ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον & Ανάπτυξη"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ

«Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον αστικό συγκοινωνιακό σχεδιασμό. Η περίπτωση της Αθήνας»

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL, SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

I.P.P.S. "Environment & Development"

M.Sc. Thesis

Liakopoulos Pavlos

«The adoption of renewable energy sources towards more sustainable urban transport systems. A case study on the city of Athens »

Athens, June 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Δ.Π.Μ.Σ. "Περιβάλλον & Ανάπτυξη"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον αστικό συγκοινωνιακό σχεδιασμό. Η περίπτωση της Αθήνας»

ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ν. ΚΑΤΣΟΥΛΑΚΟΣ	**Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ**	**Ε. ΜΠΑΚΟΓΙΑΝΝΗΣ**
Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΕΝ Ασπροπύργου	Αναπληρωτής Καθηγητής ΣΠΜ ΕΜΠ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)	Επίκουρος Καθηγητής ΣΑΤΜ ΕΜΠ

Στην μητέρα μου

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξερεύνηση των διαθέσιμων εναλλακτικών και η ανάλυση της δυνατότητας ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύνθετο και πολύπλοκο αστικό περιβάλλον. Οι αστικές μετακινήσεις τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας κατά κεφαλήν.

Σε όλες τις μεγάλες πόλεις ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός προωθεί την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εισάγοντας νέες τεχνολογίες. Τόσο οι συγκοινωνιακοί διαχειριστές όσο και οι πολίτες ενθαρρύνονται στην ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών στην ζωή τους ενώ σιγά σιγά τα αστικά περιβάλλοντα τείνουν προς τον «εξηλεκτρισμό». Είναι όμως από μόνη της αυτή μια επαρκής συνθήκη για να μειώσουμε μετρήσιμα το ενεργειακό μας αποτύπωμα; Με ποιες συνθήκες και τι κόστος μπορεί να επιτευχθεί μια τέτοια μετάβαση και ποιο είναι το ιδανικό μείγμα στρατηγικών επιλογών για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου.

Στην συνέχεια μελετάται η περίπτωση των Αθηνών, που ως μια Ευρωπαϊκή μητρόπολη αντιμετωπίζει τόσο το πρόβλημα του κυκλοφοριακού φόρτου όσο και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκύπτει από τον γηρασμένο στόλο οχημάτων των δημόσιων συγκοινωνιών. Αποτελεί λοιπόν ιδανική περιοχή μελέτης, αφού αποτυπωθεί η σημερινή κατάσταση και παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά του πολεοδομικού συγκροτήματος των Αθηνών, του κατά πόσον και με ποιους τρόπους μπορεί το συγκοινωνιακό πλέγμα να ενσωματώσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο σε επίπεδο τροχαίου υλικού, υιοθετώντας τις νέες τεχνολογίες όσο και σε επίπεδο υποδομών ώστε να επιτευχθεί ένα πιο βιώσιμο αστικό περιβάλλον και παράλληλα να ενθαρρύνονται οι πολίτες να χρησιμοποιούν τακτικά τα μέσα μαζικής μεταφοράς μειώνοντας έτσι το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Abstract

The present study was prepared as an M.Sc.Thesis for the postgraduate studies program "*Environment and Development*" of National Technical University of Athens (NTUA). Urban transports, both individual or mass transports and transportation of goods account for a large proportion of annual energy consumption per capita not only within the city's limits but on a national scale. In all big cities the current urban planning trends promote the adoption of clear energy, the installation of systems exploiting renewable energy sources and new technologies for energy saving and recovery. Both the urban mass transports operators and the citizens are encouraged to adopt these policies on a different extent, but with the same ultimate goal, the gradual electrification of the network.

The goal of the study is to summarize the available techniques and technologies in vehicles used in urban transports and relevant infrastructure adopting alternative energy sources along with various environmental aspects which apply to the complex urban environment as well as mentioning the various strategies involved such as the decarbonisation and the sustainable urban mobility plans.

The second part of the study focuses on the Attica region which includes Athens and its greater suburbs zone. Athens is the capital of Greece and can be easily classified as a metropolis not only by the population of residents which is almost 4 million but also with the area occupied and is suffering from severe atmospheric pollution problems caused to a great extent by the aged fleet of personal cars and the fleets of urban transportation. Therefore it was deemed a perfect testbed to study how the current status could be affected by interventions such as new vehicles and infrastructure upgrades along with policies aiming to electrify part of the public transports road network, increase the renewable energy yield in the transport grid, adopt state-of-the-art technologies to cut energy consumption and retrieve it back.

Three separate scenarios regarding implementation of solar energy systems are explored and their benefits are evaluated using several assumptions. These steps along with plans and policies to encourage citizens to use public transport regularly, in combination with non-polluting means of transport such as bicycles or light electric vehicles can effectively reduce carbon emissions, achieve a more sustainable urban environment, and lead the way to reducing our general environmental footprint towards a net zero-footprint.

Πινακας Περιεχομενων

Περίληψη i
Abstract iii
Κατάλογος Σχημάτων viii
Κατάλογος Πινάκων xi
Συντομογραφίες xiii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1
1.1. Σκοπός της εργασίας 1
1.2. Διάρθρωση της εργασίας 2
1.3. Ο ρόλος των μετακινήσεων στον σύγχρονο αστικό και περιαστικό χώρο 3
1.4. Η ανάγκη εκσυγχρονισμού των παραδοσιακών μέσων μετακίνησης 4
Κεφάλαιο 2: Αστικός συγκοινωνιακός σχεδιασμός 5
2.1. Βασικές αρχές 5
2.2. Στοιχεία που συνθέτουν ένα συγκοινωνιακό σύστημα 6
2.3. Το τροχαίο υλικό των συγκοινωνιών δημόσιας χρήσης 13
2.3.1. Λεωφορεία 13
2.3.2. Μέσα σταθερής τροχιάς 18
2.4. Εναλλακτικά μέσα για την αστική μετακίνηση 29
2.4.1. Ποδήλατα 30
2.4.2. Μικρά ηλεκτρικά οχήματα 37
2.5. Τα Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ) 39
2.6. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον συγκοινωνιακό σχεδιασμό και τις υποδομές – Ευρωπαϊκές πολιτικές 41
Κεφάλαιο 3: Διαθέσιμες εναλλακτικές μορφές ενέργειας 47
3.1. Μικρής κλίμακας παρεμβάσεις ή εξηλεκτρισμός? 47
3.2. Εναλλακτικά καύσιμα 50
3.3. Νέες τεχνολογίες σε οχήματα 52
3.3.1. Υβριδικά Οχήματα 52
Ταξινόμηση των Υβριδικών Συστημάτων 52
3.3.2. Ηλεκτρικά οχήματα 54
3.3.3. Οχήματα υδρογόνου 56
3.3.4. Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών 58

3.3.5. Υβριδικές τεχνολογίες στα Τρένα 60
3.4. Εναλλακτική τροφοδοσία – η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας 63
3.4.1. Φωτοβολταϊκά : Αρχή λειτουργίας- απόδοση 63
3.4.2. Πλεονεκτήματα 68
3.4.3. Μειονεκτήματα 69
3.5. Η σημασία της συνεχούς βελτίωσης του εθνικού ενεργειακού μείγματος 70
3.5.1. Το ενεργειακό μείγμα σήμερα στην Ελλάδα 70
3.5.2. Οι εξαρτήσεις της ηλεκτροπαραγωγής και η επίπτωση στο κόστος λειτουργίας ενός εξηλεκτρισμένου δικτύου 72
Κεφάλαιο 4: Η ενσωμάτωση των αναγνωρισμένων εναλλακτικών πηγών στο αστικό περιβάλλον 73
4.1. Έξυπνες υποδομές 73
4.2. Νέα οχήματα 77
4.3. Δίκτυο Μέσων Σταθερής Τροχιάς 79
Κεφάλαιο 5: Η περίπτωση της μητρόπολης των Αθηνών 80
5.1. Γενική ανάλυση της περιοχής 80
5.1.1. Ιστορική εξέλιξη 80
5.1.2. Πληθυσμιακά στοιχεία 83
5.2. Το συγκοινωνιακό δίκτυο 86
5.2.1. Διάρθρωση του δικτύου 86
5.2.1. Τρόπος λειτουργίας 87
5.2.2. Δημόσιοι συγκοινωνιακοί φορείς 88
5.2.3. Προβλέψεις του ΡΣΑ για το συγκοινωνιακό δίκτυο 95
5.2.4. Τροχαίο Υλικό 98
5.2.5. Μελλοντικές επεκτάσεις δικτύου 106
5.2.6. Αποτύπωση έργου -– λειτουργικά μεγέθη 106
5.3. Σύγκριση με Ευρωπαϊκές πρακτικές (Benchmarking) σχετικά με την ενσωμάτωση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας 111
5.4. Ενσωμάτωση των διαθέσιμων εναλλακτικών πηγών ενέργειας στα οχήματα 119
5.5. Ενσωμάτωση των διαθέσιμων εναλλακτικών πηγών ενέργειας στις υποδομές 121
5.5.1. Εισαγωγή 121
5.5.2. Εγκατάσταση έξυπνων στάσεων 121
5.5.3. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε χώρους στάθμευσης ΜΣΤ 122
5.5.4. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε κτίρια & σταθμούς 124

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα 131
6.1. Διαμόρφωση εθνικών και τοπικών στρατηγικών 131
6.2. Προς μια βιώσιμη αστική κινητικότητα στην πόλη της Αθήνας 132
Βιβλιογραφία 136
Παράρτημα Α 140

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1-1. Κύκλος ανάδρασης μεταξύ χρήσεων γης και μεταφορών 5

Σχήμα 2.2-1. Διαφορετικές διατάξεις/μοτίβα που εφαρμόζονται κατά τον σχεδιασμό συγκοινωνιακών διαδρομών 7

Σχήμα 2.2-2 Η αστική εξάπλωση σε μορφή παλάμης στην Κοπεγχάγη 8

Σχήμα 2.2-3. Σχηματική απεικόνιση της κάλυψης ενός συστήματος δημόσιων συγκοινωνιών..... 9

Σχήμα 2.3.1-1. Διαμόρφωση διαδρόμου συστήματος του BRT «Metrobus» στην Κωνσταντινούπολη στο κέντρο αυτοκινητοδρόμου..... 17

Σχήμα 2.3.1-2. Διαμόρφωση διαδρόμου συστήματος BRT στη Νάντη της Γαλλίας 18

Σχήμα 2.3.2-1. Διαφορετικοί τρόποι κατασκευής μέσων σταθερής τροχιάς στο αστικό περιβάλλον 19

Σχήμα 2.3.2-2. Συρμός Μετρό στο Μόναχο (MVG Class A, U6)..... 20

Σχήμα 2.3.2-3. Τραμ κολλημένο σε κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω κοινού διαδρόμου (class E), Μελβούρνη, Αυστραλία. 22

Σχήμα 2.3.2-4. Κίνηση τραμ σε διαχωρισμένο διάδρομο (class D), Άμστερνταμ, Κάτω Χώρες. 23

Σχήμα 2.3.2-5. Τραμ σε διάδρομο αποκλειστικής κίνησης (class C), Bahnhofstrasse, Ζυρίχη, Ελβετία 24

Σχήμα 2.3.2-6. Τραμ σε αποκλειστικό προστατευμένο διάδρομο (class B), Αθήνα, Ελλάδα..... 25

