηροδρόμων...».
3. Θα χρησιμοποιήσει αυστηρά την υπάρχουσα χάραξη του ατμήλατου σιδηροδρόμου Αττικής – Κηφισιάς.
4. Δεν θα επιτραπεί να έχει ισόπεδους διαβάσεις.
5. Θα είναι τεχνικά συμβατός με τον ηλεκτρικό σιδηρόδρομο Αθηνών – Πειραιώς, ώστε να καθίσταται δυνατή η κυκλοφορία διηκόντων συρμών μεταξύ Πειραιώς – Κηφισιάς.
6. Θα διαθέτει «κατάλληλον αυτόματον με χρωματιστά φώτα σύστημα σημάτων» και τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ των σταθμών.

7. Το τροχαίο υλικό που θα χρησιμοποιήσει θα συνίσταται από στόλο 8 τουλάχιστον αρθρωτών συρμών, έκαστος των οποίων θα αποτελείται από 2 οχήματα φερόμενα επί 3 φορείων, χωρητικότητας 200 ορθίων και καθμένων, με ειδικό διαμέρισμα μεταφοράς αποσκευών.

8. Θα σχεδιαστεί για μέση (δρομολογιακή) ταχύτητα 30 χλμ/ώρα.

Το **1938** καταργείται ο ατμήλατος σιδηρόδρομος «Θηρίο» της Κηφισιάς (το τελευταίο του δρομολόγιο έγινε στις 8/8/1938).

Δεκαεννέα χρόνια αργότερα, ο σιδηρόδρομος θα επιστρέψει στην Κηφισιά, αυτή τη φορά σαν ηλεκτρικός.

Το **1938-1940** εκτελούνται από την ΗΕΜ τα πρώτα έργα υποδομής (γέφυρες, ορύγματα, σταθμοί) για τον νέο ηλεκτρικό σιδηρόδρομο Αθηνών (Πλ. Αττικής) – Κηφισιάς, τα οποία όμως διακόπτονται την περίοδο της Κατοχής.

4.5 Οι Ε.Η.Σ. και τα μεγάλα έργα επέκτασης του δικτύου: 1926-1975

Το **1926** ιδρύονται τον Απρίλιο οι Ελληνικοί Ηλεκτρικοί Σιδηρόδρομοι (ΕΗΣ) κληρονομώντας το συγκοινωνιακό δίκτυο καθώς και το ενεργητικό και παθητικό του ΣΑΠ.

Παραλαμβάνονται δύο ακόμη τροchioδρομικά οχήματα Παραλίας.

Στις 7/1/**1928** θεμελιώνεται ο νέος υπόγειος σταθμός στην πλατεία Ομονοίας, που έχει ανασκαφεί για τον σκοπό αυτό ολόκληρη σε βάθος 8 μέτρων.

Το ίδιο έτος εγκαινιάζονται το νέο μεγαλοπρεπές μέγαρο του Σταθμού Πειραιά με τον μεγάλο μεταλλικό αψιδωτό θόλο (μικρογραφία του Κεντρικού Σιδηροδρομικού Σταθμού στο Μιλάνο), καθώς και ο σταθμός της Καλλιθέας.

Το **1928-1930** κατασκευάζεται η σήραγγα για την επέκταση της γραμμής του ηλεκτρικού από την Ομόνοια μέχρι το Σταθμό Αττικής του σιδηρόδρομου Κηφισιάς.

Παράλληλα με την Ομόνοια, ολοκληρώθηκε η κατασκευή του υπόγειου σταθμού Βικτωρίας καθώς και του νέου σταθμού Ν. Φαλήρου που διαθέτει 3 πλατφόρμες, υπόγεια διάβαση πεζών και αμαξοστάσιο. Τα τραίνα Πειραιώς – Αθηνών φθάνουν πλέον στο νέο Σταθμό Ομονοίας.

Το νέο υπόγειο τμήμα Ομονοίας – Αττικής προσωρινά δεν λειτουργεί.

Το **1931** έγινε έναρξη εγκατάστασης συστήματος κλεισίματος θυρών των οχημάτων του σιδηροδρόμου με πεπιεσμένο αέρα.

Εγκαινιάζεται στις 20/7/**1936** η προασιακή τροchioδρομική γραμμή (τραμ) Πειραιά – Περάματος μήκους 10 χλμ. Στη γραμμή αυτή κυκλοφορούν 12 τετραξονικά τροchioδρομικά οχήματα με προωθημένη για την εποχή τους τεχνολογία και ανέσεις, ιταλικής κατασκευής (ΟΜ-CGE/BREDA). Χαρακτηρίζονταν σαν «πολλαπλές μονάδες αυτομάτου επιταχύνσεως» και

διέθεταν ρευματολήπτη τύπου παντογράφου (όταν τα άλλα τραμ είχαν κεραίες με τρολλέ), καθώς και αυτόματη ζεύξη Scharfenberg.

Η γραμμή Περάματος ήταν σχεδιασμένη με βάση τις αρχές ελαφρού ηλεκτρικού σιδηροδρόμου αστικής και περιαστικής (Interurban) συγκοινωνίας, της εποχής του μεσοπολέμου. Στα πρώτα 700 μ. της διαδρομής του χρησιμοποιούσε την διπλή τροchioδρομική γραμμή της Παραλίας. Από τον Άγιο Διονύσιο και μέχρι Πέραμα και Ναύσταθμο όπου κατέληγε, εκινείτο σε μονή γραμμή σιδηροδρομικού τύπου (με ράγες Vignole και έρμα πάνω σε αποκλειστικό εύρος κατάληψης) και διέθετε 7 σταθμούς διασταυρώσεων.

Το **1937** έγινε πύκνωση των δρομολογίων του αστικού σιδηροδρόμου ανά 5'. Κατασκευή στο εργοστάσιο ΕΗΣ 3 τροchioδρομικών οχημάτων για τη γραμμή Παραλίας με εξοπλισμό SIEMENS.

Το **1938** έγινε παραγγελία στην SIEMENSSCHUCKERTWERKE για την ανακαίνιση του τροχαίου υλικού και αγορά νέου ηλεκτρικού εξοπλισμού. Το πρόγραμμα αυτό στη συνέχεια αποδυναμώνεται, λόγω των γεγονότων του πολέμου.

Το **1941-1944** υπήρχε υπερβολική αύξηση της επιβατικής κίνησης κατά τη διάρκεια της Κατοχής, λόγω μη ύπαρξης άλλου παράλληλου συγκοινωνιακού μέσου. Αναστέλλονται σταθμεύσεις (Μοσχάτο – Θησείο – Μοναστηράκι) για οικονομία στην κατανάλωση του ρεύματος.

Το **1942** εφαρμόζεται στον ηλεκτρικό ενιαία τιμή εισιτηρίου και το 1943 αφομοιώνονται οι θέσεις σε μία. Στις 11/1/1944 βομβαρδίζεται ο Πειραιάς και καταστρέφονται σχεδόν ολοσχερώς οι εγκαταστάσεις των ΕΗΣ (σταθμός εργοστάσιο, αμαξοστάσιο, οχήματα κ.λπ.). Διακόπτεται η λειτουργία των σιδηροδρόμων και των τροchioδρόμων των ΕΗΣ. Η συγκοινωνία των τραίνων αποκαθίσταται στις 7/2/1944 και αρκετά αργότερα αποκαθίσταται και η τροchioδρομική συγκοινωνία.

Το **1945** έγινε έναρξη ανοικοδόμησης και επισκευής εγκαταστάσεων και τροχαίου υλικού από τις ζημιές του πολέμου, από το προσωπικό στο εργοστάσιο των ΕΗΣ. Μέσα σε 3 χρόνια αποκαθίστανται ή μετασκευάζονται όλα τα υπάρχοντα παλαιά οχήματα και διαμορφώνονται σε νέες τριπλές ή πενταπλές συνθέσεις οι λεγόμενοι ξύλινοι (παλαιού τύπου) συρμοί. Αργότερα, την δεκαετία του '50, έγιναν και άλλες τροποποιήσεις στους συρμούς αυτούς (εγκατάσταση κινητήρων SIEMENS, συμπιεστών WESTINGHOUSE, πνευματικού συστήματος χειρισμού θυρών κ.λπ.).

Το Μάρτιο του **1948** αρχίζει η εκμετάλλευση της νέας σήραγγας καθώς και του σταθμού Βικτώριας. Λόγω της κυκλοφορίας των συρμών αρχικά σε μονή γραμμή στο τμήμα Ομόνοιας – Βικτώριας, χρησιμοποιείται η διαδικασία της σκυτάλης για την ασφαλή είσοδο και έξοδο των τραίνων στο τμήμα αυτό.

Παράλληλα εκπονείται νέος τύπος οχήματος για την επέκταση του σιδηροδρόμου μέχρι Κηφισιά.

Το **1949** στις 30 Ιουνίου αρχίζει η εκμετάλλευση του σταθμού Αττικής από τους ΕΗΣ.

Το **1950** με σύμβαση παραχωρείται από την ΗΕΜ στους ΕΗΣ το δικαίωμα ολοκλήρωσης των έργων ηλεκτροκίνησης καθώς και εκμετάλλευσης

του σιδηροδρόμου Αθήνας – Κηφισιάς. Η σύμβαση κυρώνεται το 1954 και η διάρκεια του προνομίου επεκτείνεται μέχρι 31/12/1975.

Γίνεται η πρώτη πρόταση κατασκευής νέου δικτύου υπογείου σιδηροδρόμου στο κέντρο της Αθήνας.

Το **1951** παραλαμβάνεται από τη Δυτ. Γερμανία και κυκλοφορεί στο δίκτυο το νέο υπερσύγχρονο τροχαίο υλικό κατασκευής SIEMENS – MAN, αποτελούμενο από 24 μεταλλικά οχήματα (12 κινητήρια και 12 ιθυνήρια).

Το στοιχείο του κάθε συρμού είναι δίδυμο, διαθέτει αυτόματη ζεύξη οχημάτων (SCARFENBERG), αυτόματο άνοιγμα και κλείσιμο θυρών με τηλεχειρισμό, το εσωτερικό δε των οχημάτων έχει διαρρύθμιση υψηλής χωρητικότητας και ανέσεων για τους επιβάτες.

Ορισμένοι από τους ανωτέρω συρμούς διέθεταν χώρο σκευοφόρου. Οι συρμοί αυτοί, που έμειναν γνωστοί σαν «τραίνα 5ης παραλαβής» είχαν σαν σχεδιαστικό πρότυπο τα συνομήλικά τους οχήματα του μετρό του Δυτ. Βερολίνου. Παράλληλα αρχίζει να εκσυγχρονίζεται και το παλαιό τροχαίο υλικό (ξύλινα οχήματα) για να αποκτήσει συμβατά προς το νέο υλικό τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Το **1954** αρχίζει η εκμετάλλευση του σταθμού Πετραλώνων.

Το **1955** το τραμ του Περάματος φθάνει στη μέγιστη ακμή του μεταφέροντος 8.237.000 επιβάτες. Είναι η εποχή της μεγάλης οικιστικής ανάπτυξής του. Τα δρομολόγια της γραμμής σε ολόκληρη τη δεκαετία του '50 και του '60 έφθασαν στη μέγιστη πυκνότητά τους: κάθε 15 λεπτά κυκλοφορούσαν οι διπλοί συρμοί Πειραιά – Περάματος (με τα διακριτικά στοιχεία Κ, Μ, Ξ, Π) και στα κενά ενδιάμεσα τα μονά οχήματα που εκτελούσαν τα τοπικά δρομολόγια Πειραιά – Αγ. Γεωργίου Κερατσινίου (με τα διακριτικά στοιχεία Λ, Ν). Έτσι στο τμήμα Πειραιά – Κερατσινίου η χρονοαπόσταση των τραμ ήταν 7,5 λεπτά.

Αρχίζει η λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών των ΕΗΣ Πειραιά – Ζαππείου και Πειραιά – Περάματος. Παραλαμβάνονται 24 πράσινα λεωφορεία CHAUSSON από τη Γαλλία.

Αρχίζουν τα έργα ολοκλήρωσης της υποδομής και των σταθμών της προέκτασης του ηλεκτρικού από Αττική μέχρι Κηφισιά. Εγκαθίσταται νέο σύστημα αυτόματης ηλεκτρικής φωτεινής σηματοδότησης στο τμήμα αυτό, από τη SIEMENS.

Το **1956** έγινε πύκνωση δρομολογίων του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου ανά 3,5 λεπτά σε ώρες αιχμής και ανά 10 λεπτά σε ώρες εκτός αιχμής. Το Φεβρουάριο ο ηλεκτρικός φθάνει στα Άνω Πατήσια και τον Μάρτιο στη Νέα Ιωνία. Κατασκευάζεται το αμαξοστάσιο σιδηροδρόμου και λεωφορείων στην πλατεία Ιπποδαμείας. Παραλαμβάνονται 12 ακόμα λεωφορεία CHAUSSON.

Στις 4/3/1957 αρχίζει η εκμετάλλευση του σταθμού Ν. Ηρακλείου, ενώ παράλληλα καταργείται η προαστιακή σιδ. γραμμή Αθήνας – Λαυρίου, παρά κάποιες προτάσεις που διατυπώθηκαν για δημιουργία συνδυασμένης εξυπηρέτησης μέσω Ν. Ηρακλείου προς τα Μεσόγεια, με ανταπόκριση ανάμεσα σε τραίνα των ΕΗΣ και αυτοκινητάμαξες των ΣΠΑΠ.

Στις 10 Αυγούστου αρχίζει η εκμετάλλευση του σταθμού Κηφισιάς και στις 1 Σεπτεμβρίου του σταθμού Αμαρουσίου που φτιάχτηκε στην αερογέφυρα πάνω από την οποία περνάει ο ηλεκτρικός χωρίς να διχοτομεί το ωραίο προάστιο.

Με τα παραπάνω έργα συμπληρώθηκε η επέκταση του ηλεκτρικού προς τα βόρεια προάστια, που απετέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα μεταπολεμικά συγκοινωνιακά έργα στη περιοχή της πρωτεύουσας. Συνέπεια αυτού υπήρξε η μεγάλη πολεοδομική, οικονομική και εκπολιτιστική ανάπτυξη των βορείων προαστίων.

Η γραμμή Αθήνας – Κηφισιάς συνδεδεμένη πλέον με τη γραμμή Αθήνας – Πειραιά σε μια ενιαία γραμμή με πυκνά διήκοντα δρομολόγια Πειραιά – Κηφισιάς, μετατρέπεται από προαστιακή – ακτινική σε αστική – μητροπολιτική που διασχίζει κατακόρυφα ολόκληρο σχεδόν το ενιαίο πολεοδομικό συγκρότημα «μείζονος Πρωτεύουσας». Εκτός από τα διήκοντα δρομολόγια, υπάρχουν και τα τοπικά δρομολόγια Πειραιά – Πατησίων και Πειραιά – Ν. Ιωνίας, για καλύτερη εξυπηρέτηση του πιο βαρυφορτωμένου τμήματος από πλευράς επιβατικής κίνησης, στις ώρες αιχμής. Τα δρομολόγια Πειραιά – Ν. Ιωνίας αργότερα αντικαταστάθηκε με τα Πειραιά – Ν. Ηρακλείου, πολύ αργότερα Πειραιά – Ειρήνης, Ταύρου – Α. Πατησίων και σήμερα πλέον Ταύρου – Ειρήνης τις ώρες αιχμής.

Εκπονείται μελέτη 2 νέων γραμμών μετρό στην Αθήνα από τους Γάλλους ειδικούς.

Το **1958** έγινε παραλαβή 28 νέων (μεταλλικών) οχημάτων του σιδηροδρόμου από την SIEMENS – MAN. Τα υπόλοιπα 4 παραλαμβάνονται ένα χρόνο μετά. Τα οχήματα αυτά συγκροτούν τους 16 δίδυμους συρμούς της παραλαβής, με χαρακτηριστικά παραπλήσια με της 5ης, πλην της μεγαλύτερης ισχύος.

Ολοκληρώνεται το νέο αμαξοστάσιο στην πλατεία Ιπποδαμείας.

Το **1960** καταργείται ο τροχιάδρομος της Παραλίας στον Πειραιά και επεκτείνονται μέχρι τα Λιπάσματα οι λεωφορειακές υπηρεσίες των ΕΗΣ.

Οι ΕΗΣ μελετούν τη δημιουργία διακλάδωσης του ηλεκτρικού κατά μήκος της παλαιάς γραμμής Λαυρίου μέχρι το Γέρακα, καθώς επίσης και την επέκτασή του από την Κηφισιά μέχρι τη Νέα Ερυθραία, μέσω της χάραξης της παλαιάς σιδηροδρομικής γραμμής Κηφισιάς – Στροφυλίου – Διονύσου. Τα σχέδια αυτά ωστόσο δεν υλοποιούνται. Γίνεται η προμήθεια 24 νέων πράσινων λεωφορείων CHAUSSON για να ενισχύσουν τις λεωφορειακές υπηρεσίες των ΕΗΣ (Ομόνοια – Πειραιάς, Ζάππειο – Πειραιάς, Πειραιάς – Πέραμα, Ξαβέρι – Λιπάσματα).

Το **1961-1962** ο ετήσιος αριθμός των μεταφερομένων επιβατών από τους ΕΗΣ ανέρχεται σε 71.216.000. Τοποθετούνται αυτόματοι σύνδεσμοι SCHARFENBERG στα κινητήρια και ιθυντήρια οχήματα των ξύλινων συρμών. Εγκαινιάζεται ο σταθμός Αγίου Ελευθερίου.

Παραγγέλλονται ακόμα 24 νέα λεωφορεία CHAUSSON – SAVIEM.

Το **1963** αναπτύσσεται η μηχανογραφική υπηρεσία στους ΕΗΣ. Αντικαθίσταται το δια πεπιεσμένου αέρα σύστημα ανοίγματος – κλεισίματος

των θυρών των ξύλινων οχημάτων από νέο ηλεκτροπνευματικό σύστημα τηλεχειρισμού, όπως και στα μεταλλικά.