Σχήμα 2.3.2-7. Τραμ σε τμήμα πλήρως αποκλειστικού διαδρόμου με χρήση πυκνής βλάστησης για διαχωρισμό, Παρίσι, Γαλλία. 25

Σχήμα 2.3.2-8. Ελαφρύ μετρό – Palma, Ισπανία 27

Σχήμα 2.3.2-9. (α) Το σύστημα Monorail της Μόσχας (β) το Wuppertal Schewebahn 29

Σχήμα 2.4.1-1 Ποσοστά χρήσης του ποδηλάτου επί του συνόλου των διαδρομών για 9 χώρες της Ευρώπης, ΗΠΑ, Αυστραλία, Καναδά (Pucher & Buechler, 2012) 30

Σχήμα 2.4.1-2. – Τυπικές διατομές οδών (α) διπλής κυκλοφορίας με αποκλειστικό ποδηλατόδρομο, (β) μονής κυκλοφορίας με ποδηλατόδρομο..... 33

Σχήμα 2.4.1-3. Κοινόχρηστα ποδήλατα στην Βιέννη 34

Σχήμα 2.4.1-4. Στοιχεία κινητικότητας και μεριδίου χρήσης διαδρομών ποδηλάτων Κοπεγχάγης 35

Σχήμα 2.4.1-5 Χώροι στάθμευσης ποδηλάτων δυο επιπέδων στον κεντρικό ΣΣ της Κοπεγχάγης 36

Σχήμα 2.4.1-6. Σταθμευμένα ποδήλατα έξω από σταθμό ΜΣΤ, Κοπεγχάγη. 37

Σχήμα 2.4.2-1 (α)Κίνηση e-scooters σε ποδηλατόδρομο διαχωρισμένο από την οδό, (b) Στόλος ηλεκτροκίνητων ποδηλάτων με σύστημα ενοικίασης για περιήγηση..... 38

Σχήμα 2.5-1. Βασικοί άξονες στην δομή ενός ΣΒΑΚ 40

Σχήμα 2.6-1. Η δομή και οι βασικοί πυλώνες της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας..... 43

Σχήμα 3.3.1-1. Διαγραμματική απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ σειριακών και παράλληλων υβριδικών συστημάτων 53

Σχήμα 3.3.3-1. Χωροθέτηση συστημάτων σε ένα λεωφορείο κινούμενο με υδρογόνο και σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της κυψέλης παραγωγής ενέργειας 57

Σχήμα 3.4.1-1. Διαγράμματα ενεργειακών ζωνών στα στερεά υλικά 64

Σχήμα 3.4.1-2. Σχηματισμός επαφής p-n ημιαγωγών 64

Σχήμα 3.4.1-3. Τυπική διάταξη κατασκευής φωτοβολταϊκού πλαισίου 65

Σχήμα 3.4.1-4. Συμμετοχή των φ/β στην παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ για το 2020 66

Σχήμα 3.4.1-5. Διάγραμμα πτώσης απόδοσης φ/β πλαισίου μονοκρυσταλ. πυριτίου νέας τεχνολογίας 66

Σχήμα 3.4.1-6. Διάταξη τροφοδοσίας ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο 67

Σχήμα 3.4.1-7. Διάταξη αποθήκευσης και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας 68

Σχήμα 3.4.2-1. Εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας 2011-2019 σε παγκόσμια κλίμακα 69

Σχήμα 3.5.1-1. Ενεργειακό μείγμα : Παραγωγή και κατανάλωση στην Ελλάδα 71

Σχήμα 4.1-1. Μεγάλη έξυπνη αυτόνομη στάση ΜΜΜ με Φ/Β στοιχεία 73

Σχήμα 4.1-2. Φωτοβολταϊκά στέγαστρα σε ανοικτό αστικό χώρο στάθμευσης 77

Σχήμα 5-1. Χαρτογραφική απεικόνιση της Αθήνας και του ευρύτερου χώρου της Αττικής 80

Σχήμα 5.1.1-1 Επεξεργασία του σχεδίου Κλεάνθους-Schaubert. 81

Σχήμα 5.1.2-1. Κατανομή πραγματικού πληθυσμού Περιφέρειας Αττικής ανά ΠΕ 85

Σχήμα 5.1.2-2. Κατανομή πραγματικού πληθυσμού ΠΕ Κεντρικού Τομέα ανά Δήμο 85

Σχήμα 5.2.1-1 Χάρτης συγκοινωνιακού δικτύου περιοχής Αθηνών 2020 87

Σχήμα 5.2.2-1. Διαφημιστικό της ΗΕΜ για τα νέα τρόλλεϋ – δεκαετία '60 89

Σχήμα 5.2.2-2. Ρώσικο τρόλλεϋ ZiU-9B-1, που λειτούργησε στην Αθήνα από το 1985 έως τις αρχές του 2004, σε εορταστική-μουσειακή διαδρομή στην γραμμή 20 την Κυριακή των Βαΐων, 2017 .. 91

Σχήμα 5.2.2-3. Σύγχρονα Αθηναϊκά τρόλλεϋ κινούνται μέσα στην πόλη (ίδιες λήψεις) 93

Σχήμα 5.2.5-1. Μηκοτομή Α΄ τμήματος Γραμμής 4 106

Σχήμα 5.2.6-1. Αποτύπωση προτίμησης των διαφόρων μέσων συγκοινωνίας ανά ηλικιακή ομάδα και ανά περιοχή μετακίνησης 107

Σχήμα 5.3-1. Ηλεκτρικό όχημα (ie-tram) σε μια από τις γραμμές της υπηρεσίας Nemo 111

Σχήμα 5.3-2. Λεωφορείο κυψέλης υδρογόνου στον σταθμό ανεφοδιασμού στο Χερθ (Hürth) . 113

Σχήμα 5.3-3. Ηλεκτρικό όχημα Solaris Urbino 12 electric της ΑΤΜ 114

Σχήμα 5.3-5. (Α) Χάρτης γραμμών μετρό, τραμ και RER (ταχύ μετρό), (Β) Χάρτης γραμμών λεωφορείων στο Παρίσι 116

Σχήμα 5.3-6 Επάνω: Τα οχήματα ExquiCity 24 που θα εξυπηρετήσουν τις γραμμές T-Zen 4 & T-Zen 5, Κάτω: Τραμ Alstom Citadis X05 εξυπηρετώντας την γραμμή T9 117

Σχήμα 5.3-7. Ηλεκτρικό λεωφορείο της εταιρείας Qbuzz στις Κάτω Χώρες 118

Σχήμα 5.5.4-1. Εμβαδομέτρηση χώρων κτιριακών υποδομών συγκοινωνιακών φορέων μέσω ορθοφωτοχάρτη (ίδια επεξεργασία) 125

Σχήμα 5.5.4-2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα βάσει του ενεργειακού μείγματος 127

Σχήμα 6.1-1. - Ποσοστό του πληθυσμού που είναι ευχαριστημένο με τις δημόσιες συγκοινωνίες στην πόλη του 132

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.2-1. Τυπικοί στόχοι που καθορίζονται κατά τον συγκοινωνιακού σχεδιασμού 10
Πίνακας 2.2-2 Συσχέτιση πολιτικών μεταφορών και μορφών αστικής ανάπτυξης..... 11
Πίνακας 2.3.1-1. Τυπικές χωρητικότητες αστικών λεωφορείων 14
Πίνακας 2.3.2-1. Βασικές διαφορές κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ανάμεσα στο ελαφρύ και βαρύ μετρό..... 26
Πίνακας 2.4.1-1. Καταναλισκόμενη ενέργεια για ένα επιβατοχιλιόμετρο από διαφορετικά μέσα μεταφοράς..... 31
Πίνακας 3.3.4-1. Πρότυπα εκπομπών ΕΕ για βαρέα οχήματα (diesel): Δοκιμή σταθερού φορτίου 58
Πίνακας 3.3.4-2. Πρότυπα εκπομπών ΕΕ για βαρέα οχήματα με κινητήρες CI (diesel) και PI: Μεταβλητή δοκιμή 59
Πίνακας 3.3.4-3. Περίοδοι αντοχής εκπομπών..... 60
Πίνακας 3.3.5-1. Κύριες διαφορές των μπαταριών και των υπερπυκνωτών 62
Πίνακας 3.4.1-1: Απόδοση ηλιακών κυψελών πυριτίου (2020)..... 67
Πίνακας 4.1-1. Παραδείγματα εφαρμογών Φ/Β σε εγκαταστάσεις συγκοινωνιακών υποδομών 74
Πίνακας 5.1.2-1. Διαχρονική εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής 1971-2011 84
Πίνακας 5.1.2-2. Διαχρονική εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής 84
Πίνακας 5.2.2-1. Οι 25 συνολικά γραμμές τρόλλεϋ στην Αθήνα 91
Πίνακας 5.2.2-2. Συγκεντρωτικός πίνακας μήκους δικτύων σταθερής τροχιάς της ΣΤΑ.ΣΥ. 94
Πίνακας 5.2.4-1. Τροχαίο υλικό Ο.ΣΥ. Α.Ε. – Λεωφορεία για τα έτη 2021-2022..... 101
Πίνακας 5.2.4-2. Τροχαίο υλικό Ο.ΣΥ. Α.Ε. – Ηλεκτροκίνητα Λεωφορεία για τα έτη 2021-2022 . 103
Πίνακας 5.2.4-3. Σύνολο τροχαίου υλικού εντός περιοχής ευθύνης ΟΑΣΑ..... 103
Πίνακας 5.2.4-4. Τροχαίο υλικό ΣΤΑ.ΣΥ. Α.Ε. 105
Πίνακας 5.2.6-1.Παραγόμενο συγκοινωνιακό έργο (χιλ. (10^3) οχηματοχιλιόμετρα) 107
Πίνακας 5.2.6-2. Συγκοινωνιακό έργο Ο.ΣΥ. 2017-2020 – Θερμικά λεωφορεία (Καθημερινή ημέρα) 108
Πίνακας 5.2.6-3. Συγκοινωνιακό έργο Ο.ΣΥ. 2015-2020 – Ηλεκτροκίνητα λεωφορεία (τρόλλεϋ) 108
Πίνακας 5.2.6-4. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 - Γραμμής 1 (ΗΣΑΠ)..... 108
Πίνακας 5.2.6-5. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 - Γραμμών 2&3 (Μετρό) 109
Πίνακας 5.2.6-6. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 Γραμμών ΤΡΑΜ 109
Πίνακας 5.2.6-7. Στοιχεία έκδοσης προσωποποιημένων καρτών 2020 110

Πίνακας 5.5.3-1. Εφαρμογή σε χώρο στάθμευσης 123
Πίνακας 5.5.4-1. Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων μελέτης 126
Πίνακας 5.5.4-2. Σενάρια εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων σε οροφές κτιρίων και στέγαστρα αμαξοστασίων συγκοινωνιών 128
Πίνακας 6.2-1. Συγκεντρωτική προβολή προτεινόμενων δράσεων και παρεμβάσεων για την βιώσιμη αστική κινητικότητα 134

Συντομογραφίες

ΑΜΕΛ	Αττικό Μετρό Εταιρεία Λειτουργίας Α.Ε.
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣ	Αμαξοστάσιο/α
ΑΣΣΚ	Αυτόματο Σύστημα Συλλογής Κομίστρου
ΕΑΣ	Εταιρεία Αστικών Συγκοινωνιών
ΕΘΕΛ	Εταιρεία Θερμικών Λεωφορείων Α.Ε.
ΕΛΒΟ	Ελληνική Βιομηχανία Οχημάτων
ΕΠΗΟ	Ελαφρά Προσωπικά Ηλεκτρικά Οχήματα
ΗΕΜ	Ηλεκτρική Εταιρεία Μεταφορών
ΗΛΠΑΠ	Ηλεκτροκίνητα Λεωφορεία Περιοχής Αθηνών Πειραιώς Α.Ε.
ΗΣΑΠ	Ηλεκτρικός Σιδηρόδρομος Αθηνών Πειραιώς Α.Ε.
ΚΤΕΛ	Κοινά Ταμεία Εισπράξεων Λεωφορείων
ΜΣΤ	Μέσα Σταθερής Τροχιάς
ΝΠΔΔ	Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου
ΟΑΣΑ	Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αθήνας Α.Ε.
ΟΣΥ	Οδικές Συγκοινωνίες Α.Ε.
ΠΔ	Προεδρικό Διάταγμα
ΠΕ	Περιφερειακή Ενότητα
ΡΣΑ	Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας
ΣΑΠ	Σιδηρόδρομοι Αθηνών Πειραιώς
ΣΒΑΚ	Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας
ΣΟΑ	Σχέδιο Ολοκληρωμένης Ανάπτυξης
ΣΣ	Σιδηροδρομικός Σταθμός
ΣΤΑΣΥ	Σταθερές Συγκοινωνίες Α.Ε.
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως

Διεθνής ορολογία σχετική με οχήματα

ICE	Internal Combustion Engine
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle
HEV	Hybrid Electric Vehicle
BEV	Battery Electric Vehicle
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
OESS	Onboard Energy Storage Systems

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της εργασίας

Η ανάγκη του ανθρώπου να μεταφέρεται και να ταξιδεύει είναι στοιχείο του πολιτισμού και της συνύπαρξης σε μια ενιαία κοινωνία. Η εξάπλωση των μεταφορών ιστορικά συνάδει με την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη του ανθρώπου. Ένα από τα κυρίαρχα αστικά φαινόμενα, που εμφανίζεται κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες, από τα μέσα του περασμένου αιώνα η αστικοποίηση και η συγκέντρωση των πληθυσμών. Κατά το φαινόμενο αυτό με σταθερό ρυθμό τα όρια μιας πόλης συνεχώς επεκτείνονται απορροφώντας την γύρω από αυτήν ύπαιθρο με συνεχή δόμηση με τρόπους που είναι δύσκολο να ελεγχθούν.

Η εξάπλωση αυτή και η γιγάντωση σε πληθυσμό δημιουργεί και την αυξημένη ανάγκη για μεγαλύτερης απόστασης μεταφορές για την εκτέλεση καθημερινών κοινωνικών υποχρεώσεων. Η συνεχής αστικοποίηση και η εξάπλωση των πόλεων έχει δημιουργήσει μια διαχρονικά υπερβολική χρήση των ιδιωτικών οδικών μέσων στις ανεπτυγμένες χώρες που σταδιακά έχει οδηγήσει στο να καταστήσει την μετακίνηση μια διαδικασία χρονοβόρα και ιδιαίτερα ρυπογόνα. Καθώς τα όρια της πόλης μεγαλώνουν η ανάγκη για αποτελεσματική μαζική συγκοινωνία είναι επιτακτική.

Με κύριο άξονα την μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, που έχουν προκύψει από την συγκεντρωμένη ανθρώπινη δραστηριότητα σε συνδυασμό με τις συνεχόμενες αυξήσεις στα κόστη ενέργειας αλλά και καυσίμων δημιουργείται πιο έντονη από ποτέ η ανάγκη της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο αστικό περιβάλλον περιορίζοντας την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και την συνεπαγόμενη ρύπανση στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή «πράσινες» μορφές ενέργειας που έχουν το μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος (υψηλό συντελεστή απόδοσης) σε πιθανή εκμετάλλευση είναι η υδραυλική, η αιολική και η ηλιακή. Είναι προφανές ωστόσο ότι δεν μπορούμε να εγκαταστήσουμε ανεμογεννήτριες και υδροηλεκτρικούς σταθμούς εντός των ορίων μιας πόλης, συνεπώς ο τρόπος να γίνουν οι πόλεις και οι μεταφορές πιο «πράσινες» είναι η σταδιακή σύνδεση τους στο ηλεκτρικό δίκτυο παράλληλα με την αύξηση της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία μελετά πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν (άμεσα ή έμμεσα) να ενσωματωθούν στον αστικό συγκοινωνιακό σχεδιασμό και κατά συνέπεια στις ίδιες τις συγκοινωνίες. Γίνεται μια προσπάθεια σφαιρικής προσέγγισης και συνοπτικής παρουσίασης όλων των μορφών μεταφοράς που συγκροτούν ένα σύστημα συγκοινωνιών μιας πόλης και των εξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν τον εξηλεκτρισμό των μεταφορών και κατ' επέκταση και των συγκοινωνιών. Η ενσωμάτωση λύσεων που θα μειώσουν σημαντικά τις καταναλώσεις μας σε καύσιμα έχει πολλαπλά οφέλη, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής και της ατμόσφαιρας, αλλάζοντας την εικόνα του αστικού περιβάλλοντος και· κάνοντας την παραδοχή ότι το ποσοστό χρήσης των συγκοινωνιών αυξάνεται, μειώνοντας τους νεκρούς χρόνους που περνά ο πολίτης καθημερινά στις μετακινήσεις του λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Στο τελευταίο μέρος γίνεται περιπτωσιακή μελέτη της Αθήνας. Περιγράφεται το σύστημα αστικών συγκοινωνιών και οι επιμέρους λειτουργίες του και γίνονται προτάσεις πως αυτό μπορεί να βελτιωθεί ενσωματώνοντας την ηλεκτροκίνηση και ταυτόχρονα να εξοικονομήσει πόρους εκμεταλλευόμενο την ηλιακή ενέργεια εντός του περιβάλλοντος της πόλης.

1.2. Διάρθρωση της εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή και η παρουσίαση του σκοπού. Εξετάζεται ο ρόλος των μετακινήσεων στην ζωή του σύγχρονου ανθρώπου καθώς και η ανάγκη εκσυγχρονισμού των μορφών μετακίνησης που απορρέει από την συνεχή αύξηση του φαινομένου της αστικοποίησης αλλά και της μέχρι σήμερα πλήρως ενεργοβόρας φιλοσοφίας της κοινωνίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές του αστικού συγκοινωνιακού σχεδιασμού καθώς και πως δομείται ένα συγκοινωνιακό πλέγμα. Ακόμα παρουσιάζονται τα βασικά επιχειρησιακά και τεχνικά χαρακτηριστικά των μέσων που εκτελούν αστικές συγκοινωνίες, τα μη μηχανοκίνητα μέσα που συμμετέχουν στις μεταφορές μικρών αποστάσεων στην πόλη και οι κατευθύνσεις που δίνονται από τον σχεδιασμό για την μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη κινητικότητα στον αστικό χώρο.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαθέσιμες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, που έχουν εφαρμογή στον συγκοινωνιακό σχεδιασμό, τόσο προς την κατεύθυνση της αναβάθμισης των οχημάτων όσο και των υποδομών. Ακόμα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με την παραγωγή και χρήση ενέργειας στην Ελλάδα καθώς και το εξωτερικό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζονται σενάρια συμβατότητας των διαφόρων εναλλακτικών ως προς την δυνατότητα ενσωμάτωσης τους στις αστικές μετακινήσεις και στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν η περίπτωση της Αθήνας. Δίνεται βαρύτητα στην ανάλυση του συγκοινωνιακού πλέγματος της πόλης. Αφού αναλυθεί η υφιστάμενη κατάσταση προτείνονται συγκεκριμένες παρεμβάσεις που θα μπορούσαν σε συνδυασμό με την δημιουργία ενός σχεδίου εξυγίανσης να αναβαθμίσουν την προσφερόμενη συγκοινωνία. Γίνεται μια επιμέρους μελέτη κάποιων καλών παραδειγμάτων άλλων πόλεων και των πολιτικών που ακολουθούν, προκειμένου να διαπιστωθεί που αυτό υστερεί συγκριτικά με τα αντίστοιχα συστήματα και προτείνονται τρόποι που θα αναβαθμίσουν την εξυπηρέτηση και την απόδοση του, ενώ τέλος προτείνονται κάποιες παρεμβάσεις χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που σταδιακά μπορούν να ενσωματωθούν και να προσφέρουν ένα ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος.

1.3. Ο ρόλος των μετακινήσεων στον σύγχρονο αστικό και περιαστικό χώρο

Η δυνατότητα της μεταφοράς από ένα σημείο σε ένα άλλο διευκολύνει ένα ευρύ φάσμα ευκαιριών για ένα άτομο για να υλοποιήσει τις επιθυμητές δραστηριότητες, είτε αυτό είναι εργασία είτε διασκέδαση. Αν και η μεταφορά δεν αποτελεί αυτοσκοπό, είναι το μέσο για την επίτευξη καθημερινών στόχων και πολλών διαφορετικών σκοπών. Η αποτελεσματική μεταφορά έχει ως αποτέλεσμα οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά πλεονεκτήματα. Η αστική οικονομία εξαρτάται άμεσα από τα επίπεδα κινητικότητας των κατοίκων της πόλης αλλά και των επισκεπτών. Το μέσο για την εξασφάλιση της κινητικότητας σε μια πόλη είναι οι δημόσιες μεταφορές.

Πολλές φορές γίνεται το λάθος και θεωρείται ότι οι δημόσιες συγκοινωνίες είναι για να εξυπηρετούν μόνο όσους δεν έχουν ιδιωτικό αυτοκίνητο ή δεν έχουν την δυνατότητα να το κυκλοφορούν καθημερινά. Η συγκεκριμένη αντίληψη εσφαλμένα έχει εντυπωθεί σε ένα μέρος των κατοίκων των ανεπτυγμένων χωρών ενώ στην πραγματικότητα πρόκειται για μια ψευδαίσθηση που δημιουργήθηκε λόγω του ανεπαρκούς συστήματος δημόσιων μεταφορών σε πολλές πόλεις την περίοδο που αυτές αναπτύχθηκαν απότομα και χωρίς κατάλληλο σχεδιασμό, με αποτέλεσμα σε αυτές να σημειωθεί ταχεία αύξηση στον αριθμό των ιδιωτικών οχημάτων.

Η παραπάνω μορφή ανάπτυξης στις περισσότερες πόλεις έχει οδηγήσει στον πολλαπλασιασμό των οχημάτων στους δρόμους, με γνωστά αποτελέσματα: συμφόρηση, χαμηλές ταχύτητες και υψηλή ατμοσφαιρική όσο και οπτική ρύπανση καθώς και την δημιουργία ενός περιβάλλοντος εχθρικού προς τον πεζό και τον ποδηλάτη.

Το πρόβλημα απαιτεί σωστή μελέτη της ζήτησης και της προσφοράς μεταφορών και σχεδιασμό για ένα βέλτιστο συνδυασμό μεταφορών και συστημάτων για διαφορετικές πόλεις. Τα προβλήματα μεταφοράς και συγκοινωνιακού σχεδιασμού απαιτούν καλή κατανόηση του θέματος από όσους εμπλέκονται στο σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη διαχείριση συστημάτων επιφανειακών όσο και υπόγειων μεταφορών, ιδίως όμως την καταγραφή και κατανόηση όλων των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των διαφόρων κέντρων μια πόλης και κατά περίπτωση τις πιο δημοφιλείς μετακινήσεις εντός του αστικού περιβάλλοντος.