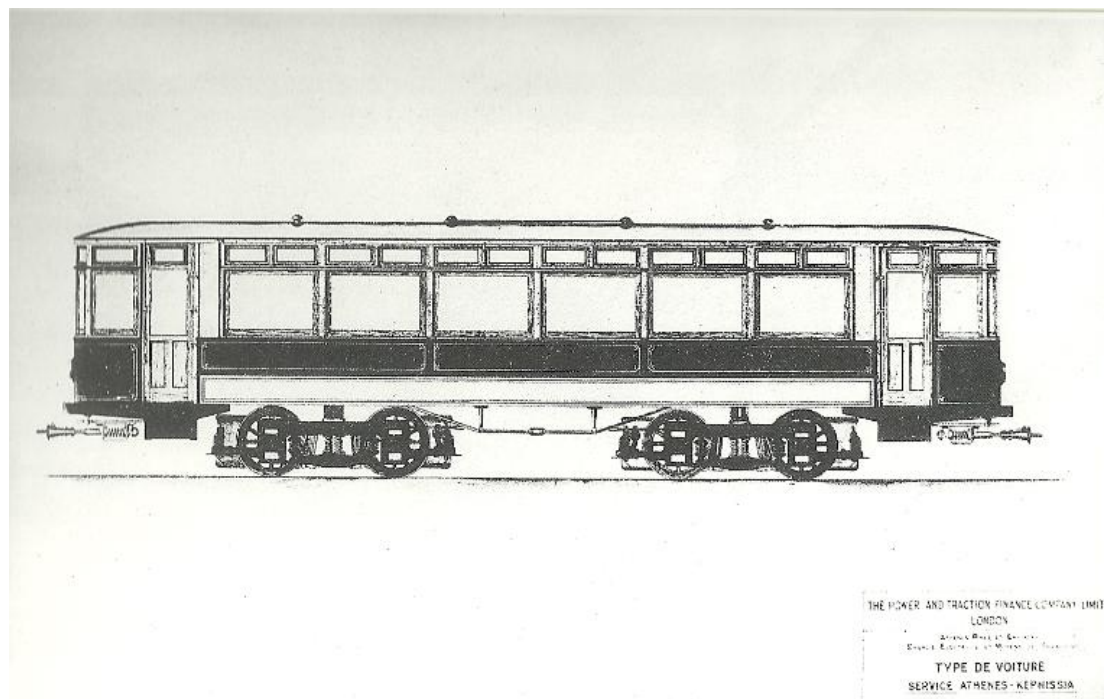
Εκπονείται από τις Τεχνικές Υπηρεσίες των ΕΗΣ νέα μελέτη για δημιουργία 3 νέων γραμμών μετρό στο Κέντρο της Αθήνας (γραμμή Πατησίων – Συγγρού, γραμμή Περιστερίου – Στ. Λαρίσης – Ομόνοιας – Συντάγματος – Βασ. Σοφίας – Αμπελοκήπων/Χαλανδρίου και γραμμή Λεωφ. Αλεξάνδρας).

Το **1964** έγινε τοποθέτηση για πρώτη φορά αυτόματων πωλητών εισιτηρίων κατά το πρότυπο των ξένων μετρό. Τοποθέτηση σε όλα τα οχήματα του σιδηροδρόμου συσκευής βραχυκύκλωσης του ρεύματος έλξης που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα και εξασφαλίζει ακίνδυνη και ταχεία διακοπή του ρεύματος έλξης σε περίπτωση δυστυχήματος. Εκπόνηση κατευθυντηρίου προγράμματος για το δίκτυο Μετρό της Αθήνας, στα πλαίσια της κυκλοφοριακής μελέτης Σμιθ.

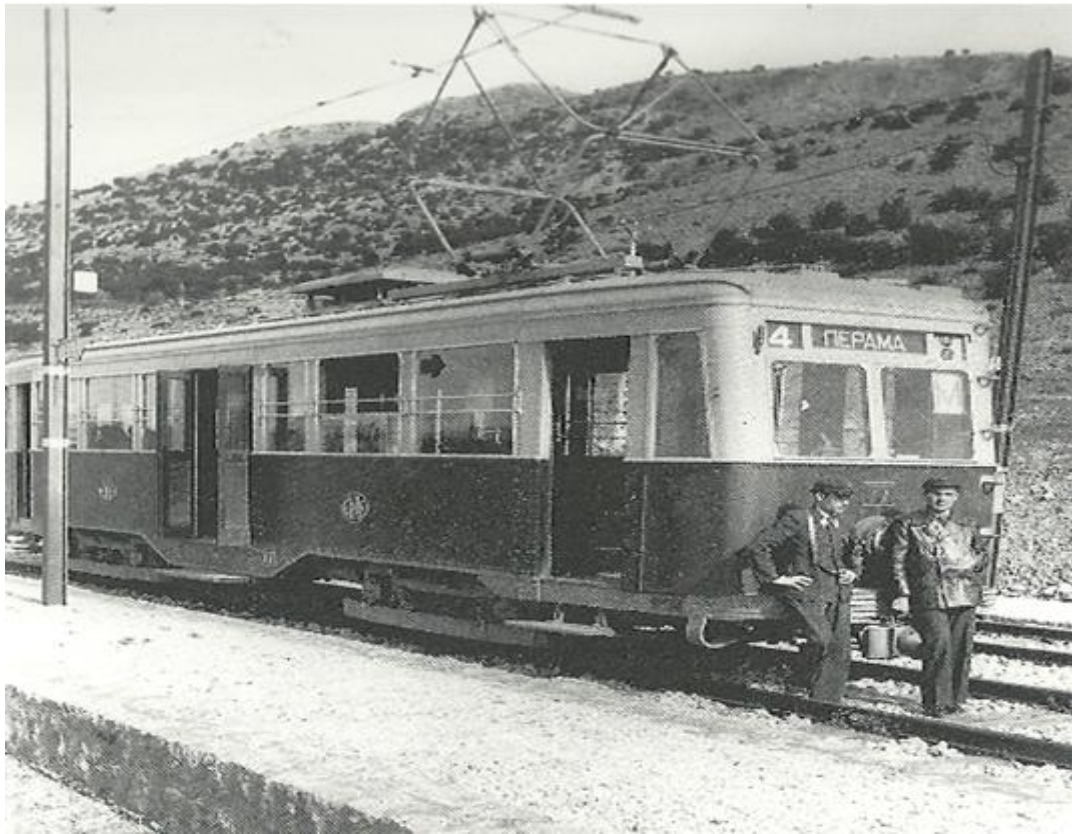
Το **1968** έγινε παραλαβή 9 δίδυμων νέων συρμών από την SIEMENS – MAN (συρμοί 7ης παραλαβής). Η παραλαβή ολοκληρώνεται το 1969. Έναρξη παραλαβής των πρώτων λεωφορείων εκ των 25 παραγγελθέντων στο εργοστάσιο ΒΙΑΜΑΞ τύπου MERCEDES (υπερμείζονος τύπου).

Το **1973** η Κοινοπραξία DELEUWCATHERINTERNATIONAL και WILBURSMITHANDASSOCIATES εκπονεί ολοκληρωμένη μελέτη για τον προσδιορισμό των οδεύσεων του νέου Μετρό στο κέντρο της Αθήνας.

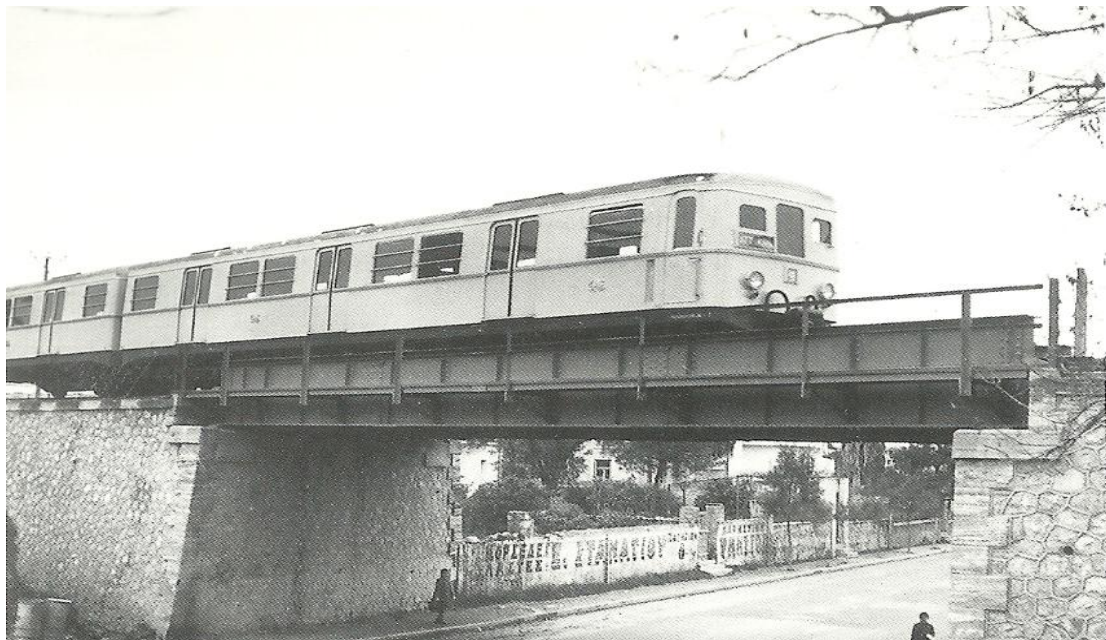
Το **1975** για την κυκλοφοριακή ανακούφιση και βελτίωση των Δημοσίων Συγκοινωνιών της Αθήνας, ανακοινώνεται ότι θα εξετασθεί η δυνατότητα εκσυγχρονισμού και επέκτασης της γραμμής τραμ Πειραιά – Περάματος προς Σκαραμαγκά – Ελευσίνα.



Ο τύπος οχήματος που εκπόνησε η «Πάουερ» στο αρχικό σχέδιο για την ηλεκτροκίνηση του σιδηροδρόμου Αθηνών – Κηφισιάς (1926). Ο τύπος του οχήματος παραπέμπει στα Αμερικάνικα «Interurbans».



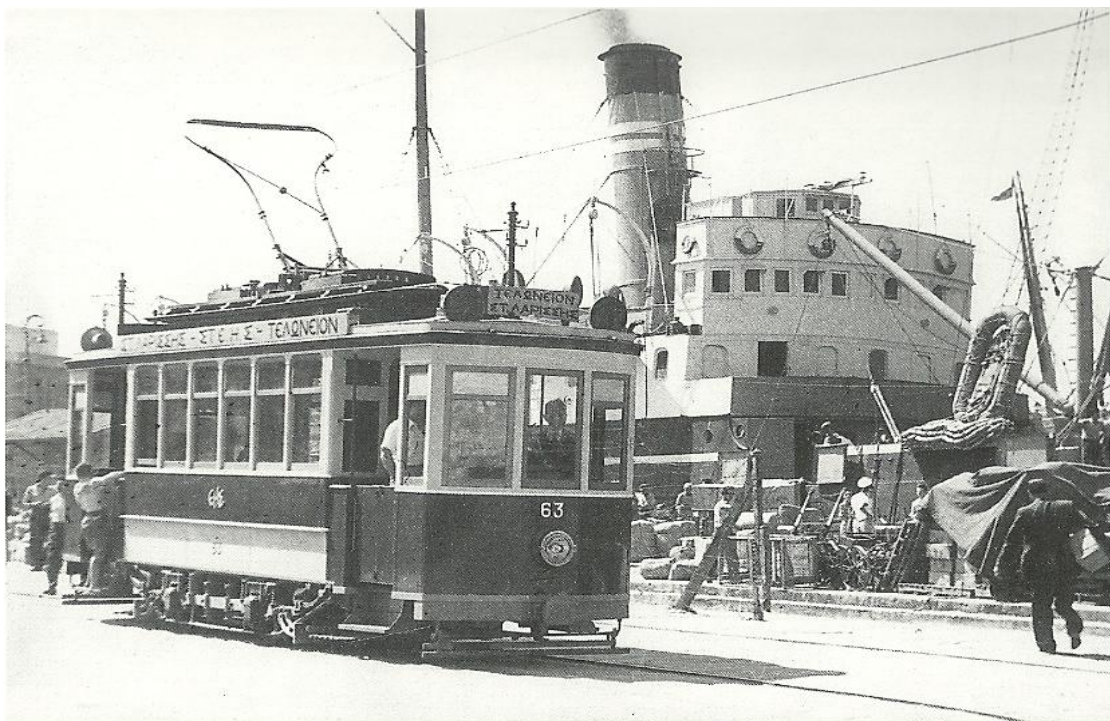
Το τραμ του Περάματος στην στάση Μπλαζάκη, τα πρώτα χρόνια λειτουργίας του.



Μεταλλικός συρμός 5^{ης} παραλαβής, κατασκευής SIEMENS-MAN. Παρελήφθη το 1951 και διέθετε επαναστατικές τεχνικές καινοτομίες για τα δεδομένα της εποχής. Ο σχεδιασμός του είχε αν πρότυπο τους συρμούς στο μετρό του Δυτ. Βερολίνου.



Ο ξύλινος συρμός στον σταθμό Ηρακλείου, λίγο μετά τα εγκαίνιά του, την άνοιξη του 1957.



Το τραμ της Παραλίας στο καθημερινό του δρομολόγιο στο λιμάνι του Πειραιά. Το εικονιζόμενο βαγόνι Νο 63 (Κατασκ. Εργοστασίου ΕΗΣ/SIEMENS) διασώζεται σήμερα στο Σιδηροδρομικό Μουσείο της Αθήνας.

4.6 Οι ΗΣΑΠ και η ένταξή τους το σύστημα Μετρό της Αθήνας: 1976-1999

Το **1976** οι ΕΗΣ κρατικοποιούνται και μετονομάζονται σε «Ηλεκτρικούς Σιδηροδρόμους Αθηνών – Πειραιώς» (ΗΣΑΠ) με τον Ν. 352-ΦΕΚ Α 147/16.6.1976.

Το **1977** στις 23 Μαρτίου και από ώρα 12η νυκτερινή σταματά οριστικά η κυκλοφορία του τροχιοδρόμου (τραμ) Πειραιά – Περάματος. Θα ξαναλειτουργήσει μονάχα στις 4 Απριλίου του ίδιου έτους, λόγω της απεργίας των λεωφορείων. Η γραμμή και οι εγκαταστάσεις παραδίδονται σιγά-σιγά στη φθορά.

Το καλοκαίρι του 1977 ανατίθεται στην Ελληνογαλλική Κοινοπραξία SOFRETU – SGTESOGELERG – ΑΔΚ η σύνταξη κατασκευαστικής προμελέτης για το νέο μετρό της Αθήνας.

Το **1978** οι ΗΣΑΠ εντάσσονται στο Σύστημα Αστικών Συγκοινωνιών της Πρωτεύουσας που εποπτεύει ο νεοϊδρυθείς (1977) Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών (ΟΑΣ, σήμερα ΟΑΣΑ).

Αρχίζει η παραλαβή ακυρωτικών και εκδοτικών μηχανημάτων για τα εισιτήρια.

Το **1981** οι ΗΣΑΠ παραλαμβάνουν 60 νέα λεωφορεία μείζονος τύπου από τον οίκο VOLVO. Παράλληλα συνάπτουν σύμβαση με τη SIEMENS – MAN για την προμήθεια 75 νέων σιδηροδρομικών οχημάτων.

Το **1982** στις 3 Σεπτεμβρίου γίνονται τα εγκαίνια του νέου σταθμού «ΕΙΡΗΝΗ» κοντά στο Ολυμπιακό Στάδιο της Αθήνας για την εξυπηρέτηση των αθλητικών εκδηλώσεων. Την ίδια χρονιά παραλαμβάνονται 24 νέα οχήματα μετρό δανεικά από το δίκτυο του Ανατολικού Βερολίνου (BVB). Ο αριθμός των επιβατών του δικτύου το έτος αυτό ανέρχεται σε 87.267.574.

Οι ΗΣΑΠ συνάπτουν σύμβαση με την LEW (Αν. Γερμανίας) για προμήθεια 50 νέων σιδηροδρομικών οχημάτων.

Το **1983** αρχίζει η παραλαβή των νέων πεντάδυμων συρμών SIEMENS – MAN (8ης παραλαβής) για την αντικατάσταση παλαιότερου τροχαίου υλικού.

Το **1984** αρχίζει η παραλαβή των νέων τετράδυμων συρμών LEW (9ης παραλαβής) ενώ συνεχίζεται και η παραλαβή των SIEMENS – MAN.

Συνάπτεται σύμβαση ανάθεσης στη SIEMENS του εκσυγχρονισμού της σηματοδότησης του δικτύου. Ανατίθεται επίσης στην AMBER η προμήθεια και εγκατάσταση Κέντρου Ελέγχου Κυκλοφορίας των συρμών στην Ομόνοια, που υλοποιείται 2 χρόνια αργότερα.

Το **1985** ολοκληρώνεται η παραλαβή των 125 νέων οχημάτων. Το νέο τροχαίο υλικό της SIEMENS – MAN (δυτικογερμανικής προέλευσης), που πήρε το παρατσούκλι «Κολούμπια» από το προσωπικό των ΗΣΑΠ, προσφέρει μεγάλη χωρητικότητα (964 επιβάτες με παραδοχή 6 ορθίων ανά τετρ. μέτρο), υψηλές ανέσεις, 4 θύρες από κάθε πλευρά για γρήγορη

αποβίβαση – επιβίβαση και εξελιγμένη τεχνολογία (θυρίστορς chopper control επανάκτηση ενέργειας κ.λπ.).