Ο ρόλος της δημόσιας συγκοινωνίας είναι κρίσιμος τόσο σε μια αναπτυσσόμενη πόλη όσο και σε μια ήδη ανεπτυγμένη. Είναι ένα δημόσιο αγαθό η λειτουργία του οποίου διαμορφώνει την συλλογική συνείδηση, εντυπώνει καθημερινά τρόπους συμπεριφοράς και κοινωνικής οργάνωσης που είναι η αφετηρία για την αναδιοργάνωση του αστικού χώρου και την παράλληλη υποστήριξη όλων των ζωτικών κοινωνικών λειτουργιών.

Τα τελευταία χρόνια έρχεται στο προσκήνιο πιο έντονα και το ζήτημα της προστασίας του περιβάλλοντος. Το μεγαλύτερο μέρος του ανθρώπινου πληθυσμού παγκοσμίως έχει συγκεντρωθεί σε μικρότερες ή μεγαλύτερες πόλεις. Οι πόλεις αυτές με τους όρους ανάπτυξης του περασμένου αιώνα εξαπλώθηκαν ραγδαία με πολλούς από τους κατοίκους που μετακόμιζαν σε αυτές να μην έχουν την απαραίτητη συλλογική συνείδηση με αποτέλεσμα να δρουν χωρίς συλλογικό κριτήριο σε πολλούς τομείς και μέσα σε ελάχιστα χρόνια η ρύπανση στον αστικό χώρο όσο και περιμετρικά αυτού να εξελίσσεται εκθετικά. Η ευαισθητοποίηση προς το περιβάλλον ήρθε αφού πλέον αυτό έχει υποβαθμιστεί ενώ οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής έχουν φτάσει προ των πυλών.

1.4. Η ανάγκη εκσυγχρονισμού των παραδοσιακών μέσων μετακίνησης

Σύμφωνα με υπολογισμούς του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), το 2010 το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού ζούσε σε αστικές περιοχές, ενώ υπολογίζεται ότι το 2050 περίπου το 70% του συνολικού πληθυσμού του πλανήτη θα κατοικεί σε αστικές περιοχές. Η τάση όλων των χωρών του κόσμου για αστικοποίηση είναι ανοδική, με πιο έντονη την κλίση της σχετικής καμπύλης στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες.

Η διαδικασία της αστικοποίησης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ιστορία των πόλεων, ενώ ως οικονομικό και κοινωνικό φαινόμενο έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις, ιδιαίτερα μετά την βιομηχανική επανάσταση όπου η πόλεις ξεκίνησαν να παίρνουν την σημερινή τους μορφή. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η συγκέντρωση μεγάλου αριθμού ανθρώπων και οικονομικών δραστηριοτήτων σε περιορισμένο αστικό χώρο.

Η εθνική πολιτική αστικών μεταφορών πρέπει να διαμορφώνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να διασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ των οικονομικά αποδοτικών και των φιλικών προς το περιβάλλον συστημάτων μεταφορών. Η διεξαγωγή ερευνών πεδίου και η συλλογή δεδομένων και προτιμήσεων του κοινού είναι απαραίτητη προϋπόθεση πριν την έναρξη οποιασδήποτε διαδικασίας σχεδιασμού.

Είναι συνεπώς εύκολο μέσω μιας απλής αναγωγής του πληθυσμού και των εκπομπών στην ατμόσφαιρα να οδηγηθεί κανείς στο συμπέρασμα πως τα παραδοσιακά μέσα μετακίνησης πρέπει να μετασχηματιστούν σε κάτι νέο για να αντισταθμίσουν την συνεχή αύξηση τους. Θα πρέπει να παραδεχθούμε ότι οι πόλεις λόγω των κοινωνικών παροχών και ευκολιών που προσφέρουν θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται ακτινικά απορροφώντας και ενσωματώνοντας τους γειτονικούς οικισμούς αλλά θα πρέπει η πόλη να μπορεί να προσφέρει τα κατάλληλα επίπεδα υπηρεσιών ώστε τα νέα της τμήματα να μην χαρακτηρίζονται από διαφορετική ποιότητα διαβίωσης.

Προς αυτή την κατεύθυνση, στην περίπτωση του ανασχεδιασμού και της βελτίωσης των παρεχόμενων υπηρεσιών & υποδομών της πόλης είναι πολύ σημαντική η ακρόαση των προτάσεων και των εμπειριών των πολιτών ώστε στην συνέχεια να εξεταστεί αν αυτές μπορούν να συνδυαστούν με τις τεχνοκρατικές μελέτες είτε αυτές αφορούν την επέκταση του συγκοινωνιακού δικτύου είτε άλλες παρεμβάσεις που ενισχύουν την βιώσιμη κινητικότητα.

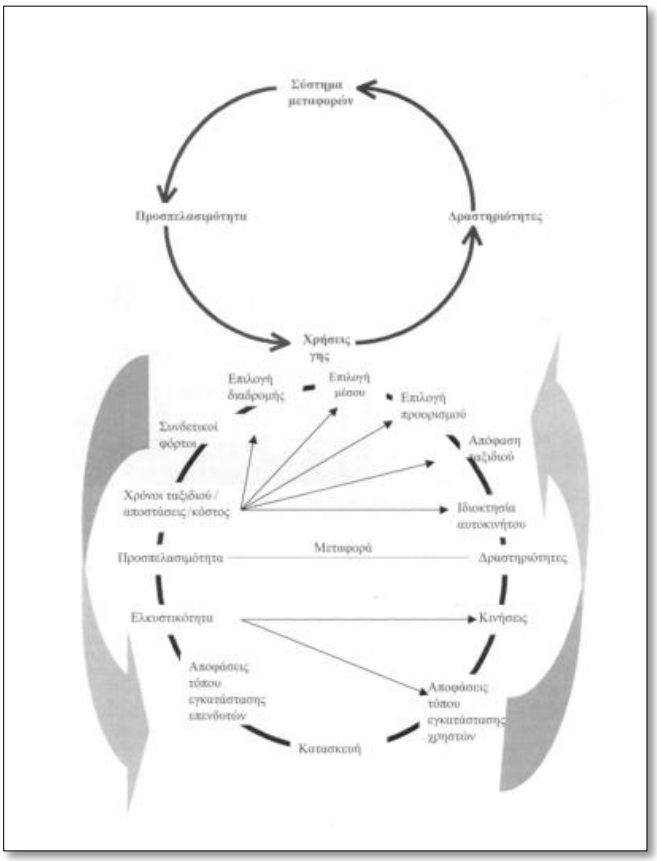
Κεφάλαιο 2: Αστικός συγκοινωνιακός σχεδιασμός

2.1. Βασικές αρχές

Ως σύστημα μεταφοράς ορίζεται το σύνολο των υποδομών και των μέσων μεταφοράς που υποστηρίζουν τις αστικές μετακινήσεις επιβατών και εμπορευμάτων. Εκφράζει γενικά το επίπεδο προσβασιμότητας και αποτελείται από υποδομές που παρέχουν ένα επίπεδο προσφοράς. Για παράδειγμα, τα μοντέλα διαχείρισης κυκλοφορίας λαμβάνουν μια υπάρχουσα δομή χωρικών αλληλεπιδράσεων και τις διοχετεύουν μέσα σε ένα δίκτυο μεταφορών. Κατά συνέπεια, οι εννοιολογικές ροές μετατρέπονται σε φυσική πραγματικότητα.

Οι χωρικές αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά του συστήματος μεταφορών καθώς και τους παράγοντες χρήσης γης που δημιουργούν ανάγκες και προσελκύουν κινήσεις. Η υπόθεση είναι ότι οι ροές μεταξύ των τοποθεσιών σχετίζονται κυρίως με μια συνάρτηση χωρικής αντίστασης. Πολλά μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης βασίζονται σε παραμέτρους απόστασης-απόσβεσης που αντιστοιχίζουν κάθε βήμα απόστασης σε μια αναλογική μείωση της έντασης των αλληλεπιδράσεων.

Στην σύγχρονη πόλη με τον όρο «κυκλοφοριακός σχεδιασμός» εννοείται ο σχεδιασμός των λειτουργιών της πόλης σε δεδομένες υποδομές, ενώ με τον όρο «συγκοινωνιακός σχεδιασμός» εννοείται ο «βαρύτερος» σχεδιασμός της λειτουργίας της πόλης, που περιλαμβάνει και σχεδιασμό υποδομών και παρεμβαίνει σε χρήσεις γης και τον ευρύτερο πολεοδομικό σχεδιασμό βάσει των χωρικών αλληλεπιδράσεων που θέλει να εισάγει ή να μεταβάλει.



Σχήμα 2.1-1. Κύκλος ανάδρασης μεταξύ χρήσεων γης και μεταφορών

[Πηγή: (Βλαστός & Μηλάκης, 2006) στο (Σιόλας, et al., 2015)]

«Κάθε δραστηριότητα είναι ένας πόλος που είτε ακτινοβολεί είτε προσελκύει μετακινήσεις. Στον κύκλο ανάδρασης φαίνεται η αλληλεπίδραση του συστήματος χρήσεων γης και μεταφορών. Η κατανομή των χρήσεων γης στο χώρο της πόλης είναι προφανές πως διαμορφώνει τη γεωγραφία των μετακινήσεων, διότι εννοείται ότι κάθε μετακίνηση έχει μια προέλευση και έναν προορισμό που, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, βρίσκονται στο

εσωτερικό της πόλης. Η πολιτική σύμφωνα με την οποία κατανέμονται οι χρήσεις γης επηρεάζει τη μορφή της πόλης, αλλά και τις επιλογές μετακίνησης.» (Σιόλας, et al., 2015)

2.2. Στοιχεία που συνθέτουν ένα συγκοινωνιακό σύστημα

Ο σχεδιασμός του συγκοινωνιακού συστήματος

Οι πολιτικές και οι αποφάσεις που αφορούν της συγκοινωνίες και τα μέσα μεταφοράς είναι συχνά μη αναστρέψιμες, ενώ μια εσφαλμένη πορεία μπορεί να μην φανεί έως ότου έχει ήδη επηρεάσει τον τρόπο ανάπτυξης και κατά συνέπεια την μελλοντική μορφή της πόλης. Οι αποφάσεις που ακολουθούνται από την χάραξη πολιτικής για τη χρήση των δημόσιων συγκοινωνιακών κέντρων και για την παράλληλη ανάπτυξη της αστικής περιοχής και των μεταφορών θα πρέπει να προσεγγίζονται με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε οι εναλλακτικές λύσεις να μελετώνται προσεκτικά από μια διεπιστημονική ομάδα ως μέρος του αστικού, χωρικού και πολεοδομικού σχεδιασμού.