Επιστρέφονται τα 24 δανεικά οχήματα μετρό του Ανατ. Βερολίνου (τα επωνομασθέντα και «καναρίνια» λόγω του χρώματός τους), ενώ αποσύρονται από την κυκλοφορία οι παλαιοί όσο και ιστορικοί ξύλινοι συρμοί (κατασκευής 1904, 1914, 1923). Αργότερα στις αρχές της δεκαετίας του '90 θα ανακατασκευαστεί μια εξάδμη σύνθεση ξύλινου συρμού, που θα χρησιμοποιείται έκτοτε περιστασιακά σε νοσταλγικά δρομολόγια ρετρό.

Παράλληλα με την ένταξη των 125 νέων οχημάτων στην κυκλοφορία, ολοκληρώθηκαν και ορισμένα προαπαιτούμενα έργα αναβάθμισης του δικτύου, όπως η αύξηση της ονομαστικής τάσης της ηλεκτροφόρου σε 750 volt, μαζί με την κατασκευή καινούργιων υποσταθμών, για την υποβοήθηση της κίνησης των νέων συρμών (απόδοση μέγιστης ισχύος).

Το **1986-1988** έγινε εκσυγχρονισμός και αναδιάρθρωση των εγκαταστάσεων τεχνικής υποστήριξης και εναπόθεσης των συρμών στο σταθμό Πειραιά. Συντήρηση, επισκευή και ανακαίνιση 13 σταθμών του δικτύου. Εγκατάσταση νέων υποσταθμών ανόρθωσης για τις ανάγκες της έλξης. Ανακαίνιση και συγκόλληση των σιδηροτροχιών κατά τμήματα. Έναρξη πιλοτικής κατασκευής της σήραγγας μήκους 1 χλμ. μεταξύ Σεπολίων – Αττικής για το νέο Μετρό της Αθήνας.

Το **1989** έγιναν εγκαίνια δύο νέων σταθμών με σύγχρονα αρχιτεκτονικά και λειτουργικά πρότυπα:

- 1) Στις 6 Φεβρουαρίου του σταθμού «ΤΑΥΡΟΣ – ΕΛ. BENIZΕΛΟΣ» που διαθέτει ειδικό πάρκινγκ ΙΧ για μετεπιβίβαση στο τραίνο (PARKANDRIDE) και σύρτη αναστροφής συρμών, ο οποίος επέτρεψε στη συνέχεια την δρομολόγηση στις ώρες αιχμής τοπικών τραινών στη διαδρομή Ταύρος – Α. Πατήσια, που παρουσιάζει την μεγαλύτερη επιβατική κίνηση.
- 2) Στις 27 Μαρτίου του σταθμού «ΚΑΤ» στην περιοχή Α. Πεύκης – Κ. Κηφισιάς πλησίον του ομώνυμου νοσοκομείου. Και οι δύο σταθμοί είναι προσβάσιμοι για άτομα με ειδικές ανάγκες (ΑΜΕΑ).

Εγκατάσταση νέου ακυρωτικού συστήματος εισιτηρίων στους σταθμούς των ΗΣΑΠ.

Το **1991-1993** έγινε αναμόρφωση σταθμού Κηφισιάς (νέο σταθμαρχείο, τροποποίηση γραμμολογίας για αύξηση χωρητικότητας εναπόθεσης συρμών, επέκταση αποβάθρας).

Προσαρμογή σταθμών Καλλιθέας και Μοσχάτου για ΑΜΕΑ (εγκατάσταση ανελκυστήρων).

Ίδρυση (το 1991) της Εταιρίας «ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.» για να διευθύνει και επιβλέπει την κατασκευή των γραμμών 2 και 3 του μετρό της Αθήνας.

Έναρξη (1992) των κυρίως εργασιών κατασκευής των γραμμών 2 (Σεπόλια – Δάφνη) και 3 (Γκάζι – Υπ. Εθν. Άμυνας) του νέου μετρό της Αθήνας, από την Κοινοπραξία ΟΛΥΜΠΙΑΚΟ ΜΕΤΡΟ. Οι 2 νέες γραμμές είχαν μήκος 18 χλμ. και 21 σταθμούς και προβλεπόταν να επεκταθούν σε δεύτερη

φάση προς Περιστερί, Ηλιούπολη, Γλυφάδα (η γραμμή 2) και προς Αιγάλεω, Σταυρό Αγ. Παρασκευή και λεωφόρο Κηφισίας έως την Αττική οδό (η γραμμή 3). Προβλεπόταν επίσης η αναχάραξη της γραμμής 1 (των ΗΣΑΠ) μεταξύ Ν. Φαλήρου – Πειραιά, έτσι ώστε να διέρχεται (με σταθμό) από το εμπορικό κέντρο του Πειραιά. Η διάνοιξη των σηράγγων του νέου μετρό γινόταν τόσο με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής – διάνοιξης (TBM), όσο και με τη Νέα Αυστριακή μέθοδο (NATM). Για την λειτουργία των νέων γραμμών έγινε προμήθεια 28 συρμών των 6 οχημάτων, με χωρητικότητα 1.030 επιβατών ανά συρμό, που ήταν εξοπλισμένοι με σύστημα αυτόματης προστασίας (ATP) και πρόβλεψη αυτόματης λειτουργίας (ATO), με σηματοδότηση καμπίνας. Προβλεπόταν συχνότητα συρμών κατ' αρχήν ανά 3 λεπτά στις ώρες αιχμής με δυνατότητα θεωρητικά να πυκνώσει στα 90 sec. Η ρευματοληψία γινόταν από «τρίτη τροχιά» (750 Volt συνεχές).

Το **1994** παραλαμβάνονται 50 καινούργια οχήματα (10ης παραλαβής) που συγκροτούν 10 πεντάδυμους συρμούς από την Κοινοπραξία Ελληνικών Ναυπηγείων / MAN – AEG / SIEMENS. Τα χαρακτηριστικά των συρμών αυτών είναι αντίστοιχα εκείνων της 8ης παραλαβής («Κολούμπια») με κάποιες βελτιώσεις και κυρίως με εξοπλισμό σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνολογίας.

Το **1995** αποσύρονται από την κυκλοφορία οι μεταλλικοί συρμοί πρώτης γενεάς (5ης παραλαβής). Οι εναπομείναντες μεταλλικοί συρμοί (6ης και 7ης παραλαβής) εξακολουθούν να λειτουργούν αποκλειστικά στα τοπικά δρομολόγια (μέχρι την αντικατάστασή τους από το νέο υπό κατασκευή τροχιαίο υλικό), για λόγους όμως αύξησης της χωρητικότητάς τους, όλοι μετατράπηκαν από συρμούς των 4 οχημάτων σε συρμούς των 5 οχημάτων. Παράλληλα και για τον ίδιο λόγο οι τετράδυμοι συρμοί LEW μετατράπηκαν σε εξάδυμους.

4.7 Προς το 2000

1996-1999-2003

Από το 1996 ξεκίνησε ένα πρόγραμμα εκσυγχρονισμού και αναβάθμισης της γραμμής των ΗΣΑΠ. Στόχος του προγράμματος αυτού, που ολοκληρώθηκε το 2004 ήταν να αυξηθεί η μεταφορική ικανότητα της γραμμής και να καταστεί αυτή τεχνικά συμβατή με τις γραμμές 2 και 3 του υπό κατασκευή μετρό, ώστε να μπορέσει να συλλειτουργήσει αρμονικά με αυτές, από την αρχή του έτους 2000 και παράλληλα να γίνει η κατάλληλη προετοιμασία ώστε μετά από 3 χρόνια να λειτουργήσουν όλες μαζί στα πλαίσια μιας ενιαίας εταιρίας εκμεταλλεύσεως, όπως προβλέπει ο νέος νόμος για τις Αστικές Συγκοινωνίες. Το παρόν πρόγραμμα εκσυγχρονισμού των ΗΣΑΠ λοιπόν, φιλοδοξούσε να εισάγει την υπεραιωνόβια γραμμή του ηλεκτρικού Πειραιά – Κηφισίας στην εποχή της νέας χιλιετηρίδας του 2000, εντάσσοντάς την στο μελλοντικό δίκτυο μετρό της πρωτεύουσας. Τα έργα και οι λοιπές παρεμβάσεις του προγράμματος αυτού που έπρεπε να ολοκληρωθούν μέσα στην προαναφερθείσα προθεσμία είναι τα εξής:

1. Εκσυγχρονισμός σηματοδότησης:

Έργο αλλαγής του συστήματος σηματοδότησης και ασφάλειας κυκλοφορίας των συρμών από το παλιό σύστημα σημειακού ελέγχου με σταθερά τμήματα αποκλεισμού, στο σύστημα αναγνώρισης και συνεχούς ελέγχου συρμών (LZB) με αυτόματη προστασία συρμών (ATP) και σηματοδότηση καμπίνας. Με το έργο αυτό, προϋπολογισμού 5 δισ. δρχ. (η χρηματοδότηση έχει εξασφαλιστεί μέσω 2669/98 για τις Προγραμματικές Συμφωνίες) αυξήθηκε η αξιοπιστία τήρησης της τρίλεπτης χρονοαπόστασης των συρμών, ενώ κατέστη δυνατή και δίλεπτη. Το σύστημα ATP τοποθετήθηκε στα οχήματα 8ης, 10ης και 11ης παραλαβής (τα οχήματα 9ης παραλαβής πωλήθηκαν). Υπήρχε και πρόβλεψη για ATO (Automatic Train Operation) για μελλοντική εφαρμογή όπως και στο μετρό. Το Κέντρο Ελέγχου Κυκλοφορίας των ΗΣΑΠ μεταφέρθηκε και «συγχωνεύθηκε» με εκείνο του «Αττικό Μετρό» στο Σύνταγμα.

2. Παραλαβή Νέων Συρμών:

Παρελήφθησαν 120 νέα οχήματα που κατασκευάστηκαν από την κοινοπραξία Ελληνικά Ναυπηγεία / ADtranz/Siemens (μέσω των Προγραμματικών Συμφωνιών) με συνολικό κόστος 50 δισ. δρχ. Τα οχήματα αυτά, που συγκρότησαν 40 τρίδυμους συρμούς κυκλοφόρησαν στο δίκτυο των ΗΣΑΠ με τη μορφή 20 εξάδυμων συρμοσυνθέσεων. Οι νέοι συρμοί ενσωμάτωναν τεχνολογίες αιχμής, όπως:

α) ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα, γεγονός που μεταφράζεται σε μικρότερο βάρος, χαμηλότερο κόστος συντήρησης, δραστικό περιορισμό ολισθήσεων κ.ά.

β) Ιθυνηριακό ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου πορείας και πέδησης κατάλληλο για τριφασικούς κινητήρες.

γ) Ηλεκτρονικούς μετατροπείς τάσεως 750 Volt -/380 Volt ~, 110 Volt- .

δ) Ηλεκτρικό χειρισμό θυρών.

ε) Ραδιοδίκτυο UHF που επιτρέπει τη λειτουργία των συρμών και στις Γραμμές 2 και 3.

στ) Ψηφιακή διασύνδεση (bus) οχημάτων.

Οι συρμοί αυτοί ήταν εξοπλισμένοι τόσο με σύστημα επαγωγικής σημειακής προστασίας (indusi) για το μεταβατικό διάστημα μέχρι την ολοκλήρωση της εγκατάστασης LZB, όσο και με ATP για μετέπειτα. Η παραλαβή τους άρχισε τον Ιανουάριο του 2000 και ολοκληρώθηκε το 2004.

3. Εκσυγχρονισμός και κατασκευή Νέων Σταθμών:

Κατασκευή του Σταθμού «Νερατζιώτισσα» το 2004.

4. Βελτίωση Αναγνωσιμότητας του Δικτύου:

Βελτίωση της αναγνωσιμότητας των Σταθμών, υπηρεσιών και προσπελάσεων του δικτύου, προκειμένου να καταστεί φιλικότερο προς το επιβατικό κοινό. Εγκαταστάθηκαν πιλοτικά σε 6 σταθμούς νέα σήμανση, πινακίδες δρομολογίων, κατατοπιστικοί χάρτες, αυτόματη ηχητική αναγγελία των σταθμών εντός των οχημάτων.

5. Άλλα βελτιωτικά Έργα:

Εγκαταστάθηκε οπτική ίνα καθ' όλο το μήκος της γραμμής για ασφαλέστερη και ταχύτερη επικοινωνία όλων των λειτουργικών συστημάτων του Σιδηροδρόμου.

6. Βελτίωση – Πύκνωση δρομολογίων:

Από τις 3 Μαΐου 1999 ξεκίνησε το νέο πρόγραμμα δρομολογίων Κ-14 με πύκνωση του πλέγματος κατά μήκος του άξονα Πειραιά – Κηφισιάς. Συγκεκριμένα με βάση το νέο πρόγραμμα κυκλοφορούσαν 20-22 συρμοί μεταξύ Πειραιά – Κηφισιάς και 7 πρόσθετοι συρμοί τις ώρες της μεγάλης αιχμής μεταξύ Ταύρου – Ειρήνης έτσι ώστε οι μέσες χρονοαποστάσεις μεταξύ Πειραιά – Ταύρου να είναι 5 min 15 sec, μεταξύ Ταύρου – Ειρήνης, 3 min 30 sec και μεταξύ Ειρήνης – Κηφισιάς 5 min 15 sec. Με το πρόγραμμα αυτό επήλθε αύξηση των διανυομένων συρμοχιλιομέτρων ανά ημέρα 15% περίπου. Με τη μείωση της χρονοαπόστασης και τη γενίκευση της κυκλοφορίας εξάδωμων συρμών το 2004, η τότε χωρητικότητα, που ανά ώρα αιχμής και κατεύθυνση προσέγγιζε στο πλέον φορτισμένο τμήμα τους 16.000 επιβάτες, αυξήθηκε σε 24.000, έτσι ώστε να μπορεί η Γραμμή 1 (όπως χαρακτηρίζεται ο άξονας των ΗΣΑΠ) να παραλάβει τους πρόσθετους φόρτους που τροφοδοτούσαν οι Γραμμές 2 και 3 του Μετρό της Αθήνας, μέσω των κοινών σταθμών ανταπόκρισης των 3 γραμμών (Αττική, Ομόνοια, Μοναστηράκι).

7. Βελτίωση Υποδομής:

Συνεχίστηκε η αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων αρθρωτών αλλαγών με αντίστοιχες στιβαρότερης κατασκευής UIC 60, η αντικατάσταση της ηλεκτροφόρου με αντίστοιχη πολύ μεγαλύτερας διατομής, η ανακαίνιση και συγκόλληση των σιδηροτροχιών, έτσι ώστε να αυξηθεί η μέση εμπορική ταχύτητα των συρμών.

4.8 Ηλεκτροδότηση και Ραδιοδίκτυο

Γενικά για την **ηλεκτροδότηση** του ΗΣΑΠ:

Χρονική εξέλιξη ΒΟΛΤΑΖ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ:

1. Έως το 1982 μόνο ΔΕΗ: 600 VDC
2. Από το 1982 έως 1990 ΔΕΗ & Υ/Σ ΗΣΑΠ: 650VDC
3. Από 1990 έως 1998 μόνο 12 Υ/Σ ΗΣΑΠ: 700 VDC
4. Από 1998 έως 2004 μόνο 12 Υ/Σ ΗΣΑΠ: 750 VDC
5. Από 2004 μέχρι σήμερα 18 Υ/Σ/ ΗΣΑΠ: 840 VDC

Οι τάσεις είναι πάντα εν κενώ.

Γενικά για το **ραδιοδίκτυο** (ασύρματη επικοινωνία) του ΗΣΑΠ:

1. Από 1985 έως 2004 λειτουργία στα VHF στις συχνότητες 161,325 MHz και 161,375 MHz.
2. Από 2002 έως σήμερα λειτουργία στα UHF στην περιοχή συχνοτήτων 408-409 MHz για λήψη και 418-419 MHz για εκπομπή και από το 2004 παράλληλη λειτουργία συστήματος Tetra.

4.9 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα ΗΣΑΠ και τεχνικά χαρακτηριστικά τους



Ξύλινος συρμός στον επίσταθμο Κηφισιάς, 1991

1. Ξύλινα οχήματα τύπου Α (1-11), Γ (417-427) και F (401-416) ιθυντήρια και ρυμουλκούμενα:

Κατασκευαστής: DESOUCHES DAVID & CIE/BAUME MARPENT (1904/1914).

Ανακατασκευή αμαξωμάτων: Εργοστάσιο ΕΗΣ Πειραιά (1947-1948)

Μήκος ιθυντηρίου: 12.420 χιλιοστά
Μήκος ρυμουλκούμενου: 12.300 χιλιοστά
Πλάτος: 2.700 χιλιοστά
Ύψος από σιδηροτροχιά: 3.660 χιλιοστά
Θύρες ανά πλευρά: 2 ή 3
Χειρισμός θυρών: Ηλεκτροπνευματικά
Διάταξη τροχών: 2' 2'
Αριθμός επιβατών καθήμενων: 36
Αριθμός επιβατών όρθιων: 82
Αριθμός επιβατών (σύνολο): 118
Απόβαθρο ιθυντηρίου: 18.000 χιλιόγραμμα
Έμφορτο ιθυντηρίου: 26.620 χιλιόγραμμα
Απόβαρο ρυμουλκούμενου: 15.400 χιλιόγραμμα
Έμφορτο ρυμουλκούμενου: 23.660 χιλιόγραμμα

2. Ξύλινα οχήματα τύπου B (601-621) κινητήρια:

Κατασκευαστής: BAUME MARPENT/THOMSON HOUSTON (1904/1914)
Ανακατασκευή αμαξωμάτων: Εργοστάσιο ΕΗΣ Πειραιά (1948)
Μήκος οχήματος: 12.730 χιλιοστά
Πλάτος οχήματος: 2.700 χιλιοστά
Ύψος από σιδηροτροχιά: 3.660 χιλιοστά
Θύρες ανά πλευρά: 2
Χειρισμός θυρών: Ηλεκτροπνευματικά
Διάταξη τροχών: ΒοΒο
Αριθμός επιβατών καθήμενων: 36
Αριθμός επιβατών όρθιων: 84
Αριθμός επιβατών σύνολο: 120
Απόβαρο: 32.000 χιλιόγραμμα
Έμφορτο: 40.400 χιλιόγραμμα.

3. Φορεία οχημάτων τύπου Α και Γ: Κατασκευής BRILL, 27Ετου 1903, με λιποκιβώτια BRILL, απόσταση ομφαλών 8000 χιλιοστά.

4. Φορεία οχημάτων τύπου Β: Κατασκευής BRILL, 27Ε 1 ½& 27 ΜCB-2Χτου 1914, με λιποκιβώτια ΑΤΗΕRΜOΣ (1955), απόσταση ομφαλών 8000 χιλιοστά

5. Ηλεκτρικό οχημάτων ΑΒΓ:

2 κινητήρες ανά φορείο ήτοι 4 ανά κινητήριο όχημα (διασκευής 1939-1948)

- Τύπος κινητήρων: Dt 861 κατασκευής SSW-Τάση 550/2
- Ένταση 385Α-Ισχύς: KW 95/60 min–Στροφές: 900/λεπτ.
Ανώτατο όριο στροφών: 2.000/λεπτ. – Σχέση μετάδοσης: 1:4,19
- Βαθμίδες επιτάχυνσης: $0,8\text{m/sec}^2\text{t}=4\text{ sec}$ - $0,6\text{ m/sec}^2\text{t}=6\text{ sec}$ - $0,4\text{ m/sec}^2$.
 $\text{t}=11\text{ sec}$ - $0,3\text{ m/sec}^2\text{t}=17\text{ sec}$ – Επιβράδυνση: $0,7\text{ m/sec}^2$
Σύστημα εκκίνησης: Με πολλαπλές μονάδες αυτόματης επιτάχυνσης.
- Ρευματολήπτης: Πέδιλο ρεύματος επί ηλεκτροφόρου ράβδου.

6. Σύστημα πέδης οχημάτων Α-Β-Γ:

- Με ένα τροχοπέδιλο από συνθετική ύλη ανά τροχό που ρυθμίζονται με αυτόματο ρυθμιστή SAB-DA2-250 (τοποθέτηση αυτ. Ρύθμ. Το 1947)
- Πέδη δι' αέρος τύπου KNORR-TYPEKBRVI(διασκευής 1938)
- Πίεση αέρα στα κύρια αεροφυλάκια: 8 Kg/cm^2
- Πίεση αέρα αγωγού πλήρωσης: 4 Kg/cm^2
- Χειροκίνητη πέδη με κοχλία: Ποσοστό στα Ιθυντήρια 28% κενό, 19% φορτωμένο – Ποσοστό στα Κινητήρια 38% κενό, 30% φορτωμένο
- Σύστημα αυτόματης πέδησης (νεκρού ανθρώπου) τύπου SSW
- Σύστημα αυτόματης πέδησης κατά την υπέρβαση κλειστού σήματος τύπου SSW
- Σύστημα εκτόξευσης άμμου κατά την ταχεία πέδηση κατασκευής τύπου KNORR.



Τετράδυμος συρμός 5^{ης} παραλαβής αναχωρεί από σταθμό Πειραιά, 1985



Συρμός 6^{ης} παραλαβής στον Πειραιά, 1985



Συρμός 7^{ης} παραλαβής στο σταθμό Ειρήνης, 1999

«Μεταλλικά» παλαιού τύπου οχήματα MAN-SIEMENS (5ης, 6ης, 7ης παραλαβής).

Κατηγορία: Δίδυμη ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα μητροπολιτικού σιδηροδρόμου.

Σύστημα ζεύξης: Μόνιμη ανά ζεύγος σύζευξη κινητηρίου και ιθυνηρίου οχήματος με βραχυσύνδεση SCHARFENBERG, ενώ στη μετώπη διαθέτουν αυτόματο σύνδεσμο SCHARFENBERG για σχηματισμό συρμών έως 3 ζεύγη.

Κατασκευαστής: MAN-SIEMENS-SSW(Ο.Δ. Γερμανίας).

Σύνολο οχημάτων: 74 (37 κινητήρια και 37 ιθυνήρια)

Έτος κυκλοφορίας: 5ης παραλαβής 1951-52, 6ης παραλαβής 1958-59, 7ης παραλαβής 1968-69.

Αριθμός ζευγών: 5ης παραλαβής 12, 6ης παραλαβής 16, 7ης παραλαβής 9.

Αρίθμηση κινητηρίων: 5ης παραλαβής 901-912, 6ης παραλαβής 913-928, 7ης παραλαβής 929-937.

Αρίθμηση ιθυνηρίων με σκευοφόρο: 5ης παραλαβής 701-706, 6ης παραλαβής 707-714, 7ης παραλαβής 715-718.

Αρίθμηση απλών ιθυνηρίων 5ης παραλαβής 801-806, 6ης παραλαβής 807-814, 7ης παραλαβής 815-819.

Ολικό μήκος ζεύγους: 35,250 μ. Μήκος οχήματος: 17,000 μ. Πλάτος: 2,820 μ.

Αριθμός πλευρικών θυρών επιβατών: 3 με ηλεκτροπνευματικό σύστημα αυτομάτου ανοίγματος / κλεισίματος.

Αριθμός θέσεων: Ζεύγους με σκευοφόρο: 112 καθήμενων και 236 όρθιων επιβατών.

Ζεύγους χωρίς σκευοφόρο: 108 καθήμενων και 247 όρθιων επιβατών.

Διάταξη αξόνων: Βο' Βο' + 2' 2'.

Απόβαρο κινητηρίου: 5ης παραλαβής 37.900 χιλιόγραμμα, 6ης και 7ης παραλαβής 37.200 χιλιόγραμμα.

Απόβαρο ιθυτηρίου: 5ης παραλαβής 29.900 χιλιόγραμμα, 6ης και 7ης παραλαβής 25.800 χιλιόγραμμα.

Μέγιστη ταχύτητα: 80 χλμ./ώρα.

Σύστημα ρευματοληψίας: Με πέδιλο από τρίτη τροχιά.

Διάταξη ηλεκτροκινητήρων / τύπος: 2 ανά φορείο ημιαναρτημένου τύπου.

Ισχύς ηλεκτροκινητήρων: 5ης 95 KW/60 λεπτά, 6ης και 7ης 120 KW/60 λεπτά.

Στροφές ηλεκτροκινητήρων: 900 ανά λεπτό.

Σύστημα εκκίνησης: Κατασκευής SSW 110 VOLT πολλαπλών μονάδων αυτόματης επιτάχυνσης.

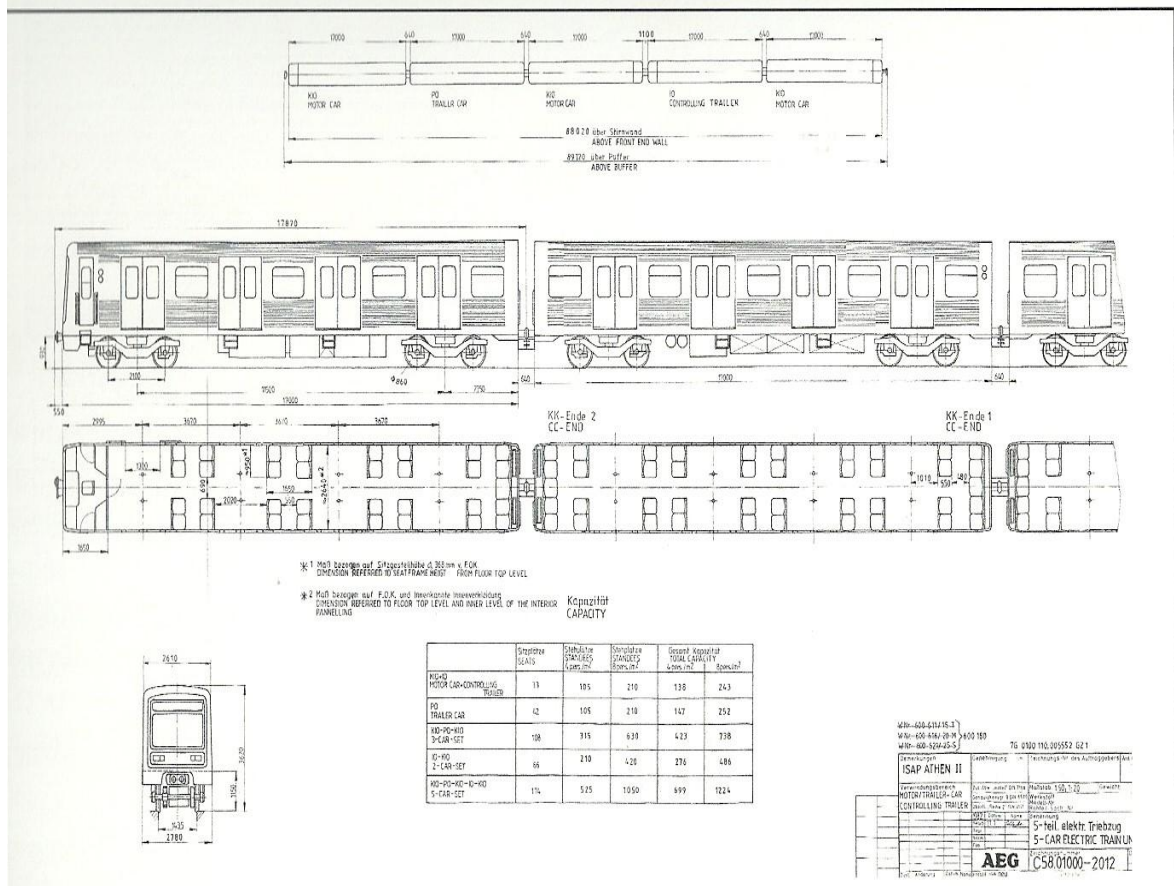
Επιτάχυνση: $0,8 \text{ m/sec}^2$ Επιβράδυνση: $0,7 \text{ m/sec}^2$ Πέδη αέρος: KNORRKRBI

Σύστημα πέδης: 2 τροχοπέδιλα από συνθετικό υλικό ανά τροχό ρυθμιζόμενα από αυτόματο ρυθμιστή.

Σύστημα ηλεκτροπέδης: Κατασκευής SSW σε συνδυασμό με πεπιεσμένο αέρα για το ιθυτήριο όχημα. Διαθέτει επίσης συστήματα αυτόματης πέδης νεκρού ανθρώπου και παραβίασης κλειστού σήματος τύπου SSW.



Συρμός 8^{ης} παραλαβής «Κολούμπια» στο σταθμό Πειραιά, 1988



Σχέδιο οχημάτων 8ης παραλαβής

Νέα οχήματα MAN-SIEMENS (8ης παραλαβής)

Κατηγορία: Πενταπλή ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα, μητροπολιτικού σιδηροδρόμου, αποτελούμενη από μια τρίδυμη (κινητήριο – ρυμολκούμενο – κινητήριο) και μια δίδυμη (κινητήριο – ιθυντήριο) αυτοκινητάμαξα συνεζευγμένες μεταξύ τους.

Κατασκευαστής: MAN-SSW-SIEMENS(Δυτική Γερμανία).

Σύνολο οχημάτων: 75 (45 κινητήρια, 15 ιθυντήρια, 15 ρυμολκούμενα).

Έτος κυκλοφορίας: 1984-1985

Αρίθμηση κινητηρίων: 101-145

Αρίθμηση ιθυντηρίων: 301-315

Αρίθμηση ρυμολκούμενων: 201-215

Διάταξη τροχών: Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' (πενταπλός συρμός)

Ολικό μήκος πενταπλού συρμού: 89.120 χιλιοστά

Ολικό μήκος τριπλού συρμού: 53.380 χιλιοστά

Ολικό μήκος οχήματος (αμαξώματος): 17.000 χιλιοστά

Ολικό πλάτος οχήματος: 2.780 χιλιοστά
Απόβαρο κινητηρίου: 30.800 χιλιόγραμμα
Απόβαρο ιθυνηρίου: 25.860 χιλιόγραμμα
Θέσεις καθημένων και ορθίων: Με 4/8 επιβάτες ανά τ.μ.
Κινητήριο και ιθυνήριο: 33 + 105 / 33 + 210
Ρυμουλκούμενο: 42 + 105/42 + 210
Πενταπλός συρμός: 699/1.224
Ισχύς ηλεκτροκινητήρα: 140 KW Μέγιστη ταχύτητα: 80 χλμ./ώρα
Αριθμός πλευρικών θυρών: 4 ανά όχημα
Σύστημα επιτάχυνσης – επιβράδυνσης: Με ηλεκτρικό έλεγχο (τσόπερ)
Λοιπός εξοπλισμός: Συσκευές ελέγχου ολίσθησης των συρμών, αντιθερμικά κρύσταλλα, πρωτεύουσα ανάρτηση μεταλλοελαστική και δευτερεύουσα με αέρα, σύστημα ενδοεπικοινωνίας οδηγού και επιβατών.



Συρμός 9^{ης} παραλαβής «Σογιούζ» εισέρχεται στον σταθμό Ν. Ιωνίας, 1984



Συρμός 10^{ης} παραλαβής σε δοκιμαστική διαδρομή στο Θησείο, 1994

Νέα οχήματα LEW-GIII:

Κατηγορία: Τετραπλή (συνήθως) ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα μητροπολιτικού σιδηροδρόμου, αποτελούμενη από δύο ημισυρμούς (ζεύγη). Η μικρότερη αυτόνομη λειτουργική μονάδα είναι ο ημισυρμός (ζεύγος), που αποτελείται από το κινητήριο όχημα Α με τα διαμερίσματα ηλεκτροδηγού και επιβατών, και το κινητήριο όχημα Β με διαμέρισμα αποκλειστικά επιβατών (χωρίς καμπίνα οδήγησης). Ο ημισυρμός μπορεί να κινηθεί αυτόνομα μόνο προς μια κατεύθυνση. Η μικρότερη σύνθεση συρμού αποτελείται από δύο ημισυρμούς (A+B+B+A) και η μεγαλύτερη δυνατή από τρεις (A+B+B+A+B+A και A+B+A+B+B+A)

Κατασκευαστής: LEW (Ανατ. Γερμανία). Τύπος οχήματος GIII

Σύνολο οχημάτων: 50 (όλα κινητήρια)

Έτος κυκλοφορίας: 1985

Αρίθμηση: A+B: (1101 + 2201) – (1125 + 2225)

Διάταξη τροχών ημισυρμού: 4 X B' B'

Μήκος ημισυρμού: 29.300 χιλιοστά

Πλάτος αμαξώματος: 2.800 χιλιοστά

Μήκος οχήματος: 14.650 χιλιοστά

Απόβαρο ημισυρμού: 43,6 τόνοι + 3%

Αριθμός θέσεων: Καθήμενοι ημισυρμού: 63

Ορθιοι ημισυρμού: 307 (6 άτομα ανά τ.μ.)

Σύνολο ημισυρμού: 370

Αριθμός πλευρικών θυρών: 3 ανά όχημα και ανά πλευρά.

Ηλεκτρικές διατάξεις: Η αναστροφή του μηχανισμού της κατεύθυνσης πορείας καθώς και του μηχανισμού εξέλιξης πορείας – πέδης, επιτυγχάνεται με ηλεκτροπνευματικές διατάξεις τηλεχειριζόμενων αναστροφών.

Μέγιστη ταχύτητα: 70 χλμ./ώρα. Μέγιστη επιτάχυνση: 0,8 μ. ανά sec².
Μέγιστη επιβράδυνση: 0,9 μ. ανά sec².

Καταναλώμενη ισχύς ημισυρμού στα 550 V.: 350 KW

Λοιπός εξοπλισμός: Αυτόματη ζεύξη τύπου SCHARFENBERG, συσκευές αντιολισθητικού ελέγχου, σύστημα ενδοεπικοινωνίας οδηγού και επιβατών, κ.λπ.



Συρμός 11^{ης} παραλαβής στην περιοχή Νερατζιώτισσας, 2005

Οχήματα ADTRANZ-SIEMENS-ΕΛΛ. ΝΑΥΠΗΓΕΙΩΝ (11ης παραλαβής):

Παραλαβή Οχημάτων: 2000 – 2004

Αριθμός Συρμών: 20

Σύνθεση Συρμού: 6 οχήματα

Θύρες Επιβατών: 4 ανά πλευρά οχήματος

Χωρητικότητα Συρμών: 216 καθίσματα επιβατών, 786 όρθιοι επιβάτες (5 άτομα/m²), 1.002 σύνολο επιβατών

Ανέσεις Επιβατών: Πλήρης εξαερισμός οχημάτων μέσω ανεμιστήρων 2 ταχυτήτων, φυσικός εξαερισμός μέσω παραθύρων, Αυτόματη ένδειξη προορισμού δρομολογίου, Αυτόματη αναγγελία σταθμών.

Σύνθεση Συρμού: 2 ημισυρμοί 3 οχημάτων αυτόματα συνεζευγμένοι,

4 κινητήρια – ιθυντήρια οχ. + δύο ρυμολκούμενα, Πειραιάς
ΚΙΟ+ΡΟ+ΚΙΟ+ΚΙΟ+ΡΟ+ΚΙΟ Κηφισιά

Μήκος Συρμού: 106,7 μ.

Πλάτος Οχήματος: 2,78 μ.

Ύψος Οχήματος: 3,62 μ.

Βάρος Συρμού: 178 τόνοι άφορτος – 242 τόνοι φορτωμένος (5 άτομα/m²)

Πλάτος Γραμμής: 1.435mm

Τάση Λειτουργίας: 750 voltsd.c.