Η διεπιστημονική ομάδα πρέπει να αποτελείται από ειδικούς από διαφορετικά επαγγελματικά πεδία όπως τα οικονομικά, τις κοινωνικές επιστήμες, τους εμπλεκόμενους φορείς της διοίκησης, οι οργανισμούς του ιδιωτικού τομέα, επιστήμονες της τεχνολογίας, χωροτάκτες και πολεοδόμους, εκτός από τους ειδικούς στον συγκοινωνιακό σχεδιασμό. Κάθε τομέας προσφέρει στο συνολικό εγχείρημα το δικό του ειδικό πεδίο εμπειρογνωμοσύνης και αλληλεπιδρά με άλλους τομείς μέσω συζήτησης των επιπτώσεων, έτσι ώστε μια σύνθεση όλων των παραγόντων να μπορεί να αποφέρει μια ενιαία συνεκτική αναπτυξιακή πρόταση.

Κάθε φορά που σχεδιάζεται μια σημαντική μεταφορική εγκατάσταση η υπηρεσία, ο σχεδιαστής πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους διάφορους φυσικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς, πολιτικούς, ανθρώπινους, αισθητικούς και τεχνολογικούς παράγοντες που συναντώνται. Για να βελτιώσει σημαντικά τη φυσική ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος, ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη τόσο την ορατή μορφή του όσο και τις κινητήριες δυνάμεις και τις πιέσεις που θα επιφέρει η κρυφές δυνάμεις που συνοδεύουν την αλλαγή. Οι δημόσιες πολιτικές για τις αστικές μεταφορές θα πρέπει να στοχεύουν στην ελευθερία επιλογής τρόπου λειτουργίας για τον πολίτη, στην κοινωνική ισότητα και στη διατήρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας σε αποδεκτό επίπεδο.

Η δομή του συστήματος μεταφορών

Ο όρος «συγκοινωνία» αναφέρεται στις αστικές δημόσιες συγκοινωνίες με έμφαση στη χωρητικότητα και τη συχνότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας. Η μαζική μεταφορά είναι η διαμετακόμιση με έμφαση στην υψηλή χωρητικότητα και την ενεργειακή απόδοση, π.χ. λεωφορεία. Η ταχεία μεταφορά δίνει έμφαση στην υψηλή ταχύτητα και τις μεγαλύτερες αποστάσεις.

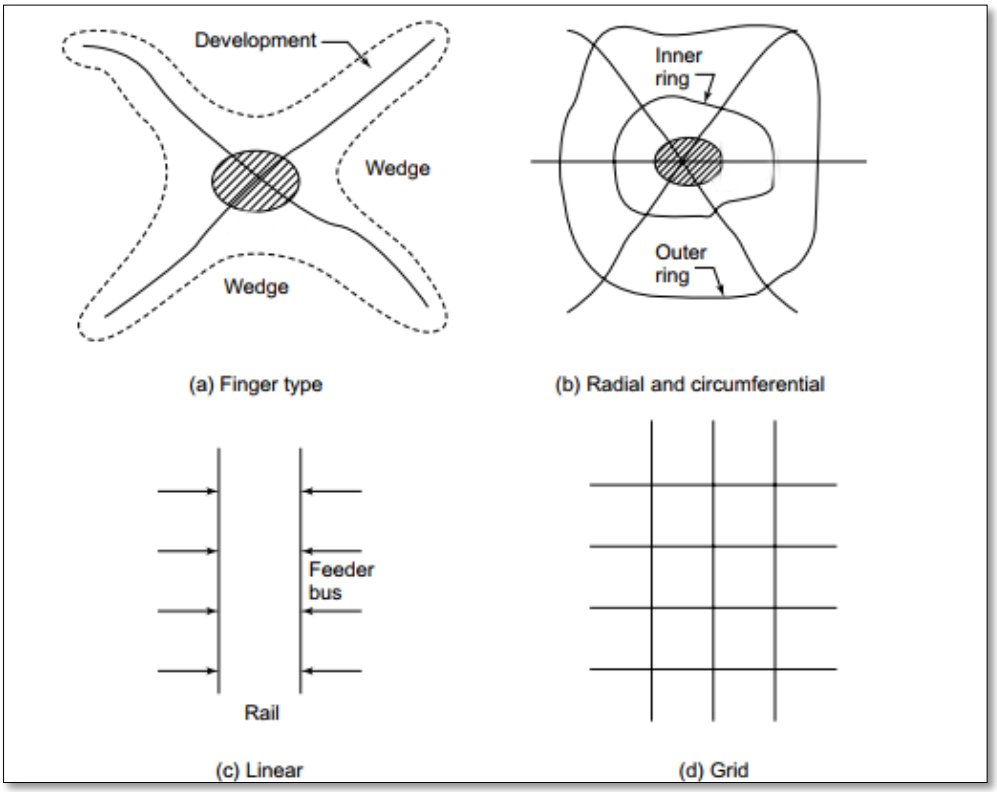
Όπως περιγράφονται και στο **Σχήμα 2.2-1**, τα διαφορετικά μοτίβα των συγκοινωνιακών διαδρόμων μπορεί να είναι:

(α) Σύστημα δακτύλων - ακτινικά (finger type)

(β) Ακτινικοί και περιμετρικοί (Radial – Circumferential)

(γ) Γραμμικές (linear)

(δ) Σε πλέγμα (Grid)



Σχήμα 2.2-1. Διαφορετικές διατάξεις/μοτίβα που εφαρμόζονται κατά τον σχεδιασμό συγκοινωνιακών διαδρομών

Το σύστημα δακτύλων υποδηλώνει το σχηματισμό μεγάλων διαδρόμων κυκλοφορίας (πιθανώς σιδηροδρομικών) ακτινικά από το κέντρο της πόλης και σε μεγάλη απόσταση και ουσιαστικά καθοδηγεί την ανάπτυξη κατά μήκος αυτών των διαδρόμων ενώ στα ενδιάμεσα τμήματα σε συνεργασία με τον πολεοδομικό σχεδιασμό κρατά πιο ήπια μορφή ανάπτυξης. Το πιο χαρακτηριστικό σύστημα δακτύλων είναι αυτό της Κοπεγχάγης (**Σχήμα 2.2-2**).

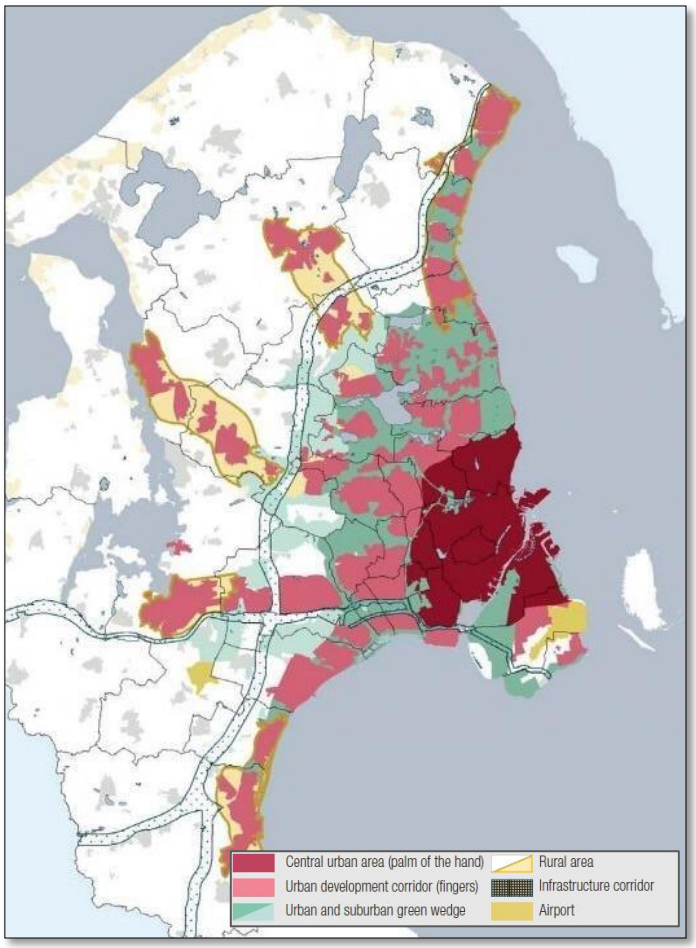
Οι περιμετρικές διαδρομές συνήθως αποσκοπούν στην αποσυμφόρηση της κεντρικής και την δυνατότητα γρήγορης μετάβασης σε απομακρυσμένα σημεία. Οι ακτινικές & γραμμικές διαδρομές καλύπτουν από πολλές πλευρές την είσοδο στο κέντρο της πόλης ενώ οι περιοχές ανάμεσα τους καλύπτονται με τις διαδρομές πλέγματος. Στις πιο πολλές πόλεις που έχουν αναπτυχθεί από παλαιότερα χρόνια ο σχεδιασμός στον στενό αστικό πυρήνα έπεται της ανάπτυξης της πόλης όποτε καμία δεν ανταποκρίνεται σαφώς στα παραπάνω συστήματα.

Η συγκοινωνιακή ζήτηση κορυφώνεται σε συγκεκριμένους χρόνους που σχετίζονται με τα μοτίβα δραστηριοτήτων της κοινωνίας. Η κορύφωση της ζήτησης μπορεί να είναι τόσο χρονική όσο και χωρική.

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως π.χ. μετάβαση στην εργασία ή στο σχολείο, η ζήτηση παρουσιάζει μια ορισμένη κανονικότητα που επιτρέπει λεπτομερείς εκτιμήσεις και παραδοχές. έκανε. Σε άλλες περιπτώσεις, π.χ. διαδρομές για κοινωνικούς και ψυχαγωγικούς σκοπούς υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα.

Και στις τελευταίες περιπτώσεις σίγουρα μπορεί να γίνει μια πρόβλεψη βάσει των εποχικών τάσεων, ωστόσο επειδή θα είναι χαμηλότερης αξιοπιστίας θα πρέπει να επιβεβαιώνεται με παρακολούθηση και επαλήθευση ώστε να διορθώνεται η ακρίβεια του μοντέλου της πρόβλεψης (π.χ. με αυτοματοποιημένη ηλεκτρονική καταγραφή επιβίβασης-αποβίβασης κατά μήκος μιας διαδρομής).

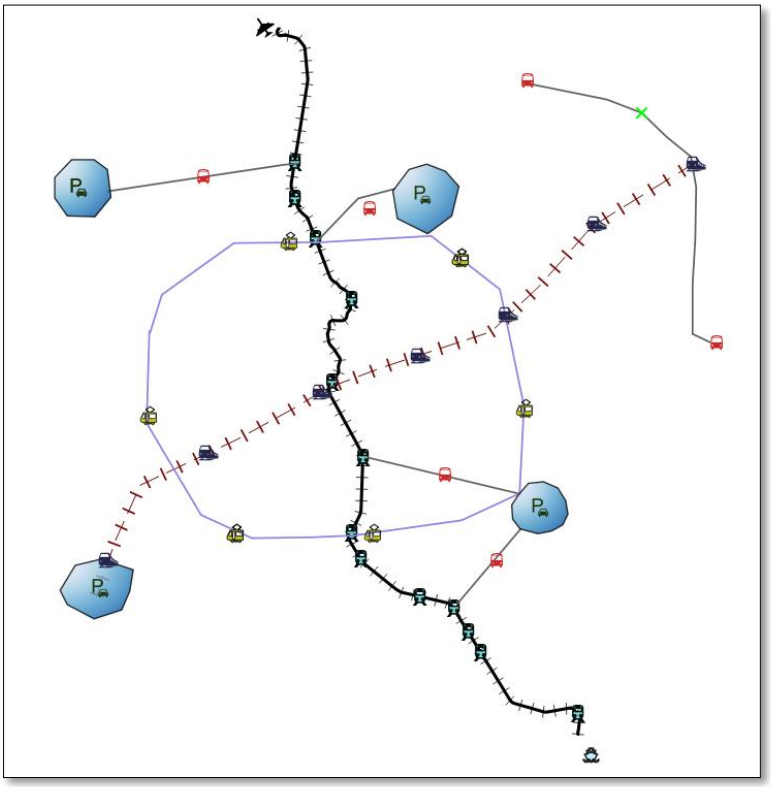
Η συγκοινωνία μπορεί επίσης να ταξινομηθεί ως προς το μέσο που την εκτελεί: (α) με λεωφορείο, και (β) σιδηροδρομική μεταφορά (με τις διάφορες εναλλακτικές που αυτή υλοποιείται όπως αναλύονται στην ενότητα 2.4.2)



Σχήμα 2.2-2 Η αστική εξάπλωση σε μορφή παλάμης στην Κοπεγχάγη

[Πηγή: Ministry of Economy (Denmark), Finger Plan 2019]

Ένα υποθετικό ολοκληρωμένο σύστημα δημόσιων συγκοινωνιών που περιλαμβάνει διαφορετικούς τρόπους μετακίνησης σε μια αστική περιοχή που προσφέρει γραμμικές και ακτινικές διαδρομές, περιφερειακή περιμετρική και τροφοδοτικές με αφετηρίες οργανωμένους χώρους στάθμευσης φαίνεται στο **Σχήμα 2.2-3** που ακολουθεί.