Κινητήρες Έλξεως: AC, 4 των 140 KWανά κινητήριο όχημα

Σύστημα Ελέγχου Κινητηρίου: DC/ACInverter–IGBT–SIBAS 32

Σύστημα Πέδης: Ηλεκτροπέδη με επανάκτηση ενέργειας και πλήρη αεροπέδη κυλίνδρων με ελατήρια

Σύστημα Προστασίας Συρμού: Επαγωγική φραγή (Indusi) και ATP/LZB

Μέση Μέγιστη Επιτάχυνση: 1 m/sec²

Μέση Μέγιστη Επιβράδυνση: 1,1 m/sec² (λειτουργική) 1,2 m/sec² (ανάγκης)

Μέγιστη δυνατή ταχύτητα: 80 km/h, επιτρεπόμενη 70 km/h

Υλικό Αμαξώματος: Χάλυβας επενδεδυμένος με ανοξείδωτη λαμαρίνα

Ραδιοδίκτυο:

Εγκατάσταση ραδιοδικτύου UHF σε αντικατάσταση του VHF στους συρμούς των ΗΣΑΠ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

5.1 Γενικές πληροφορίες

Σε ό,τι αφορά το Μετρό της Αθήνας, το διάστημα 2000 - 2013, προστέθηκαν 22 σταθμοί μετρό στο δίκτυο. Οι πιο πρόσφατες επεκτάσεις του δικτύου ξεκίνησαν τη λειτουργία τους το 2013 σε διάστημα οκτώ μηνών, κατά το οποίο παραδόθηκαν δύο επεκτάσεις της Γραμμής 2 με 6 συνολικά σταθμούς, και μία δυτική επέκταση της Γραμμής 3 με έναν σταθμό. Η επόμενη επέκταση του δικτύου είναι αυτή της Γραμμής 3 προς τον Πειραιά, που περιλαμβάνει τη δημιουργία έξι νέων σταθμών. Σημειώνεται ότι η Γραμμή 2 συνδέει Ανθούπολη-Ελληνικό, ενώ η Γραμμή 3 Αγία Μαρίνα-Αεροδρόμιο. Η Γραμμή 1 έχει μήκος 25,7 χιλιόμετρα. Οι Γραμμές 2 και 3 έχουν μήκος 39 χιλιόμετρα(+20,7 χιλιόμετρα κοινής χρήσης με τον προαστιακό σιδηρόδρομο). Συνολικό μήκος δηλαδή 85,4 χιλιόμετρα. Έχει 61 σταθμούς (και 6 υπό κατασκευή).

Σε καθημερινή βάση, με το μετρό μετακινούνται κατά μέσο όρο 614.000 επιβάτες στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας. Σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, το μετρό Αθήνας βρίσκεται στην 17η θέση και σε βαλκανικό επίπεδο στην 2η θέση μετά την Κωνσταντινούπολη.

Η Γραμμή 1 λειτουργεί από το 1869 και είναι στο μεγαλύτερο μέρος της επίγεια - μόνο ένα τμήμα της στο κέντρο της πόλης είναι υπόγειο. Οι πιο σύγχρονες Γραμμές 2 και 3 λειτουργούν από το 2000 και είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου υπόγειες, καθώς επίγειο είναι μόνο το τμήμα της Γραμμής 3 στην κεντρική νησίδα της Αττικής Οδού, το οποίο είναι κοινό με μία γραμμή του Προαστιακού Σιδηροδρόμου.

5.2 Σχέδια για το δίκτυο τις δεκαετίες 1950 – 1980

Η παλαιότερη γνωστή μελέτη για δημιουργία ενός δικτύου μετρό στην Αθήνα παρουσιάστηκε το 1925 και προέβλεπε την κατασκευή 5 συνολικά γραμμών, περιλαμβανομένης της τότε υπάρχουσας Αθήνας-Πειραιά η οποία θα αποτελούσε τη γραμμή 1 του δικτύου.

Ο σχεδιασμός για τη δημιουργία του δικτύου όμως ξεκίνησε πραγματικά τη δεκαετία του 1950. Ήδη το 1950 είχε εκπονηθεί μελέτη από τους ΕΗΣ και το 1953 παρουσιάστηκε μελέτη συμπληρώσεως δικτύου υπογείου ηλεκτρικού σιδηροδρόμου. Μελέτη επίσης έγινε από Γάλλους μηχανικούς το 1957 και πρότεινε τη δημιουργία 2 νέων γραμμών. Οι προτάσεις δεν υλοποιήθηκαν, λόγω έλλειψης των απαιτούμενων κονδυλίων, μειωμένων δυνατοτήτων αστικού σχεδιασμού και τεχνικών προβλημάτων που δημιουργούσε η ύπαρξη αρχαιοτήτων στο υπέδαφος.

Οι προσπάθειες για την επέκταση του μετρό έγιναν πιο εντατικές τη δεκαετία του 1960. Το 1963 δημοσιεύθηκε από μηχανικό πρόταση για την κατασκευή ολοκληρωμένου συστήματος Μητροπολιτικού σιδηρόδρομου Αθηνών που

προέβλεπε, πέραν της επέκτασης της Γραμμής 1, την ανάπτυξη 13 νέων γραμμών μετρό στην Αττική έως το 2000 με τη μέθοδο της Σύμβασης Παραχώρησης. Η Ελλάδα παρήγγειλε στον Αμερικανό μελετητή Γουίλμπουρ Σμιθ το 1963 μια μελέτη για τον ολοκληρωμένο συγκοινωνιακό σχεδιασμό της πρωτεύουσας. Για τα μέσα σταθερής τροχιάς, η μελέτη του Σμιθ, η οποία παρουσιάστηκε το 1965, προέβλεπε δύο νέες γραμμές. Η πρώτη, ξεκινούσε από την πλατεία Αττικής και μέσω του κέντρου διακλαδωνόταν, με έναν κλάδο προς τη Δάφνη και έναν δεύτερο προς το Φάληρο διαμέσω της Συγγρού. Η δεύτερη γραμμή ξεκινούσε από τον Πειραιά και από το κέντρο διακλαδωνόταν στα δυτικά προς το Περιστέρι και στα βόρεια προς τη Μεσογείων μέχρι τον Ερυθρό Σταυρό. Προέβλεπε επίσης ένα τμήμα κατά μήκος της Πατησίων από Βικτώρια μέχρι Άνω Πατήσια. Η πρώτη αυτή μελέτη Σμιθ δεν οδήγησε σε κάποια υλοποίηση.

Το 1971 παραγγέλθηκε μια δεύτερη μελέτη στον Σμιθ, η οποία δημοσιεύτηκε σε δύο τόμους, το 1973 και το 1974. Περιελάμβανε παρόμοιες προτάσεις με την πρώτη για το δίκτυο του μετρό. Ανάμεσα τους ήταν η εγκατάλειψη του τμήματος Βικτώρια-Αττική και η επέκταση της γραμμής στον άξονα της Πατησίων από την Βικτώρια προς την Κυψέλη, η δημιουργία μιας νέας γραμμής για τη σύνδεση της Αγίας Παρασκευής με το Αιγάλεω δυτικά και τη Νίκαια και τον Πειραιά, η επέκταση της γραμμής Κηφισιά-Αττική προς το κέντρο και στη συνέχεια προς τον Άλιμο, η δημιουργία μιας γραμμής από το Ελληνικό προς το Περιστέρι μέσω του κέντρου και ακόμα μια νέα γραμμή από το Περιστέρι προς του Ζωγράφου και την Πανεπιστημιούπολη.

Το 1977 ύστερα από διεθνή διαγωνισμό, η Ελλάδα έχοντας υιοθετήσει τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης Σμιθ παρήγγειλε μια προκαταρκτική μελέτη για τον σχεδιασμό ενός δικτύου μετρό από τη γαλλοελληνική κοινοπραξία SOFRETU-SGTE-SOGELERG-ADK. Η μελέτη αυτή αποτέλεσε και τη βάση για τη δημιουργία του δικτύου τη δεκαετία του 2000. Η μελέτη πρότεινε τη δημιουργία δύο νέων γραμμών. Η πρώτη εκτεινόταν από τον Γέρακα μέχρι το Αιγάλεω μέσω του κέντρου και η δεύτερη, διερχόμενη και αυτή από το κέντρο ένωνε τα Σεπόλια με τη Δάφνη. Έτσι, το 1978 ανετέθη η διαχείριση του έργου στον νεοσυσταθέντα τότε Οργανισμό Αστικών Συγκοινωνιών, χωρίς όμως να διατεθούν και τα ανάλογα κονδύλια. Το 1980 η ευθύνη διαχείρισης του έργου του μετρό μεταφέρθηκε στον ΗΣΑΠ, εντός του οποίου συστάθηκε σχετική διεύθυνση.

Το 1981 όμως, τα σχέδια για το Μετρό «πάγωσαν», ενώ το νέο σχέδιο που παρουσιάστηκε το 1983 δεν προέβλεπε συγκεκριμένα την ύπαρξη ενός δικτύου μετρό ή κάποια μέτρα ή κονδύλια για την υλοποίησή του.

Τα σχέδια για το Μετρό επανήλθαν το 1985, όπου και εντάχθηκε στο νέο Ρυθμιστικό Σχέδιο της Αθήνας που παρουσιάστηκε την ίδια χρονιά. Το σχέδιο περιελάμβανε τις γραμμές που είχε προτείνει η SOFRETU, την γραμμή Α Πειραιάς-Αιγάλεω-Γέρακας και τη γραμμή Β Περιστέρι-Γλυφάδα. Ο ΗΣΑΠ παρέδωσε μελέτες που συμφωνούσαν με αυτές τις γραμμές, οι οποίες μετονομάστηκαν σε 2 και 3, με την υπάρχουσα γραμμή να μετονομάζεται σε 1.

5.3 Δημιουργία δικτύου μετρό 1990-2004

Τον Ιανουάριο του 1991 ξεκίνησε η διαγωνιστική διαδικασία για την ανάδειξη του αναδόχου για την κατασκευή των νέων τμημάτων του μετρό και είχε ως αντικείμενο τη δημιουργία δύο γραμμών, με συνολικό μήκος άνω των 20 χιλιομέτρων και 21 σταθμούς. Οι δύο αυτές γραμμές ήταν οι εξής:

Γραμμή 2: Σεπτόλια - Δάφνη, με 12 σταθμούς

Γραμμή 3: Κεραμεικός - Εθνική Άμυνα, με 9 σταθμούς

Η διεύθυνση του έργου μεταφέρθηκε στη νεοσύστατη δημοσίου συμφέροντος ανώνυμη εταιρεία Αττικό Μετρό. Ως ανάδοχος αναδείχθηκε τον Ιούνιο του 1991 η κοινοπραξία Ολυμπιακό Μετρό. Το αρχικό έργο του μετρό της Αθήνας άρχισε να υλοποιείται τον Νοέμβριο του 1992. Το βασικό έργο τελικά δεν παραδόθηκε ενιαία, αλλά τμηματικά. Ήδη από το 1998, είχε ανακοινωθεί ότι τα εγκαίνια θα γίνονταν στα τέλη Δεκεμβρίου 1999, έτσι ώστε να συμπέσουν με τους εορτασμούς της εισόδου της νέας χιλιετίας. Τον Νοέμβριο του 1999, ωστόσο, ένα ξαφνικό και απρόβλεπτο τεχνικό ζήτημα στο σύστημα ηλεκτροδότησης, εξανάγκασε την Αττικό Μετρό να μεταθέσει τα εγκαίνια για 1 μήνα μετά.

Τελικώς, στις 29 Ιανουαρίου του 2000 λειτούργησαν τα δύο πρώτα τμήματα των νέων γραμμών: το τμήμα Σεπτόλια - Σύνταγμα της Γραμμής 2 με επτά σταθμούς και το τμήμα Σύνταγμα - Εθνική Άμυνα της Γραμμής 3, επίσης με επτά σταθμούς. Ο κόσμος που επισκέφτηκε το μετρό την πρώτη μέρα λειτουργίας του έφθασε το 1.000.000. Η υποδοχή του κοινού ήταν ενθουσιώδης και εντύπωση προκάλεσε η καθαριότητα και η αισθητική των σταθμών, καθώς και η ταχύτητα του μέσου. Η κοσμοσυρροή ήταν τέτοια που ανάγκασε τους υπεύθυνους της Αττικό Μετρό να ανοιγοκλείνουν τις εισόδους των σταθμών για να αποτραπούν ατυχήματα. Τη λειτουργία και εκμετάλλευση των 2 νέων γραμμών ανέλαβε η Αττικό Μετρό Εταιρεία Λειτουργίας (ΑΜΕΛ), θυγατρική της Αττικό Μετρό.

Επιπλέον 5 χιλιόμετρα με 5 σταθμούς στο τμήμα Σύνταγμα - Δάφνη της Γραμμής 2, τέθηκαν σε λειτουργία το Νοέμβριο του ίδιου έτους. Το τμήμα του βασικού έργου Σύνταγμα - Μοναστηράκι της Γραμμής 3, με 1,4 χλμ. σήραγγας και ένα σταθμό, παραδόθηκε τελικά σε λειτουργία τον Απρίλιο του 2003. Τον Ιούλιο του 2004 παραδόθηκε η επέκταση προς το Αεροδρόμιο εγκαίρως για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των Ολυμπιακών Αγώνων.

Η Αττικό Μετρό Α.Ε. διαθέτει στην ΑΜΕΛ για την καθημερινή της λειτουργία 49 εξαπλούς συρμούς, εκ των οποίων 28 πρώτης παραλαβής, κατασκευής Alstom/Siemens/ADTranz (κυκλοφόρησαν το 2000) και 21 δεύτερης παραλαβής, κατασκευής Hanwa/Rotem/Mitsubishi (κυκλοφόρησαν το 2004). Από τους τελευταίους, οι 7 είναι συρμοί υβριδικοί – διπλής τάσης (διρρευματικοί), που εκτός από πέδιλο ρευματοληψίας από «τρίτη τροχιά» διαθέτουν και παντογράφο για ρευματοληψία από εναέρια γραμμή επαφής στο δίκτυο του ΟΣΕ (γραμμή Αεροδρομίου).

Η ΑΜΕΛ διαθέτει για τις υπηρεσιακές της ανάγκες στολίσκο υπηρεσιακών σιδηροδρομικών οχημάτων, αποτελούμενο από ένα Unimog, οχήματα – πλατφόρμες, γερανοφόρο όχημα, ένα «πλυστικό συρμό» και 4

υβριδικές «μηχανάμαξες» (δηζελάμαξες που λειτουργούν και ως ηλεκτράμαξες με ηλεκτροδότηση από «τρίτη τροχιά») κατασκευής Gmeinder/Caterpillar/Siemens.

5.4 Εξελίξεις μετά το 2004

Τον Μάιο του 2007, ολοκληρώθηκε η επέκταση της γραμμής 3 μέχρι το Αιγάλεω, που περιελάμβανε τους σταθμούς Κεραμεικός και Βοτανικός.

Στις 13 Απριλίου 2009, παρουσιάστηκε πλάνο μελλοντικών επεκτάσεων του Μετρό με 8 συνολικά γραμμές σε βάθος 25ετίας, το οποίο τότε δεν υιοθετήθηκε από το Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθηνών. Εκτός από το ζήτημα της εξεύρεσης των απαιτούμενων κονδυλίων, θεωρήθηκε επίσης ότι ήταν χωροταξικά ανέφικτο, καθώς αρκετές από τις γραμμές θα «συμπιέζονταν» στο κέντρο της Αθήνας, τόσο παράλληλα όσο και κομβικά μεταξύ τους (ιδίως στο σταθμό Μοναστηράκι, από όπου θα περνούσαν 4 γραμμές) και δεν θα μπορούσαν να «χωρέσουν» μέσα σε τόσο μικρή έκταση. Η Γραμμή 4 είναι η μοναδική μελλοντική γραμμή Μετρό που περιλαμβάνεται στο ισχύον Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας, χωρίς βέβαια να αποκλείεται ο μελλοντικός σχεδιασμός και άλλων γραμμών εκτός κέντρου, αλλά δεν φαίνεται εφικτό ότι το κέντρο της Αθήνας θα μπορούσε ποτέ στο μέλλον να «σηκώσει» και άλλες γραμμές.

Η επόμενη επέκταση της γραμμής 3 ήταν η κατασκευή των σταθμών Νομισματοκοπείο, Χολαργός και Αγία Παρασκευή σε υπάρχον τμήμα της γραμμής προς το αεροδρόμιο, όπως προβλεπόταν. Όμως, ενώ οι δύο πρώτοι σταθμοί είχαν έτοιμο κέλυφος, ο σταθμός Αγία Παρασκευή δεν είχε, και έτσι από τον Φεβρουάριο του 2009 και για 6 μήνες, οι συρμοί της γραμμής 3 τερμάτιζαν στην Εθνική Άμυνα προκειμένου να εκτελεστούν οι απαραίτητες εργασίες. Η επαναλειτουργία του τμήματος Εθνική Άμυνα - Αεροδρόμιο, έγινε στις αρχές Σεπτεμβρίου 2009, οπότε δόθηκε στο επιβατικό κοινό και ο σταθμός Νομισματοκοπείο.

Το 2011, στα πλαίσια της αναδιοργάνωσης των αστικών συγκοινωνιών της Αθήνας, οι ΗΣΑΠ συγχωνεύτηκαν με την Τραμ και την Αττικό Μετρό Εταιρεία Λειτουργίας, σε μια νέα εταιρεία που ονομάστηκε Σταθερές Συγκοινωνίες (ΣΤΑΣΥ) και ανήκει στον ΟΑΣΑ. Η εταιρεία από τότε έχει την ευθύνη της λειτουργίας του μετρό και του τραμ της Αθήνας. Τον Μάρτιο του 2012 υπογράφηκε η σύμβαση για την επέκταση της γραμμής 3 προς Πειραιά κατά 7,6 χλμ με 6 νέους σταθμούς.