Σχήμα 2.2-3. Σχηματική απεικόνιση της κάλυψης ενός συστήματος δημόσιων συγκοινωνιών
[Πηγή: Ίδια επεξεργασία]

Το συνολικό σύστημα μαζικής μεταφοράς μπορεί να αποτελείται από ένα σύστημα περιφερειακής κυκλοφορίας, ένα ή παραπάνω συστήματα τροφοδοσίας και ένα γραμμικό σύστημα μεταφοράς. Η συγκοινωνία προσφέρεται ως μίξη των τριών προσεγγίσεων κάλυψης μιας περιοχής στον καλύτερο δυνατό συνδυασμό. Τα τροφοδοτικά συστήματα συνήθως υλοποιούμενα από λεωφορεία μεταφέρουν τους επιβάτες από της περιοχές που διαμένουν ή σταθμεύουν στον πλησιέστερο σταθμό Μέσων Σταθερής Τροχιάς (ΜΣΤ).

Οι επιβάτες επιλέγουν τον τρόπο μεταφοράς και την κατηγορία εξυπηρέτησης. Η επιλογή τους επηρεάζεται κυρίως από πέντε παράγοντες:

- (α) το κόστος ταξιδιού
- (β) την αξιοπιστία της υπηρεσίας
- (γ) το χρόνο ταξιδιού
- (δ) την ευκολία πρόσβασης
- (ε) την άνεση ταξιδιού

Για πελάτες από ομάδες χαμηλού εισοδήματος, το κόστος παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην τελική επιλογή ιδίως αν η ανάγκη μετακίνησης είναι τακτική.

Η διαδικασία του σχεδιασμού περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Αναγνώριση του προβλήματος
- Συλλογή και ανάλυση των δεδομένων
- Μελέτη, δημιουργία μοντέλου και προσομοίωσης του συστήματος
- Πρόβλεψη των απαιτήσεων και της μελλοντικής εξάπλωσης.
- Σχεδιασμός και αξιολόγηση των εναλλακτικών συμπεριλαμβανομένης της αλληλεπίδρασης με τα ενδιαφερόμενα μέρηstake holders
- Οριστικοποίηση σχεδιασμού, επιλογή εγκαταστάσεων, και υλοποίηση & παρακολούθηση.

Στον **Πίνακα 2.2-1** που ακολουθεί συνοψίζονται οι μακροπρόθεσμοι στόχοι (όραμα) που τίθενται κατά την διάρκεια του σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου συγκοινωνιακού συστήματος καθώς και οι ενδιάμεσοι στόχοι – ορόσημα που πρέπει να επιτευχθούν για να οδηγήσουν μακροπρόθεσμα στην εκπλήρωση των κύριων.

Πίνακας 2.2-1. Τυπικοί στόχοι που καθορίζονται κατά τον συγκοινωνιακού σχεδιασμού

Α/Α	Μακροπρόθεσμοι γενικοί στόχοι	Επιμέρους στόχοι
1.	Παροχή μέγιστης ατομικής κινητικότητας	➢ Παροχή αξιόπιστων, οικονομικά προσιτών και ασφαλών δημόσιων μεταφορών σε όλους τους πολίτες και ιδιαίτερα στις ασθενέστερες κοινωνικές ομάδες, τους ηλικιωμένους και τα παιδιά. ➢ Βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης των αστικών μετακινήσεων ➢ Δημιουργία υποδομών για ποδηλάτες και βελτίωση προσβασιμότητας σε πεζούς
2.	Βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος	➢ Μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαιτίας των οχημάτων. ➢ Ελαχιστοποίηση της αναστάτωσης στις κοινωνικές λειτουργίες και των προβλημάτων λόγω νέων έργων ➢ Αισθητική βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος
3.	Ενίσχυση της οικονομικής απόδοσης των μεταφορών	➢ Αύξηση της μεταφορικής ικανότητας υποδομών, επιβατών και αγαθών ➢ Μείωση του κόστους μετακινήσεων στον τελικό χρήστη ➢ Μείωση του λειτουργικού κόστους στο δημόσιο σύστημα συγκοινωνιών ➢ Μείωση κόστους αστικής μεταφοράς αγαθών

		➢ Μεγιστοποίηση των θετικών επιπτώσεων των αστικών συγκοινωνιών.
4.	Εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων	➢ Μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στις δημόσιες συγκοινωνίες ➢ Μείωση κατανάλωσης καυσίμων σε αστικές διαδρομές
5.	Βελτίωση της οδικής ασφάλειας	➢ Μείωση οδικών ατυχημάτων ➢ Μείωση τραυματισμών ➢ Βελτίωση της προσωπικής ασφάλειας των χρηστών του δρόμου

Το πλέγμα συγκοινωνιών

Αποτέλεσμα της εφαρμογής του συγκοινωνιακού σχεδιασμού είναι η δημιουργία τους λεγόμενου δικτύου (πλέγματος) συγκοινωνιών το οποίο περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς τρόπους μετακίνησης και όλες τις χωρικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Το πόσο πυκνό θα είναι αυτό το δίκτυο στην κάλυψη μιας ή περισσότερων περιοχών τόσο χωρικά όσο και χρονικά (όσον αφορά τις δημόσιες συγκοινωνίες) συνδέεται άμεσα με τις τάσεις ανάπτυξης και την μορφή ανάπτυξης που θα έχουν αυτές οι περιοχές και τελικά με τον τρόπο ανάπτυξης όλης της πόλης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορετικές πολιτικές μεταφορών που επηρεάζουν άμεσα μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα τη μορφή ανάπτυξης των σύγχρονων πόλεων κάνοντας τις συνεκτικές (συγκεντρώνοντας δηλαδή τις κοινωνικές λειτουργίες σε διάφορους πυρήνες) είτε διάχυτες. (Πηγή: Litman T., 2008)

Πίνακας 2.2-2 Συσχέτιση πολιτικών μεταφορών και μορφών αστικής ανάπτυξης

Πολιτικές μεταφορών που ενθαρρύνουν τη διάχυτη ανάπτυξη
Δρόμοι με μεγάλη κυκλοφοριακή ικανότητα και υψηλές ταχύτητες
Μεγάλης χωρητικότητας χώροι στάθμευσης
Δωρεάν ή μικρής χρέωσης στάθμευση
Χαμηλά λειτουργικά κόστη των αυτοκινήτων
Χαμηλής ποιότητας υπηρεσίες Μέσων Μαζικής Μεταφοράς
Ελλιπείς υποδομές για περπάτημα ή ποδηλασία
Μέτρα ήπιας κυκλοφορίας

Βελτιώσεις στις προσβάσεις πεζών, τα πεζοδρόμια και τον αστικό εξοπλισμό

Πολιτικές μεταφορών που ενθαρρύνουν τη συνεκτική ανάπτυξη
Δρόμοι με μικρή κυκλοφοριακή ικανότητα και χαμηλές ταχύτητες
Μειωμένη προσφορά θέσεων στάθμευσης
Διαχείριση και τιμολόγηση της στάθμευσης
Αστικά διόδια και χρέωση της απόσταση μετακίνησης με Ι.Χ. όχημα
Στρατηγικές που ευνοούν τη χρήση Μέσων Μαζικής Μεταφοράς
Βελτίωση υποδομών που αφορούν βιώσιμες μεταφορές (περπάτημα, ποδήλατο)

Ο ρόλος των οχημάτων ΙΧ ως τροφοδοτικά των αστικών συγκοινωνιών

Ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός δεν αποσκοπεί στο να εκτοπίσει πλήρως τα ιδιωτικά οχήματα από τους δρόμους μιας πόλης είτε αυτά είναι δίτροχα είτε τετράτροχα. Ταυτόχρονα όμως με μέτρα και πολιτικές που εφαρμόζονται γίνεται μια προσπάθεια να γίνει αντιληπτό στον πολίτη ότι θα πρέπει να χρησιμοποιεί το όχημα του σε εξαιρετικές περιπτώσεις για τις τυπικές μετακινήσεις του και όχι το αντίστροφο ενώ για αυτούς που βρίσκονται στο μικρό ποσοστό που διανύει μεγάλες αποστάσεις σε καθημερινή βάση λόγω διαμονής εκτός του αστικού ιστού να υιοθετήσουν την τακτική της μετεπιβίβασης στο βολικότερο μέσο για αυτούς πριν φτάσουν σε καταστάσεις συμφόρησης.

Αν και πιο απόλυτο, το αποδοτικότερο μέτρο έχει αποδειχθεί η μείωση των ορίων ταχύτητας σε δρόμους καθώς και η οριοθέτηση λωρίδων αποκλειστικής κυκλοφορίας των ΜΜΜ τόσο στα μητροπολιτικά κέντρα όσο και στα περιφερειακά. Η αύξηση του κόστους των καυσίμων έχει ανακόψει σχετικά την προτίμηση στο ΙΧ όμως η εποχή είναι ιδανική προκειμένου οι συγκοινωνίες να κερδίσουν την εμπιστοσύνη του πολίτη. Ο καθορισμός μιας ζώνης μέτρων που θα έχουν ανταποδοτικά οφέλη και δεν θα δρουν τιμωρητικά όπως π.χ. ένα πρόστιμο για μια παράνομη στάθμευση θα επιφέρουν τελικά την μεταστροφή του πολίτη.

2.3. Το τροχαίο υλικό των συγκοινωνιών δημόσιας χρήσης

2.3.1. Λεωφορεία

Ως συστήματα μεταφοράς λεωφορείων ορίζονται αυτά που εξυπηρετούν σε καθημερινή βάση κατοικημένες περιοχές σε σταθερά δρομολόγια βάσει ενός ενιαίου συστήματος χρέωσης της μετακίνησης. Αν και τα συγκοινωνιακά συστήματα δομούνται από πολλούς τρόπους και μέσα μεταφοράς, το λεωφορείο στατιστικά αποτελεί το κυρίαρχο μέσο για αστικές και προαστιακές διαδρομές μεγαλύτερες των 3 χιλιομέτρων και έως το όριο των 20 χιλιομέτρων. Τα λεωφορεία είναι ένα οικονομικό μέσο μεταφοράς το οποίο προσφέρει ευελιξία και υψηλή προσαρμοστικότητα σε σύγκριση με άλλα μέσα.

Ο σχεδιασμός, η λειτουργία τους και η υλοποίηση είναι σχετικά εύκολη και είναι το μέσο όπου έχουν την μεγαλύτερη συμμετοχή και οι ιδιώτες παγκοσμίως αφού λόγω του χαμηλού σχετικά κόστους υλοποίησης ένα τέτοιο σύστημα έχει μεγάλα περιθώρια κέρδους. Η σωστή όμως ένταξη τους στο αστικό περιβάλλον και ο σχεδιασμός των συσχετίσεων τους με τα άλλα μέσα συγκοινωνίας είναι μια πιο απαιτητική διαδικασία που απαιτεί επισταμένη και συνεχή μελέτη των μεταβολών στις ανάγκες και τις προτιμήσεις των χρηστών.

Ακόμα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην διευκόλυνση της εξυπηρέτησης συγκοινωνιακών κόμβων δια-περιφερειακού χαρακτήρα (λιμένες, σιδηροδρομική μεταφορά, προαστιακός σιδηρόδρομος, αεροδρόμια).

Η συχνότητα διέλευσης ενός λεωφορείου εξαρτάται από τον τύπο της γραμμής που εξυπηρετείται και είναι από διαστήματα 5 λεπτών έως και 1 ώρας. Λόγω της μεικτής κυκλοφορίας με τα άλλα οχήματα, η μέση ταχύτητα ενός λεωφορείου είναι 15-20 km/h ενώ σε ώρες αιχμής και συνθήκες συμφόρησης οι ταχύτητες πέφτουν σημαντικά στο διάστημα 7-15 km/h.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της συγκοινωνίας με λεωφορείο είναι:

- Πολύ μικρός χρόνος ίδρυσης, υλοποίησης και επέκτασης μιας υπηρεσίας
- Προσφέρεται κάλυψη σε πάρα πολλά σημεία που δεν είναι δυνατή με μεγαλύτερα μέσα και εξυπηρετούνται πληθώρα τοπικών μετακινήσεων.
- Το πρόγραμμα δρομολογίων προσαρμόζεται εύκολα σύμφωνα με την ζήτηση
- Οι διαδρομές μπορούν να αλλάζουν ώστε να εξυπηρετούν νέα σημεία ενδιαφέροντος και μια πιο ευρεία γκάμα προορισμών για τον χρήστη. Το μεγαλύτερο κόστος υλοποίησης μιας διαδρομής είναι ανά πάση στιγμή αποσβέσιμο αν αυτή πρέπει να τροποποιηθεί.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μισθωμένα οχήματα για ειδικές διαδρομές από φορείς και συλλογικότητες.
- Μπορούν να καλύψουν πολλές μικρές συγκοινωνιακές ανάγκες με διαφορετικά μοτίβα μετακίνησης σε χαμηλής πληρότητας διαδρομές καθώς χρειάζεται ένας μικρός αριθμός επιβατών για να καλύψει το λειτουργικό κόστος.

Ανάλογα με την κάλυψη της διαδρομής, οι υπηρεσίες λεωφορείων μπορεί να είναι χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αστικές υπηρεσίες
- Υπεραστικές υπηρεσίες
- Προαστιακές υπηρεσίες
- Υπηρεσίες Minibus

Οι τύποι λεωφορείων που χρησιμοποιούνται στην αστική συγκοινωνία είναι:

- Τυπικό λεωφορείο. Έχει μήκος 12 m και είναι το πιο διαδεδομένο.
- Αρθρωτό λεωφορείο. Έχει τυπικό μήκος 18-21 m για μονή άρθρωση και 24 m για διπλή άρθρωση. Χρησιμοποιείται σε διαδρομές πιο αυξημένης ζήτησης ή κατά μήκος οδικών αρτηριών.
- Μικρό λεωφορείο (Minibus): Είναι όχημα μήκους 7-10 m. Χρησιμοποιείται σε διαδρομές που δεν παρουσιάζουν μεγάλη επιβατική κίνηση, είναι τοπικού χαρακτήρα ή διασχίζει δρόμους περιορισμένου πλάτους με δρομολόγια σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και οι καλύτερες ελλικτικές του ικανότητες είναι απαραίτητες.
- Διώροφο λεωφορείο. Πρόκειται για οχήματα μήκους 12 m διπλού καταστρώματος. Προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα στο μήκος του τυπικού οχήματος καθώς επίσης προσφέρει "άτυπα" και την δυνατότητα διαχωρισμού των επιβατών βάσει της απόστασης που σκοπεύουν να διανύσουν. Χρησιμοποιούνται και για ειδικούς σκοπούς όπως αστικές ξεναγήσεις όπου το άνω κατάστρωμα είναι διαμορφωμένο κατάλληλα (ανοικτό ή με σύστημα μερικής σκίασης).

Η χωρητικότητα εξαρτάται την διαμόρφωση του εσωτερικού από τον κάθε πάροχο. Οι τυπικές χωρητικότητες ανά τύπο παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.3.1-1** στην συνέχεια.

Πίνακας 2.3.1-1. Τυπικές χωρητικότητες αστικών λεωφορείων

Τύπος	Θέσεις καθήμενων	Θέσεις ορθίων	ΑΜΕΑ	Σύνολο
Μικρό λεωφορείο	16-24	12-16	1	28-40
Τυπικό λεωφορείο	35-55	20-40	1-2	55-95
Αρθρωτό λεωφορείο	35-70	30-80	1-3	80-125
Διώροφο λεωφορείο	50-90	15-30	1	65-120

Η κατανομή της μέσης απόστασης που διανύει ο επιβάτης με ένα λεωφορείο είναι άμεσα εξαρτημένη από την πόλη και την δομή του συγκοινωνιακού της συστήματος. Εάν πρόκειται να μετεπιβιβαστεί σε άλλο μέσο συνήθως είναι της τάξης των 2-3 km ενώ εάν καλύπτει όλη την μετακίνησή του με λεωφορείο είναι της τάξης των 8-10 km για μεγάλες πόλεις (>2 εκατ κατ.) ή 4-6 km για μικρότερες πόλεις. Βάσει του συγκεκριμένου στατιστικού δομείται και σε μεγάλο βαθμό η τιμολογιακή πολιτική του κάθε παρόχου.

Στο άνω άκρο, συνήθως το 90% των επιβατών πραγματοποιεί καθημερινά διαδρομές μικρότερες των 20 km με λεωφορείο.

Στην πλειοψηφία των πόλεων οι γραμμές έχουν τυπικό μήκος μεταξύ 10-15 km, ενώ οι λεγόμενες γραμμές "κορμού" που συνδέουν ακτινικά το κέντρο με περιφερειακά κέντρα ή περιφερειακά κέντρα μεταξύ τους ενίοτε ξεπερνούν τα 20 km. Παρόλα αυτά είναι κατανοητό ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό χρησιμοποιεί μια τέτοια γραμμή από την αφετηρία έως το τέρμα, αλλά εξυπηρετεί κατά κύριο λόγο πληθώρα ενδιάμεσων διαδρομών και λειτουργεί ως μικρογραφία σιδηροδρομικής μετακίνησης.

Τέλος από επιχειρησιακή σκοπιά οι μεγάλες γραμμές είναι ιδιαίτερα απαιτητικές τόσο σε οχήματα προκειμένου να επιτευχθεί μια καλή χρονοαπόσταση όσο και στην ρύθμιση των χρονοαποστάσεων λόγω πολλών διαφορετικών μικροκυκλοφοριών που συναντά κατά μήκος της διαδρομής, ενώ σε περιπτώσεις βλάβης ή κάποιου άλλου συμβάντος χρειάζεται μεγάλους χρόνους απόκρισης.

Διαμόρφωση και διαχείριση στόλου

Η σύνθεση του μείγματος του στόλου λεωφορείων αλλά και το κατάλληλο μέγεθος είναι ίσως από τις σοβαρότερες επιλογές που έχει να κάνει ο συγκοινωνιακός πάροχος και χρειάζεται διεξοδική μελέτη αναλόγως των αναγκών που έχει να εξυπηρετήσει. Η δημιουργία ενός μεγάλου στόλου επιτρέπει την διαμόρφωση ενός ευέλικτου μείγματος διαφόρων τύπων και επιμέρους τεχνικών χαρακτηριστικών που μπορεί να ανταπεξέλθει τόσο στην ζήτηση μιας διαδρομής όσο και στον χαρακτήρα της (αστική, προαστιακή, ημι-αστική).Παρόλα αυτά ταυτόχρονα από άποψη συντήρησης επικρατεί η άποψη της μείωσης των διαφοροποιήσεων ανά τύπο οχήματος ώστε η προμήθεια των αναλώσιμων και των ανταλλακτικών να γίνεται σε μεγάλες ποσότητες για την πρόληψη των περιοδικών αναγκών αλλά και μείωσης του απαιτούμενου χώρου αποθήκευσης ανταλλακτικών, χωρίς όμως να επικρατήσει η προμήθεια τροχαίου υλικού από έναν και μόνο κατασκευαστή γιατί αυτό ενέχει άλλους κινδύνους σε σχέση με την διαθεσιμότητα των οχημάτων.

Ο επιθυμητός κύκλος ζωής ενός οχήματος έως τη απόσυρση του εξαρτάται αποκλειστικά από τον πάροχο και την στρατηγική που ακολουθεί όσον αφορά τον στόλο. Παρόλα αυτά στους μεγάλους συγκοινωνιακούς παρόχους έχει επικρατήσει ο κανόνας της 10ετίας. Αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα την απόσυρση μόλις συμπληρωθεί αυτός ο χρόνος ωστόσο μόλις μια σειρά οχημάτων πλησιάζει αυτή την ηλικία ξεκινά να σχεδιάζεται η προμήθεια μιας νέας σειράς οχημάτων προς αντικατάσταση.

Η παραπάνω στρατηγική ακολουθείται καθώς ένα όχημα βαρέως τύπου που δέχεται σχεδόν καθημερινή καταπόνηση, στο ηλικιακό διάστημα 10-12 ετών βρίσκεται σε ένα σημείο καμπής στην ζωή του όπου, υπό την πρόθεση της σωστής συντήρησης, μπορεί να πωληθεί ως μεταχειρισμένο αποσβένοντας ένα ποσοστό 15-20% της αξίας κτήσης του. Από αυτό το σημείο και έπειτα αφενός τα χιλιόμετρα που έχει διανύσει αυξάνονται και οι πιθανότητες βλαβών ακολουθούν αυξητική τάση και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης συνεχώς αυξάνεται. Αφετέρου κατά κανόνα κάποιος υποψήφιος αγοραστής (άλλος φορέας) δεν αναζητά οχήματα ξεπερασμένης τεχνολογίας που δεν μπορεί να εντάξει στον δικό του στόλο για κάποιο διάστημα 5 ετών και άνω προκειμένου να καλύψει τις μεσοπρόθεσμες ανάγκες του.