Το 2013 παραδόθηκαν στο επιβατικό κοινό μια σειρά επεκτάσεων. Αρχικά τον Απρίλιο του 2013 λειτούργησε η επέκταση της γραμμής 2 από τον Άγιο Αντώνιο στην Ανθούπολη που περιελάμβανε και τον σταθμό Περιστέρι. Τον Ιούλιο του 2013 εγκαινιάστηκε η επέκταση της γραμμής 2 από τον Άγιο Δημήτριο στο Ελληνικό κάτω από τη λεωφόρο Βουλιαγμένης. Τέλος, τον Δεκέμβριο του 2013 δόθηκε σε λειτουργία ο σταθμός Αγία Μαρίνα της γραμμής 3.

Τον Σεπτέμβριο του 2014 παρουσιάστηκε επίσημα η τελική χάραξη της Γραμμής 4 του δικτύου. Το πρώτο τμήμα Άλσος Βεΐκου-Γουδί, αναμενόταν

να δημοπρατηθεί εντός του 2016 και τελικώς αυτό συνέβη τον Αύγουστο του 2017.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθούν συνοπτικά οι **εκτελεσθείσες εργασίες για τα πρώτα 19 χιλιόμετρα του μετρό Αθηνών**:

- 19 χλμ. σήραγγας που διασχίζουν υπόγεια την πόλη, διασταυρώνονται στον σταθμό Συντάγματος και κατασκευάστηκαν με τρεις διαφορετικές μεθόδους, την βέλτιστη κατά περίπτωση.

α) Τα 10,1 χλμ. της γραμμής κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο TBM (μηχάνημα ολομέτωπης διάνοιξης σήραγγας), μεταξύ σταθμών Λαρίσης και Αγίου Ιωάννη στη γραμμή 2, καθώς και μεταξύ σταθμού Κατεχάκη και μέχρι 150 μέτρα πέραν του σταθμού Συντάγματος εκατέρωθεν της οδού Νίκης στη γραμμή 3.

Οι εργασίες της γραμμής 2 εκτελέστηκαν κάτω από αντίξοες συνθήκες λόγω του ασταθούς υπεδάφους και των συνεπαγόμενων ειδικών τεχνικών που απαιτούσαν οι αναφερόμενες γεωλογικές συνθήκες.

Οι εργασίες της γραμμής 3 εκτελέστηκαν αποδοτικότερα μέχρι του σημείου όπου η ύπαρξη πολλών παλαιών φρεάτων και συνδυετικών σηράγγων καθώς και η αστάθεια του υπεδάφους (κυρίως κάτωθεν των κτιρίων) οδήγησαν στη διακοπή λειτουργίας του TBM2.

β) Η μέθοδος OFS (μέτωπο ανοικτής ασπίδας) χρησιμοποιήθηκε μεταξύ των σταθμών Αγίου Ιωάννη και Δάφνης (900 μέτρα) στη γραμμή 2, όπου οι συνθήκες υπεδάφους κάτωθεν των κτιρίων απαγόρευαν τη χρήση TBM.

γ) Τα υπόλοιπα 8 χλμ. σήραγγας κατασκευάστηκαν είτε με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος, είτε με τη Νέα Αυστριακή Μέθοδο Διάνοιξης Σηράγγων (NATM). Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στις πέριξ του κέντρου περιοχές με εξαίρεση του τμήμα Σύνταγμα – Μοναστηράκι όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος NATM για να προστατευθούν τα παλαιά μνημεία και κτίρια του Μοναστηρακίου όπου επικρατούν κακές εδαφολογικές συνθήκες.

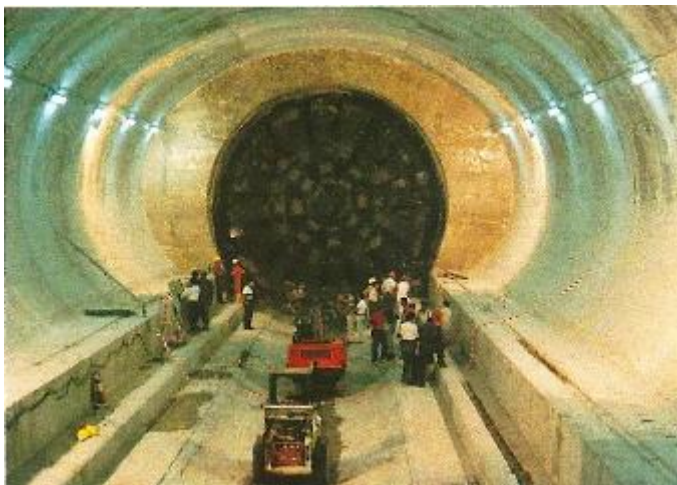
- Σε ορισμένα τμήματα του έργου απαιτήθηκαν ειδικές τεχνικές προετοιμασίας του υπεδάφους πριν τη διάνοιξη της σήραγγας, π.χ. πασσαλώσεις, εγχύσεις τσιμεντοκονιάματος κατευθείαν από την επιφάνεια του δρόμου, και πασσαλώσεις προπορίας.
- Κατά μήκος των 19 χλμ. νέων γραμμών κατασκευάστηκαν 20 σταθμοί, από τους οποίους οι 12 στη γραμμή 2 και οι 8 στη γραμμή 3 (ο σταθμός Συντάγματος θεωρείται διπλός σταθμός).

Κατασκευάστηκαν 14 σταθμοί με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος και 7 με τη NATM, συγκεκριμένα Ομόνοια, Πανεπιστήμιο και Ολυμπείο της γραμμής 2, και Αμπελόκηποι, Σύνταγμα και Μοναστηράκι της γραμμής 3.

Όλοι οι σταθμοί είναι υπόγειοι και αθέατοι, με εξαίρεση των εισόδους τους.

Εκτός των ανωτέρω σταθμών, μερικά τμήματα της σήραγγας διανοίχθηκαν με τη NATM ως εξής:

- Σύνδεση γραμμής 2 και 3 (μονή σήραγγα μήκους 500 μέτρων περίπου) κάτωθεν του Κοινοβουλίου.
- Η σήραγγα Αττική – Λάρισα κάτωθεν του κτιρίου ΗΛΠΑΠ, μήκους 95 μέτρων.
- Η σήραγγα Δάφνη – Μπουμπουλίνας, μήκους 170 μέτρων, καθώς και τα σημεία μετατόπισης του TBM στην πλατεία Καραϊσκάκη προς Ομόνοια και κάτωθεν της Εθνικής Τράπεζας στην Ομόνοια.



Η κεφαλή του «Ιάσονα», του μετροπόντικα της γραμμής 2, εισέρχεται στο κατασκευασμένο κέλυφος του σταθμού Συντάγματος στις 25/06/1996.

5.5 Επιδομή και χάραξη δικτύου

Επιδομή δικτύου ΑΜΕΛ:

- Εύρος τροχιάς: 1.435 mm.
- Σιδηροτροχιές UIC 54 (στο αμαξοστάσιο U50).
- Διμερείς τσιμεντένιοι στρωτήρες S32 (S31v στις επεκτάσεις) σε σταθερή επιδομή τύπου Stedef (slabtrack), U31 (στη σκυρογραμμή, στο αμαξοστάσιο Σεπολίων).
- Απόσταση στρωτήρων 0,70 μέτρα (0,70 μέτρα στο αμαξοστάσιο).
- Ελαστικοί σύνδεσμοι NABLA (αρχικό δίκτυο), VOSSLOH τύπου SKL14 (στις επεκτάσεις).
- Τα κλειδιά στις επεκτάσεις είναι στρωμένα σε πλωτή πλάκα με απευθείας ήλωση.
- Προστασία από θόρυβο/δονήσεις:

(α) στην περιοχή του σταθμού ΑΚΡΟΠΟΛΙΣ υπάρχει ειδική αντικραδασμική προστασία της γραμμής (150 μέτρα πλωτής πλάκας). Πλωτή πλάκα έχει εφαρμοστεί και στην περιοχή Κεραμεικού της επέκτασης προς Αιγάλεω.

(β) ελαστικό υλικό μεταξύ τροχιάς και στρωτήρα, ελαστικό παρέμβυσμα μεταξύ στρωτήρα και επιδομής (σύστημα Stedef).

- Τύποι αλλαγών: εφ. 0:13-R160, εφ. 1:12-R500, εφ. 1:6-R100 (κύρια γραμμή), εφ. 1:6-R140, εφ. 1:7-R140, εφ. 1:3, 429 (αμαξοστάσιο).

Χάραξη δικτύου ΑΜΕΛ:

α) Οριζοντιογραφία

- Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 300 μέτρα (αμαξοστάσιο 80 μέτρα).
- Μέγιστη υπερύψωση (devers) 150 mm.
- Μέγιστη κλίση οριογραμμής 1:300.

β) Κατακόρυφη χάραξη

- Μέγιστη κλίση 4%.
- Σταθμοί/γραμμές ελιγμών 0,15%.
- Ελάχιστη κλίση 0,3%.
- Ελάχιστο μήκος σταθερής κλίσης μεταξύ κατακόρυφων καμπυλών 20 μέτρα.

5.6 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα Μετρό και τεχνικά χαρακτηριστικά τους



Συρμός πρώτης γενιάς της ΑΜΕΛ, κατασκευής ALSTHOM-SIEMENS-ADTRANZ

Συρμοί πρώτης παραλαβής μετρό:

Κατασκευή: Alsthom/Siemens/ADTranz 1998-99

Σχεδιασμός: Ολυμπιακό Μετρό 1991-93

Έναρξη τακτικής εκμεταλλεύσεως: 2000

Δύναμη: 28 συρμοί (56 ημισυρμοί δηλαδή 168 οχήματα)

Περιγραφή: ο κάθε συρμός είναι πολλαπλή μονάδα (αυτοκινητάμαξα μητροπολιτικού σιδηροδρόμου) αυτομάτου επιταχύνσεως και αποτελείται από 2 υπομονάδες των 3 οχημάτων, δηλαδή κάθε συρμός έχει 6 οχήματα. Ελλείπει οπισθίου θαλάμου οδήγησης, οι υπομονάδες δεν δύνανται να κυκλοφορούν μεμονωμένες στο δίκτυο.

Κάθε υπομονάδα τριών οχημάτων αποτελείται από:

- ένα ιθυνήριο όχημα IO ή DT, όπου βρίσκεται ο θάλαμος οδήγησης
- ένα κινητήριο όχημα KO ή MC
- ένα ειδικό κινητήριο όχημα ΕΚΟ ή ΜC', στο οποίο βρίσκεται και ένα βοηθητικό χειριστήριο αποκλειστικά για ελιγμούς

Αρίθμηση: DT: A1-A56,

MC: B1-B56, ΜC':C1-C56

Σύνθεση: DT-MC-MC'-MC'-MC-DT

Διάταξη αξόνων: 2' 2' + Bo'Bo' + Bo'Bo' + Bo'Bo' + Bo'Bo' + 2' 2'

Πρωθητικό σύστημα: φορεία κινητηρίων οχημάτων φέροντα το καθένα δύο ηλεκτροκινητήρες

Ζεύξη: αυτόματη (Scharfenberg)

Μέγιστο μήκος συρμού (με τις ζεύξεις): 106,7 μέτρα

Πλάτος συρμού: 2,82 μέτρα

Ύψος συρμού: 3,62 μέτρα

Συνολικό απόβαρο: 172 τόνοι

Μέγιστο αξονικό φορτίο: 12 τόνοι

Χωρητικότητα: καθήμενοι 224, όρθιοι 650 (με 4 άτομα/m²), σύνολο 1.030 (με άτομα/m²)

Μέγιστη ισχύς έλξης: 2.448 KW (= 16 X 153 KW)

Μέγιστη ταχύτητα: 80 χλμ./ώρα

Μέση επιτάχυνση: (0-40 χλμ./ώρα): 1 m/sec²

Χρόνος απόκτησης μέγιστης ταχύτητας (0-80 χλμ./ώρα): 36 sec

Μέση επιβράδυνση (κανονικές συνθήκες): 1,08 m/sec²

Μέση επιβράδυνση (εκτάκτου ανάγκης): 1,2 m/sec²

Απόσταση πέδησης (80 χλμ./ώρα-0): 250 μέτρα

Εξοπλισμοί έλξης: DC/chopperGTO

Εξοπλισμός ασφαλείας: ATP-LZBSiemens

Αριθμός θυρών ανά όχημα/πλάτος θύρας: 4/1,3 μέτρα

Χειρισμός θυρών: πνευματικός



Συρμός δεύτερης γενιάς της ΑΜΕΛ, κατασκευής ROTEM-HANWA Ν. Κορέας

Συρμοί δεύτερης παραλαβής (συνεχούς ρεύματος):

Σειρά: IIDC (κάθε συρμός αποτελείται από δύο ημισυρμούς)

Διάταξη αξόνων: Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' + Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' (ΚΙΟ + ΡΟ + ΚΟ + ΚΟ + ΡΟ + ΚΙΟ, όπου ΚΙΟ = Κινητήριο – Ιθυντήριο Όχημα, ΡΟ = Ρυμουλκούμενο Όχημα, ΚΟ = Κινητήριο Όχημα)

Οίκος κατασκευής: Hanwa/Rotem/Mitsubishi

Χώρα κατασκευής: Ν. Κορέα

Έτος κατασκευής: 2003-04

Νο. Κατασκευής: DM20

Τύπος Α/Α: εξαπλή αρθρωτή ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα (συνεχούς ρεύματος), μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Τεμάχια: 14 συρμοί

Μήκος (μετά προσκρουστήρων): 106 μέτρα

Εύρος οχήματος: 2,8 μέτρα

Ύψος οχήματος: 3,69 μέτρα

Βάρος κενής Α/Α: 193,78 τόνοι

Βάρος έμφορτης Α/Α: 252 τόνοι

Διάμετρος κινητηρίων τροχών: 0,86 μέτρα

Διάμετρος φερόντων τροχών: 0,86 μέτρα

Μετάδοση κίνησης: ηλεκτρική

Τάση λειτουργίας: 750 V συνεχούς ρεύματος (λήψη με πέδιλο από «τρίτη σιδηροτροχιά» ηλεκτροφόρο)

Πλήθος κινητήρων: 16x170 KW (τριφασικοί – ασύγχρονοι κινητήρες της Mitsubishi)

Κινητήρια ισχύς: 3600 HP

Μέγιστη ταχύτης: 80 χλμ./ώρα

Επιτάχυνση: 1 m/sec² (μέγιστη επιβράδυνση 1,2 m/sec²)

Αριθμός θυρών: 4 ανά πλευρά οχήματος

Παρατηρήσεις: πρόκειται για συρμούς 6 συνεχών αρθρωτών οχημάτων (με ενδοεπικοινωνία), σύγχρονης αρχιτεκτονικής εσωτερικά και εξωτερικά, με αεροδυναμικό σχήμα. Διαθέτουν ηλεκτρονικό εξοπλισμό ισχύος Converter/Inverter, σύστημα αυτόματων οπτικών και ηχητικών αναγγελιών, κ.λπ.

Συρμοί δεύτερης παραλαβής (διρρευματικοί):

Σειρά: IDC/AC (κάθε συρμός αποτελείται από δύο ημισυρμούς)

Διάταξη αξόνων: Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' + Βο' Βο' + 2' 2' + Βο' Βο' (ΚΙΟ + ΡΟ + ΚΟ + ΚΟ + ΡΟ + ΚΙΟ)

Οίκος κατασκευής: Hanwa/Rotem/Mitsubishi

Χώρα κατασκευής: Ν. Κορέα

Έτος κατασκευής: 2003-04

Τύπος A/A: εξαπλή αρθρωτή ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα (διρρευματική), μητροπολιτικού σιδηροδρόμου

Τεμάχια: 7 συρμοί

Μήκος (μετά προσκρουστήρων): 106 μέτρα

Εύρος οχήματος: 2,8 μέτρα

Ύψος οχήματος: 3,69 μέτρα

Βάρος κενής A/A: 201 τόνοι

Βάρος έμφορτης A/A: 259,2 τόνοι

Διάμετρος κινητηρίων τροχών: 0,86 μέτρα

Διάμετρος φερόντων τροχών: 0,86 μέτρα

Μετάδοση κίνησης: ηλεκτρική

Τάση λειτουργίας: διπλή-750 V συνεχούς ρεύματος, λήψη με πέδιλο από «τρίτη σιδηροτροχιά» (ηλεκτροφόρο) και 25 KV εναλλασσόμενου ρεύματος, λήψη με παντογράφο από εναέρια γραμμή επαφής

Πλήθος κινητήρων: 16x170 KW (τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες της Mitsubishi)

Ισχύς: 3600 HP

Μέγιστη ταχύτης: 120 χλμ./ώρα

Επιτάχυνση: 1 m/sec² (μέγιστη επιβράδυνση 1,2 m/sec²)

Σύστημα πέδης: Knorr+ ηλεκτροδυναμική/ανακτητική πέδη

Χωρητικότητα καθήμενων: 158+4 ΑΜΑΕ

Χωρητικότητα όρθιων: 868 (5 επιβ./m²)

Αριθμός θυρών: 4 ανά πλευρά οχήματος

Παρατηρήσεις: είναι συρμοί πανομοιότυποι με τους συρμούς ROTEM αστικού τύπου, με ειδική διασκευή όμως, για να μπορούν να κυκλοφορούν και στη γραμμή του προαστιακού προς το Αεροδρόμιο, είναι δηλαδή συρμοί διρρευματικοί, διαθέτουν κλιματισμό και ειδικό χώρο αποσκευών, καθώς και διπλό εξοπλισμό ασφαλείας ATP (LZB και ERTMS/ETCS/Level 1).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΝΕΟ TRAM ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

6.1 Γενικές πληροφορίες

Σε ό, τι αφορά το Νέο Τραμ της Αθήνας, άρχισε τη λειτουργία του το 2004 και το Φθινόπωρο του 2007 ολοκληρώθηκε η επέκταση προς Βούλα, μήκους 0,7 χιλιομέτρων. Έχει μήκος δικτύου 27 χιλιόμετρα διπλής γραμμής και εκτελούνται 3 τύποι δρομολογίων, το «ΘΟΥΚΥΔΙΔΗΣ» με διαδρομή Στάδιο Ειρήνης και Φιλίας (Σ.Ε.Φ.)-Ασκληπείο Βούλας, το «ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ» με διαδρομή Σύνταγμα-Σ.Ε.Φ. και το «ΠΛΑΤΩΝΑΣ» με διαδρομή Σύνταγμα – Ασκληπείο Βούλας. Οι σταθμοί είναι 48. Η μέση απόσταση μεταξύ των στάσεων είναι 460 μέτρα. Οι αποβάθρες των στάσεων έχουν μήκος 70 μέτρα, πλάτος 4,2 μέτρα, ύψος 0,275 μέτρα (οι κεντρικές στάσεις αμφίδρομης εξυπηρέτησης), πλάτος 2,6 μέτρα (οι πλευρικές στάσεις μονοδρομικής εξυπηρέτησης).

Το νέο τραμ της Αθήνας όμως είναι μέσο «hitech» όχι μόνο ως προς τις στάσεις του, αλλά και ως προς τον υπόλοιπο εξοπλισμό του (συστήματα, οχήματα, υποδομή/επιδομή). Καταρχήν το Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας (ΚΕΛ) επικοινωνεί μέσω δικτύου οπτικών ινών με τις στάσεις και συγκεκριμένα με τα μηχανήματα έκδοσης και επικύρωσης εισιτηρίων, τις κάμερες του κλειστού συστήματος τηλεόρασης παρακολούθησης στάσεων και κυρίων διασταυρώσεων, τους ψηφιακούς πίνακες μεταβλητών μηνυμάτων, τα τηλέφωνα ανάγκης και το σύστημα ηχητικών ανακοινώσεων. Η φωνητική επικοινωνία καθώς και η μετάδοση δεδομένων μεταξύ οχημάτων και ΚΕΛ γίνεται μέσω συστήματος επικοινωνίας TETRA, ενώ τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με σύστημα εντοπισμού χιλιομετρικής θέσης μέσω GPS-οδομέτρου. Κάθε όχημα είναι εξοπλισμένο με μηχανήματα επικύρωσης εισιτηρίων, διπλές οθόνες με πληροφορίες διαδρομής, οπτική αναγγελία στάσεων και μηχανήματα ηχητικών αναγγελιών.

Το τραμ της Αθήνας φέρει και όλους τους απαραίτητους εξοπλισμούς για την απόδοση προτεραιότητας σ' αυτό, στην πλειοψηφία των σηματοδοτούμενων διασταυρώσεων του τροχιόδρομου με το οδικό δίκτυο (το γνωστό «πράσινο κύμα»). Η απόδοση προτεραιότητας μέσω του «πράσινου κύματος» στηρίζεται στην επενεργούμενη σηματοδότηση που στην περίπτωση του τραμ της Αθήνας λειτουργεί ως εξής: το κινούμενο τροchioδρομικό όχημα μέσω του GPS-οδομέτρου εντοπίζει τη θέση του στον τροχιόδρομο και αποστέλλει ραδιοσήμα (max-stream radio) μέσω ασύρματου δικτύου μικρής εμβέλειας στο φωτεινό σηματοδότη, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με το κατάλληλο λογισμικό που επιτρέπει την επενέργεια στη διαφοροποίηση του κύκλου των φάσεων σηματοδότησης. Έτσι, οι χρόνοι διαδρομής μειώνονται αισθητά.

Με αποστολή ραδιοσήματος (max-stream radio) από τα οχήματα διευθετούνται και οι αλλαγές τροχιάς, οι οποίες στο αμαξοστάσιο είναι τηλεχειριζόμενες από το ΚΕΛ.

Τέλος, κάθε όχημα που μέσω του GPS εντοπίζει τη χιλιομετρική του θέση στον τροχιόδρομο, αποστέλλει το στίγμα του μέσω του συστήματος

TETRA στο ΚΕΛ όπου τροφοδοτεί τον υπολογιστή τηλεματικής ο οποίος μέσω του εγκατεστημένου δικτύου οπτικών ινών ενημερώνει τους ψηφιακούς πίνακες των στάσεων με μηνύματα «σε πόσο χρόνο αναμένεται το επόμενο όχημα και ποιος είναι ο προορισμός του».

Τα 35 αρθρωτά ελαφρά σιδηροδρομικά οχήματα (LRV) που αποτελούν τον στόλο του τραμ της Αθήνας είναι τύπου SIRIO, κατασκευασμένα από την ιταλική κοινοπραξία ANSALDOBREDA στο εργοστάσιο COSMOS της Πιστόια και στο εργοστάσιο της Νάπολι. Έχουν αεροδυναμικό σχήμα και εντυπωσιακό σχεδιασμό αμαξώματος που φέρει την υπογραφή του γνωστού Ιταλού «ντιζάινερ» των «Ferrari» Sergio Pininfarina. Είναι οχήματα πλήρως κλιματιζόμενα και 100% χαμηλού δαπέδου, προσβάσιμα από ΑΜΕΑ.

Τα οχήματα βασίζονται στο αμαξοστάσιο του Ελληνικού όπου γίνεται νυκτερινή εναπόθεση, επιθεώρηση – συντήρηση – επισκευές και προετοιμασία λειτουργίας, ενώ εκεί βρίσκονται και τα συνεργεία επίγειας γραμμής και εναερίου δικτύου καθώς και το κτίριο διοίκησης με το ΚΕΛ.

Το εναέριο δίκτυο στηρίζεται με δύο τύπους στύλων: «στύλους πόλεως» με τριγωνικές κονσόλες και απλή ανάρτηση μονού σύρματος trolley στην περιοχή Παναγίτσας Π. Φαλήρου και στο Κέντρο της Αθήνας και στύλους διπλού T (διατομή H) με κονσόλες και πολλαπλή αλυσοειδή ανάρτηση (catenary system), όπως στο υπεραστικό σιδηροδρομικό δίκτυο, στα υπόλοιπα τμήματα επιλογή μάλλον υπερδιαστασιολογημένη που δημιουργεί προβλήματα οπτικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές που διασχίζει. Ειδικές διατάξεις τοποθετήθηκαν στις διασταυρώσεις των εναερίων δικτύων τρόλλεϋ και τραμ και γενικά υπήρξε συνεργασία Τραμ ΑΕ-ΗΛΠΑΠ για κοινή χρήση στύλων και ειδικού εξοπλισμού σε σημεία κοινών διαδρομών. Η ονομαστική τάξη λειτουργίας είναι 750 V συνεχούς ρεύματος που παρέχεται από 15 υποσταθμούς (περίπου ένας υποσταθμός ανά δύο χλμ.). Η ηλεκτροκίνηση διαστασιολογήθηκε για να παρέχει επάρκεια για κίνηση μονού τροchioδρομικού οχήματος ανά 4 λεπτά και διπλού τροchioδρομικού οχήματος ανά 8 λεπτά, λόγω όμως Ολυμπιακών απαιτήσεων έγινε αύξηση ισχύος για διπλό συρμό ανά 4,5 λεπτά.

Η χάραξη της γραμμής του τραμ κατά 95% βρίσκεται σε αποκλειστικό διάδρομο κίνησης, ενώ έχουν γίνει έργα πλήρους ένταξης της στο αστικό περιβάλλον. Το κόστος αναβάθμισης του αστικού χώρου διέλευσης του τραμ ανήλθε σε 25 εκατ. ευρώ. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι σιδηροτροχιών: σιδηροτροχιές τύπου VignoleS49 στην παραλιακή γραμμή και στην υπηρεσιακή προς το αμαξοστάσιο και σιδηροτροχιές τύπου Broca (αυλακωτές) Ri60N κυρίως στα αστικά τμήματα. Μεγάλο μέρος του αποκλειστικού διαδρόμου του τροchioδρόμου έχει διαστρωθεί με χλοοτάπητα (Καλλιρρόης, Η. Ηλιού/Ελ. Βενιζέλου/Αχιλλέως, Μεταξά, μεγάλο τμήμα της παραλιακής γραμμής), ενώ το υπόλοιπο με σταθεροποιημένη γη (παραλιακό μέτωπο), έρμα (υπηρεσιακή γραμμή), άσφαλο και κυβόλιθο (υπόλοιπο δίκτυο). Συνδυασμός τροchioδρόμου με πεζοδρόμηση έγινε στις οδούς Στρογγόνωφ, Κασομούλη, Γουβέλη και τμήμα της Αχιλλέως, ενώ πεζοδρομήθηκε και η οδός Α. Μεταξά στο εμπορικό κέντρο της Γλυφάδας.

Μεγάλη σημασία δόθηκε στην αντιθορυβική και αντιδονητική προστασία της γραμμής που συνδυάστηκε με τον τρόπο έδρασης της στην υποδομή του τροchioδρόμου και εξασφάλισε στο σύνολο του έργου δονητικό

περιβάλλον σημαντικά χαμηλότερο από τα όρια ασφάλειας που καθορίζει το ΥΠΕΧΩΔΕ (γνωμάτευση ειδικών καθηγητών από τα Πανεπιστήμια των Βρυξελλών και της Νάντης, καθώς και του εντ. Επίκουρου Καθηγητή Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Κ. Βογιατζή, κατόχου του πανευρωπαϊκού βραβείου «Décibeld' Or 2003», που είχε την ευθύνη των περιβαλλοντικών μελετών, των μετρήσεων και της τεκμηρίωσης των αντιθορυβικών και αντιδονητικών συστημάτων που εφαρμόστηκαν στο τραμ της Αθήνας). Συγκεκριμένα οι λύσεις έδρασης της γραμμής που εφαρμόστηκαν στο τραμ της Αθήνας ήταν οι εξής:

Απευθείας στήριξη σιδηροτροχιάς στη βάση έδρασης (έρμα ή πλάκα σκυροδέματος) σε τμήματα απομακρυσμένα από παρακείμενους δέκτες που δεν χρειάζονται αντιθορυβική – αντικραδασμική προστασία.

Ενθυλάκωση σιδηροτροχιάς (στο επίπεδο κίνησης πεζών ή τροχοφόρων) εντός ειδικού ελαστομερούς υλικού (χυτού ή προδιαμορφωμένου στον τύπο της σιδηροτροχιάς) η οποία προστατεύει μικρομετακινήσεις της τροχιάς μέσα στην πλάκα έδρασης ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μικρών ακτίνων στροφής. Περιορίζεται έτσι η ζώνη επιρροής των δονήσεων στα 30 μέτρα.

Ελαστική αντιδονητική στήριξη ενθυλακωμένη σιδηροτροχιάς με επιπλέον εναπόθεση αντικραδασμικού ελαστομερούς ή άλλου κατάλληλου ελαστικού υλικού στην διεπιφάνεια τροχιάς – πλάκας στήριξης (strip) όπου η επιλογή του ελαστομερούς υλικού επιβάλλεται από την ανάγκη απορρόφησης των δονήσεων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του εδάφους (συνάρτηση διάχυσης δονήσεων από πηγή σε δέκτη), τα χαρακτηριστικά του εσωτερικού του δέκτη, λαμβανομένων προφανώς υπόψη των χαρακτηριστικών της πηγής δόνησης που θα χρησιμοποιηθεί (τελική τυπολογία συρμού, αξονικά φορτία, σταθερή αξονική δύναμη ανά συχνότητα κ.λπ.). Η εφαρμογή αυτή στήριξης στο τραμ της Αθήνας, περιορίζει την ανωτέρω ζώνη επιρροής των δονήσεων ανάλογα της ποιότητας του ελαστομερούς στη ζώνη μέχρι και 8-10 μέτρα από τον πλησιέστερο δέκτη.

Εφαρμογή πλωτού δαπέδου στις θέσεις οι οποίες κατά τεκμήριο δεν εξασφαλίζουν παραπάνω από 5 έως 7 μέτρα απόσταση δέκτη από την τροχιά και βεβαίως η χρήση του δέκτη επιβάλλει την αναγκαία προστασία. Η εφαρμογή αυτής της λύσης ουσιαστικά επιβάλλει την τοποθέτηση ειδικών ελαστομερών υλικών στην διεπιφάνεια εδάφους και βάσης οπλισμένου σκυροδέματος η οποία υλοποιείται ενίοτε σε μορφή «σκάφης» και λειτουργεί ως μάζα αδράνειας. Η τοποθέτηση του ελαστομερούς γίνεται τόσο σε μορφή mat (πάπλωμα – κάλυψη όλης της επιφάνειας) όσο και stripes (λωρίδες απαιτείται μικρότερη επιφάνεια αλλά σκληρότερο και ακριβότερο υλικό) ή ακόμη και σε τετραγωνικής μορφής ανεξάρτητων πολλαπλών στηρίξεων λύση που απαιτεί ακόμη μικρότερη επιφάνεια πλέον άκαμπτου ελαστομερούς υλικού.

Προκειμένου να εξασφαλιστούν οι βασικές απαιτήσεις μείωσης των δονήσεων και του εδαφομεταφερόμενου θορύβου (ανώτατο επιτρεπόμενο όριο 40 dB(A)), εφαρμόστηκαν 3 διαφορετικές λύσεις διατάξεων αντιδονητικής στήριξης στο τραμ της Αθήνας. Ουσιαστικά το ενιαίο βασικό σύστημα στήριξης της τροχιάς του τραμ της Αθήνας (πλην της υπηρεσιακής γραμμής) προβλέπει πρακτικά την ελαστική ενθυλάκωση σιδηροτροχιάς και αντικραδασμική στήριξη τύπου COMFORT-CDM και το σύστημα STERO που

αφορά εναλλακτική μορφή στήριξης της τροχιάς σε προκατασκευασμένη δοκό από σκυρόδεμα με ελαστική ενθυλάκωση και αντικραδασμική στήριξη COMFORT-CDM.

Η ενθυλάκωση της τροχιάς γίνεται εντός ειδικού προ-εφαρμοσμένου (jacqueted) ελαστομερούς υλικού τύπου «fastener-less PREFARAIL» σε συνδυασμό με ελαστομερή υλικά «CDM».

Ιδιαίτερα για κτίρια που εντάσσονται στην περίπτωση 3 ($L < 8/10$ μ), στα τμήματα της γραμμής:

Οδός Γουβέλη-Νέος Κόσμος.

Οδός Κασομούλη -εσωτερική τροχιά- Νέος Κόσμος (εξ. τροχιά: εφαρμογή Cgrtramat COMFORT) (ΜΕ αντικραδασμικό strip μόνο).

Οδός Στρογγονώφ προς Καλλιρρόης - εσωτερική τροχιά.

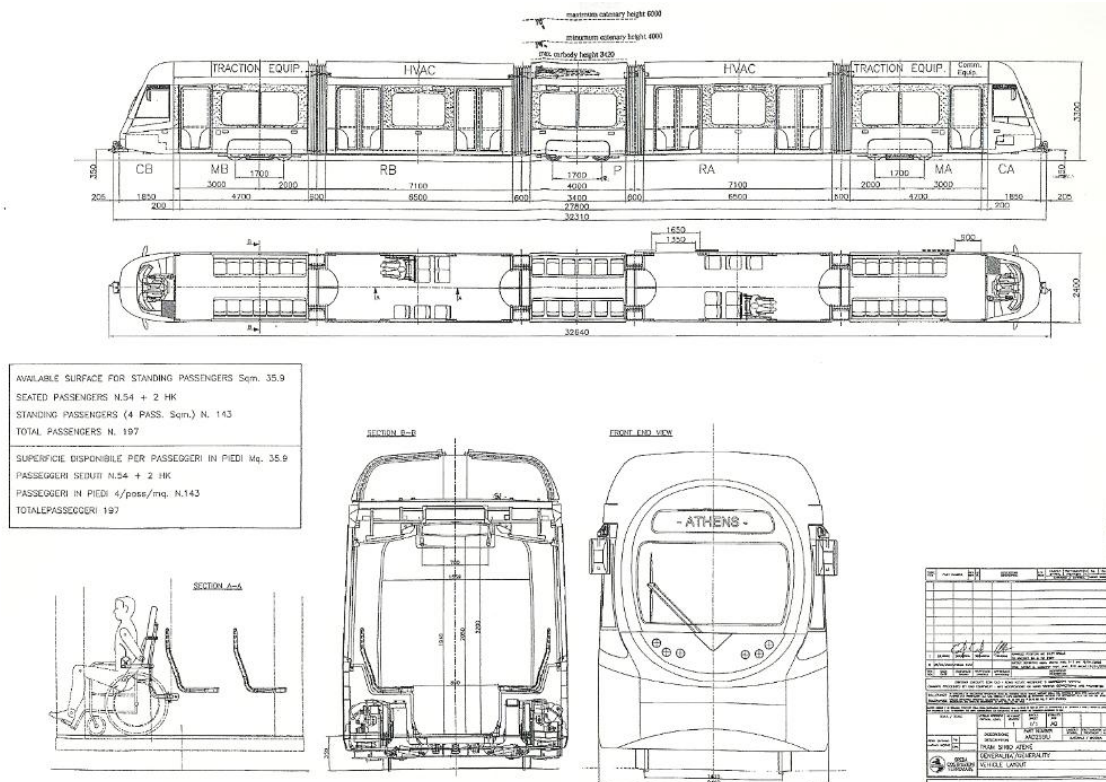
Περιοχή Παναγίτσα – Παλαιό Φάληρο

και προκειμένου να μειωθεί ο εδαφομεταφερόμενος θόρυβος από τη λειτουργία του τραμ, διερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα εφαρμογής πλωτής πλάκας τύπου CDM-DFMA-L10 σε συνδυασμό με εφαρμογή στήριξης τροχιάς Cgrtramat COMFORT, η οποία και εφαρμόστηκε στις ανωτέρω θέσεις.

6.2 Διάφορα ηλεκτρικά τρένα Τραμ και τεχνικά χαρακτηριστικά τους



Νέο όχημα τραμ Αθηνών, τύπου SIRIO από ANSALDOBREDA



Σχέδιο νέου οχήματος τραμ Αθηνών, τύπου SIRIO από ANSALDOBREDA

Τύπος: Οχήματα αρθρωτά με 5 modules, διπλής κατεύθυνσης χαμηλού δαπέδου

Πλάτος γραμμής: 1,435 μέτρα

Διάταξη τροχών: Bo2Bo (3 φορεία: 2 κινητήρα, 1 ρυμουλκούμενο)

Ζεύξη: Αυτόματη Scharfenberg (δυνατότητα διπλής έλξης)

Τάση λειτουργίας: 750 V Σ.Ρ. (-38%/+20%)-λήψη ρεύματος με ημιπαντογράφο

Μέγιστη ταχύτητα: 70 χλμ./ώρα

Επιτάχυνση/πέδηση/ακαριαία πέδηση: 1,2 μέτρα/sec²/1,3μέτρα/sec²/2,3 μέτρα/sec² (με πλήρες φορτίο)

Κινητήρες: Τριφασικοί ασύγχρονοι ηλεκτροκινητήρες 4x106 KW

Αμάξωμα: Από χάλυβα υψηλής ανθεκτικότητας

Μήκος: 31,9 μέτρα

Πλάτος: 2,4 μέτρα

Ύψος δαπέδου επιβίβασης: 0,35 μέτρα

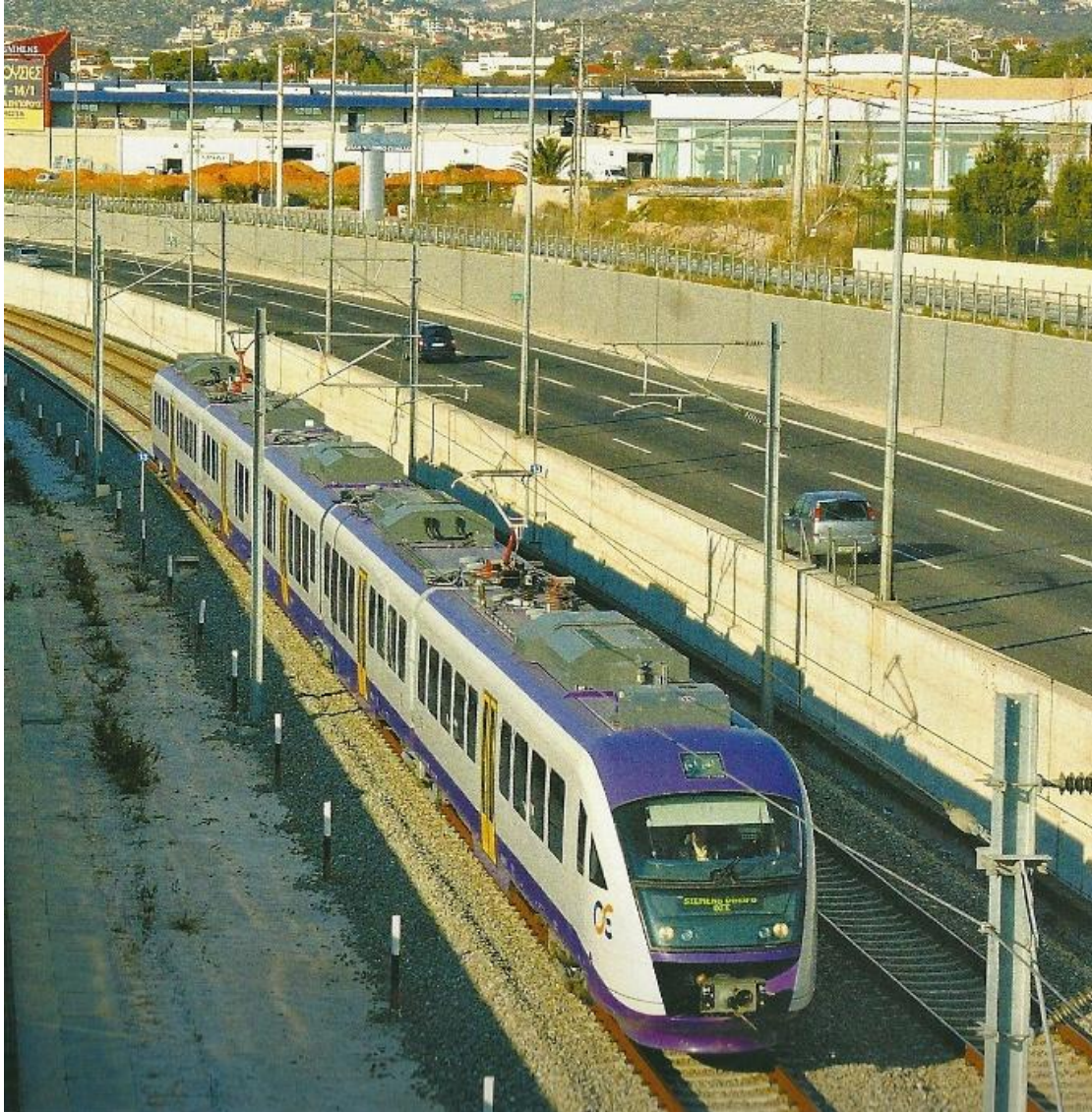
Αριθμός καθήμενων: 54 + 2 AMEA

Επιφάνεια ορθίων: 35,9 μ²

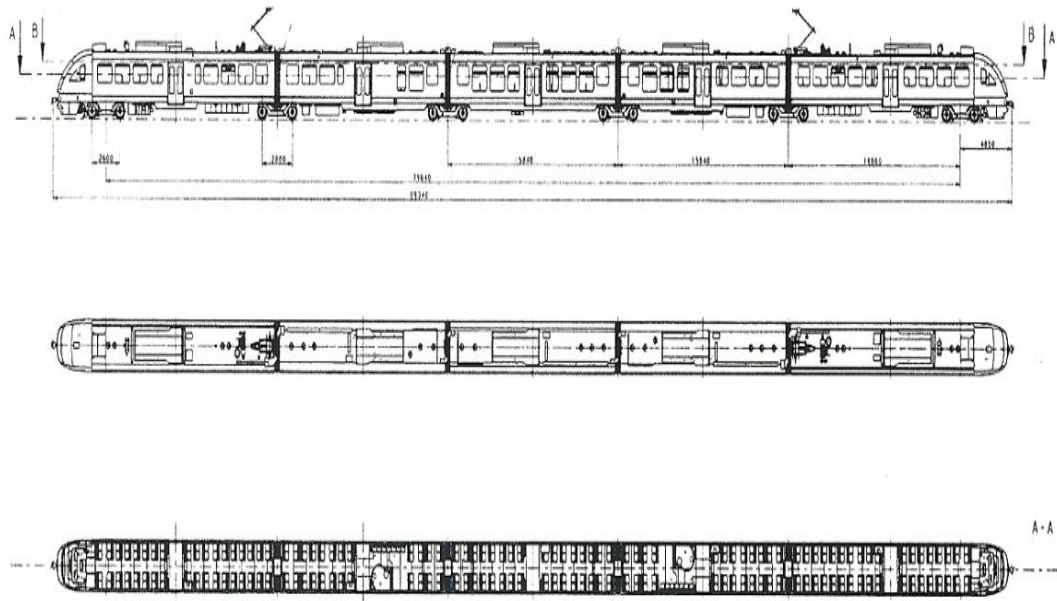
Σύνολο ορθίων και καθημένων: 197 + 2 ΑΜΕΑ (4 όρθιοι/μ²), 234 + 2 ΑΜΕΑ (5 όρθιοι/μ²), 269 + 2 ΑΜΕΑ (6 όρθιοι/μ²)

Απόβαρο: 42,5 τόνοι

Αξίζει σε αυτό το σημείο να γίνει αναφορά και στα τεχνικά χαρακτηριστικά κάποιων ηλεκτρικών τρένων του **Προαστιακού**:



Ηλεκτρική αυτοκινητάμαξα DESIRO του ΟΣΕ



Σχέδιο πεντάδυμης αρθρωτής ηλεκτρικής αυτοκινητάμαξας *Desiro*

DESIRO Ηλεκτρική

Σύνδεση μονάδας: Πεντάδυμη αρθρωτή

Μήκος μονάδας (μέτρα): 89,34

Αριθμός καθιμένων: 313

Αριθμός ορθίων: 284

Χώρος για ΑΜΕΑ: Ναι

Συνθήκες πρόσβασης Α/Α: 1 θύρα X 1240 mm ανά όχημα ύψος δαπέδου 800 mm

Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας: 100

Κλιματισμός: Ναι

Οθόνες πληροφόρησης κοινού (VMS): Ναι

Οθόνες προορισμού στη μετώπη: Ναι

Μεγαφωνικές εγκαταστάσεις: Ναι

Αυτόματη ηχητική αναγγελία στάσεων: Ναι

Χώρος αποσκευών: Άνω των θέσεων

W.C.: Ναι

Μέγιστη ταχύτητα (χλμ./ώρα): 160

Μέγιστη επιτάχυνση (m/sec²): 1

Μέγιστη επιβράδυνση (m/sec²): 1,2

Λόγος κιν. Αξόνων/σύνολο: 8/12

RAILBUS GTW 2/6

Σύνδεση μονάδας: Δίδυμη αρθρωτή

Μήκος μονάδας (μέτρα): 34,72

Αριθμός καθιμένων: 94

Αριθμός ορθίων: 116

Χώρος για ΑΜΕΑ: Ναι

Συνθήκες πρόσβασης Α/Α: 1 θύρα X 1350 mm ανά όχημα ύψος δαπέδου 585 mm

Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας: 80

Κλιματισμός: Ναι

Οθόνες πληροφόρησης κοινού (VMS): Ναι

Οθόνες προορισμού στη μετώπη: Ναι

Μεγαφωνικές εγκαταστάσεις: Ναι

Αυτόματη ηχητική αναγγελία στάσεων: Ναι

Χώρος αποσκευών: Άνω των θέσεων

W.C.: Ορισμένα ναι ορισμένα όχι

Μέγιστη ταχύτητα (χλμ./ώρα): 115

Μέγιστη επιτάχυνση (m/sec²): 1

Μέγιστη επιβράδυνση (m/sec²): 1,2

Λόγος κιν. Αξόνων/σύνολο: 2/6

Ισχύς (KW): 550

Είδος έλξης: Δηζελοηλεκτρική [με ΟΠΕ (ΟΠΕ = Όχημα Παραγωγής Ενέργειας με ντηζελογεννήτρια)]

Αυτονομία: -

Είδος ζεύξης: Αυτόματη

Εξωτερική εμφάνιση: Σύγχρονη – αεροδυναμική

Συμπεράσματα

Διαβάζοντας κανείς την παρούσα διπλωματική εργασία, αντιλαμβάνεται ότι η επιστήμη των ηλεκτρικών τρένων είναι κάθε άλλο παρά απλή. Παρ' όλα αυτά, η επιστήμη αυτή έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από την εποχή του σχεδιασμού της πρώτης ηλεκτρικής ατμομηχανής και ειδικά τα τελευταία χρόνια. Αυτό συνέβη διότι πολλοί λαμπροί επιστήμονες συνειδητοποίησαν τα φοβερά πλεονεκτήματα για την ανθρωπότητα που έχουν τα ηλεκτρικά τρένα, σε σύγκριση με τα συμβατικά ντιζελοκίνητα, με αποτέλεσμα να τα μελετήσουν σε βάθος, ανακαλύπτοντας συνεχώς νέα πράγματα.

Μερικά από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Οι ηλεκτρικές γραμμές σημαίνουν ότι δεν χρειάζονται αμαξοστοιχίες με βαρύ πετρελαιοκινητήρα. Επιπλέον, οι αμαξοστοιχίες δεν χρειάζεται να μεταφέρουν το δικό τους καύσιμο, αλλά το καύσιμο παρέχεται μέσω των εναέριων καλωδίων. Αυτό κάνει τα ηλεκτρικά τρένα να είναι ελαφρύτερα από τα ντιζελοκίνητα.
- Σύμφωνα με έρευνες, τα ηλεκτρικά τρένα είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, εκπέμποντας 20% έως 30% λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα για τη λειτουργία τους από ό, τι τα αντίστοιχα ντιζελοκίνητα.
- Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, τα ηλεκτρικά τρένα κοστίζουν αρκετά λιγότερο από τα ντιζελοκίνητα ανά μίλι για να συντηρηθούν. Ακόμη και η φθορά του σιδηροδρόμου θεωρείται ότι είναι περισσότερη με τα ντιζελοκίνητα σε σχέση με τα ηλεκτροκίνητα τρένα.
- Για τους επιβάτες υπάρχουν επίσης οφέλη, αφού τα ταξίδια σε ηλεκτρικά τρένα είναι ταχύτερα και πιο ήσυχα με βελτιωμένη αξιοπιστία ακόμη και σε πολυσύχναστες διαδρομές.
- Το ηλεκτρικό τρένο φαίνεται πιο σύγχρονο από το ντιζελοκίνητο, με αποτέλεσμα να είναι πιο ελκυστικό και να οδηγεί όλο και περισσότερους ανθρώπους στο να το χρησιμοποιούν.
- Επίσης, οι ηλεκτρικές γραμμές θα μπορούσαν να συνδέσουν σταθμούς σε ένα ευρύτερο δίκτυο.
- Η καλύτερη επιτάχυνση των ηλεκτρικών αμαξοστοιχιών θα μπορούσε να σημαίνει και μικρότερους χρόνους ταξιδιού. Σε κάθε περίπτωση, φαίνεται ότι τα ηλεκτρικά τρένα είναι πιο οικονομικά αποδοτικά, πιο φιλικά προς το περιβάλλον και προφανώς πιο αθόρυβα από τα ντιζελοκίνητα.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθούν κάποια πλεονεκτήματα του πολλά υποσχόμενου επιστημονικού κλάδου των τρένων μαγνητικής αιώρησης (maglev), ο οποίος έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο στο μέλλον, με αποτέλεσμα την εξάπλωση αυτού του τύπου τρένων σε όλο και περισσότερες χώρες:

- Το κύριο πλεονέκτημα των αμαξοστοιχιών maglev είναι το γεγονός ότι σε αντίθεση με τα συμβατικά ντιζελοκίνητα τρένα, δεν έχουν κινούμενα μέρη και επομένως η φθορά των εξαρτημάτων είναι ελάχιστη, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος συντήρησης.
- Εξίσου σημαντικό είναι ότι δεν υπάρχει φυσική επαφή μεταξύ της αμαξοστοιχίας και της γραμμής, επομένως δεν υπάρχει αντίσταση κύλισης. Ενώ υπάρχει ηλεκτρομαγνητική αντίσταση και τριβή αέρα, αυτό δεν εμποδίζει την ικανότητά αυτών των τρένων να φτάνουν ταχύτητες πάνω από τα 300 χλμ./ώρα.
- Η απουσία τροχών αποτελεί επίσης πλεονέκτημα, καθώς οι επιβάτες των τρένων, αλλά και άνθρωποι που κατοικούν σε μικρή απόσταση από το σιδηρόδρομο δεν χρειάζεται να έρχονται αντιμέτωποι με τον εκκωφαντικό θόρυβο που πιθανόν να παράγεται από αυτούς.
- Τα τρένα maglev είναι επίσης φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Αυτά τα τρένα είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες, που σημαίνει πως η βροχή, το χιόνι ή το σοβαρό κρύο δεν εμποδίζουν σημαντικά την απόδοσή τους.
- Οι ειδικοί είναι της άποψης ότι αυτά τα τρένα είναι πολύ πιο ασφαλή από τα αντίστοιχα συμβατικά, καθώς είναι εξοπλισμένα με σύγχρονα συστήματα ασφαλείας, τα οποία μπορούν να διατηρήσουν την κατάσταση υπό έλεγχο ακόμη και όταν η αμαξοστοιχία ταξιδεύει με μεγάλη ταχύτητα.

Σε εγχώριο επίπεδο, παρά τις δυσμενείς οικονομικές συνθήκες, έχουν γίνει στο παρελθόν και συνεχίζονται ακόμα αρκετές προσπάθειες για τον εκσυγχρονισμό και την ηλεκτροδότηση των σιδηροδρόμων, αλλά μένουν πολλά ακόμα που πρέπει να αναβαθμιστούν.

Βιβλιογραφία

- Stephen J. Charman, Ηλεκτρικές Μηχανές, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2016
- Μαρία Γ. Ιωαννίδου, Ηλεκτρικά Συστήματα Κίνησης: Α. Έλεγχος Συστημάτων Κίνησης, Εκδόσεις Ιωαννίδου Μ.-Π., Αθήνα, 2013
- Τεγόπουλος Α. Ιωάννης, Ηλεκτρικές Μηχανές-Μέρος Β'-Μόνιμη Κατάσταση, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1991
- Παύλος Δρανδάκης, Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια-Συμπλήρωμα-Τόμος Δ', Εκδόσεις «Ο Φοίνιξ», Αθήνα
- Γραφείο Δημοσίων Σχέσεων ΗΣΑΠ, 130 Χρόνια Ηλεκτρικοί Σιδηρόδρομοι Αθηνών - Πειραιώς Α.Ε., Αθήνα, 1999
- Ομάδα Έρευνας της Ιστορίας της Αθηναϊκής Συγκοινωνίας, Από τα Παμφορεία στο Μετρό–170 Χρόνια Δημόσιες Συγκοινωνίες Αθηνών – Πειραιώς – Περιχώρων-2^{ος} Τόμος, Εκδόσεις Μίλητος, Αθήνα, 2007
- Wikipedia
- <http://www.railway-technical.com/infrastructure/electric-traction-power.html>
- <http://www.railsystem.net>
- <https://www.carstuffshow.com/podcasts/maglev-trains.htm>
- http://www.hk-phy.org/energy/transport/trans_phy02_e.html
- <https://technologybehindthings.wordpress.com/2015/01/14/maglev-trains/>
- <http://www.itv.com/news/border/2014-11-28/electrified-trains-what-are-the-benefits/>
- <https://wheelzine.com/advantages-disadvantages-of-maglev-trains>