Όσον αφορά την επένδυση σε νέα οχήματα, σίγουρα τα λειτουργικά κόστη είναι χαμηλότερα αλλά χρειάζεται ανάλυση ανά περίπτωση για να καταλήξει κανείς εάν η επένδυση θα αποδώσει το ίδιο ή μεγαλύτερο κέρδος. Η πιο διαδεδομένη τακτική των τελευταίων ετών είναι η πειραματική παραγγελία ενός μικρού αριθμού οχημάτων κάποιου τύπου προκειμένου να μελετηθεί αναλυτικά η καθημερινή τους συμπεριφορά στο δίκτυο και να εξαχθούν στατιστικά ή σε διαφορετική εφαρμογή η χρήση διαφορετικών δοκιμαστικών οχημάτων από διάφορους κατασκευαστές (demo vehicle) για κάποιο διάστημα που επιτρέπει την συλλογή κάποιων ενδεικτικών στατιστικών που θα υποστηρίξουν την λήψη της απόφασης.

Μια συγκοινωνιακή επιχείρηση που λειτουργεί αποδοτικά θα πρέπει να είναι σε θέση να δρομολογεί καθημερινά το 85-90% του συνολικού στόλου της και να μειώνει στο ελάχιστο τις παραμονές οχημάτων σε κατάσταση συντήρησης καθώς ενώ θα πρέπει να στοχεύει με περιοδικές αλλαγές τροχαίου υλικού να κρατά τον μέσο όρο ηλικίας τους στόλου σχετικά σταθερό.

Η δρομολόγηση μπορεί να προγραμματίζεται (α) βάσει των πραγματικών αναγκών, (β) εφαρμόζοντας μια σταθερή δρομολόγηση που ανταποκρίνεται σε κοινωνικά κριτήρια και πολιτικές παροχής αξιόπιστης συγκοινωνίας, (γ) ένας συνδυασμός των παραπάνω προκειμένου να μειωθούν τα δρομολόγια που δεν καλύπτουν ένα ελάχιστο ποσοστό πληρότητας του οχήματος.

Σύστημα BRT

Το σύστημα BRT (Λεωφορεία Ταχείας Διέλευσης - Bus Rapid Transit) αποτελεί μια υβριδική λύση που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του λεωφορείου με αυτά των μέσων σταθερής τροχιάς και πιο συγκεκριμένα ενός συστήματος LRT (Light Rail Transit).

Το σκεπτικό της δημιουργίας του συστήματος βασίζεται στο ότι ένα λεωφορείο (συνήθως αρθρωτό) μπορεί να μεταφέρει έως και 100-120 επιβάτες με μέση ταχύτητα 15km/h σε ανάμιξη με την κυκλοφορία. Εάν υποθέσουμε χρονοαπόσταση της τάξεως των 5 min αυτό οδηγεί σε 12 διελεύσεις οχημάτων ανά ώρα που μπορούν να μεταφέρουν πάνω από 3000/επιβάτες ανά κατεύθυνση/ώρα εάν ληφθούν υπ' οψιν και οι επιβιβάσεις/αποβιβάσεις. Το πρόβλημα είναι η μέση ταχύτητα.

Το σύστημα BRT αναπτύχθηκε σαν εναλλακτική της δημιουργίας LRT. Στην σημερινή του μορφή είναι μια υπηρεσία υψηλής ποιότητας στην οποία το όχημα κινείται σε έναν αποκλειστικό για αυτό

διάδρομο διαχωρισμένο από το υπόλοιπο οδόστρωμα ενώ σε τυχόν διασταυρώσεις έχει απόλυτη προτεραιότητα συνήθως με τηλεχειριζόμενο σύστημα.

Οι στάσεις επιβίβασης είναι ειδικά διαμορφωμένες (υπερυψωμένες) και στεγασμένες προκειμένου να διευκολύνεται η την ελαχιστοποίηση του χρόνου στάσης ενώ σε διπλής κατεύθυνσης συστήματα οι υποδομές θυμίζουν σταθμό τρένου με κοινή αποβάθρα στην μέση (**Σχήμα 2.3.1-1**)

Σχήμα 2.3.1-1. Διαμόρφωση διαδρόμου συστήματος του BRT «Metrobus» στην Κωνσταντινούπολη στο κέντρο αυτοκινητοδρόμου
[Πηγή: Ι.Ε.Τ.Τ.]

Το κόστος υλοποίησης ενός BRT απαιτεί πόρους που εκτιμώνται στο 10% αυτών που θα χρειαζόντουσαν για ένα σύστημα LRT και της τάξης του 2% αυτών ενός υπόγειου μητροπολιτικού σιδηρόδρομου (Johnson Victor & Ponnuswamy, 2012). Ειδικά με την σταθερή είσοδο της ηλεκτροκίνησης και της εφαρμογής των νέων τεχνολογιών στα οχήματα η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων που θα έχουν πολύ καλή σχέση λειτουργικού κόστους-οφέλους μοιάζει στους παρόχους πολύ καλή ώστε να αναβαθμίσουν τις προσφερόμενες υπηρεσίες σε συνδυασμό με δράσεις από τους μητροπολιτικούς φορείς.

Τέλος, σχεδόν εδραιωμένη τακτική των BRT's είναι η εγκατάσταση των υποδομών ελέγχου κομίστρου κατά την είσοδο/έξοδο στις στάσεις υιοθετώντας ένα ακόμα χαρακτηριστικό των ΜΣΤ που μειώνει σημαντικά τις καθυστερήσεις.

Το μεγαλύτερο προσόν του συστήματος είναι η ευελιξία και ο σχεδιασμός σύμφωνα με τις ανάγκες της πόλης καθώς μπορεί σε σημεία όπου δεν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση να μην χρειάζεται καν η δημιουργία αποκλειστικού διαδρόμου αλλά να συνδυαστεί με υπάρχουσες μικτές λεωφορειολωρίδες.

Σχήμα 2.3.1-2. Διαμόρφωση διαδρόμου συστήματος BRT στη Νάντη της Γαλλίας
[Πηγή: Mercedes-Benz[1]]

Συμπερασματικά, τα απαραίτητα στοιχεία που συνθέτουν ένα σύστημα BRT είναι:

- Σχεδιασμός διαδρομών και διαδρόμων αποκλειστικής κίνησης όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο
- Αυτοματοποιημένος τρόπος συλλογής κομίστρου (Εκτός οχήματος)
- Διαμόρφωση σταθμών
- Κατάλληλα οχήματα μεγάλης χωρητικότητας
- Οριστικοποίηση πλάνου λειτουργίας και ρύθμιση συχνοτήτων.

Κάποια πιο προηγμένα συστήματα είχαν εξαρχής στο σχεδιασμό τους την δυνατότητα ύπαρξης σε συγκεκριμένα σημεία ή σταθμούς μιας παρακαμπτήριας λωρίδας όπως στο σιδηρόδρομο προκειμένου να προσφέρουν υπηρεσίες ακόμα υψηλότερης ταχύτητας μεταξύ κεντρικών σταθμών που αποτελούν σημείο αναφοράς όπου το όχημα express προσπερνά το όχημα που προσφέρει την κανονική υπηρεσία.

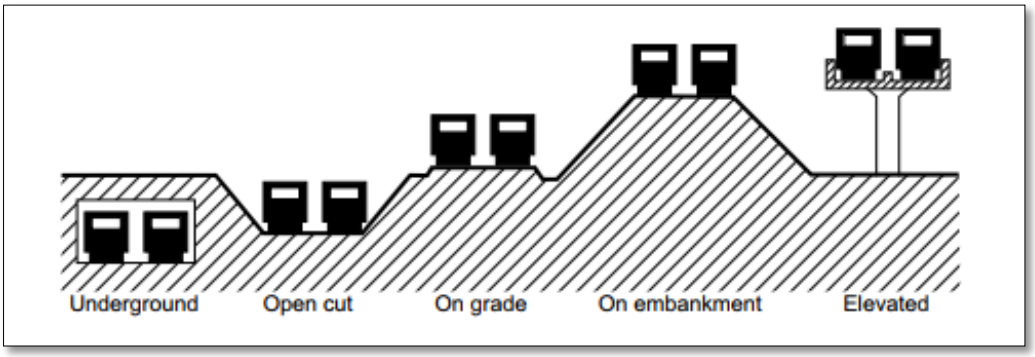
Συνοψίζοντας, οι υπηρεσιακές ταχύτητες που επιτυγχάνονται με εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι τάξης των 20-25 kmph για κανονική λειτουργία και 30-35 kmph για υπηρεσίες express.

2.3.2. Μέσα σταθερής τροχιάς

Τα μέσα σταθερής τροχιάς (τρένα) στον αστικό χώρο μπορούν να χωροθετηθούν με διαφορετικούς τρόπους αναλόγως τα χαρακτηριστικά της περιοχής που πρόκειται να κατασκευαστούν όπως: γεωλογικά χαρακτηριστικά, σεισμικότητα, τύπος εδαφικού υλικού, διαθέσιμος χώρος κ.α. Στο **Σχήμα 2.3.2-1** στην συνέχεια φαίνονται οι διαφορετικές χωροθετήσεις ως προς την επιφάνεια

[1] https://www.mercedes-benz-bus.com/en_DE/buy/bus-rapid-transit.html

του εδάφους που μπορεί να χρησιμοποιούνται συνολικά είτε με εναλλαγές καθώς τα ΜΣΤ είναι γραμμικά έργα που διασχίζουν περιοχές με χαρακτηριστικά που εναλλάσσονται .



Σχήμα 2.3.2-1. Διαφορετικοί τρόποι κατασκευής μέσων σταθερής τροχιάς στο αστικό περιβάλλον
(Johnson Victor & Ponnuswamy, 2012)

Μετρό – υπόγειος σιδηρόδρομος (Metro)

Το μετρό, ή μητροπολιτικός σιδηρόδρομος, πολλές φορές αναφερόμενο ως "ο υπόγειος" είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ηλεκτρική έλξη για την μετακίνηση ενός μεταλλικού τρένου σε (συνήθως) υπόγειο αποκλειστικό διάδρομο πλήρως διαχωρισμένο από το σύστημα στην επιφάνεια.

Συγκριτικά με άλλα μέσα αστικής μετακίνησης, το σύστημα μετρό χαρακτηρίζεται από:

- Υπηρεσία υψηλής-συχνότητας
- Μεγάλη μεταφορική ικανότητα (έως 45.000 επιβάτες/h/κατεύθυνση) (Bieber, 1986)
- Πολύ υψηλό κόστος κατασκευής
- Πολύ μεγάλες περιόδους ενσωμάτωσης (ακόμα και δεκαετιών)

Από άποψη μηχανικής είναι πολύπλοκο και απαιτητικό εγχείρημα καθώς απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις σχετικά με ποικίλους κλάδους μηχανικής (εδαφομηχανική, στατική, δομική μηχανική, μηχανική μεταφορών, αρχιτεκτονική, συστήματα τροφοδοσίας ρεύματος, συστήματα τηλεπικοινωνιών χαμηλής τάσης, τεχνολογίες trackwork, αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου, συστήματα υπολογιστών, κ.α.).

Η τυπική σύνθεση ενός συρμού μετρό είναι μεταξύ 4 και 10 οχημάτων (βαγονιών). Τα υλικά κατασκευής είναι συνήθως ημιανοξείδωτος χάλυβας και αλουμίνιο. Όσον αφορά την εσωτερική διαρρύθμιση η μεταφορική ικανότητα ανά συρμό είναι μεταξύ 600-1200 ατόμων. Η αναλογία ορθίων/καθήμενων επιβατών κυμαίνεται από 25 % έως 45 % και εξαρτάται από τον συγκοινωνιακό πάροχο.

Στα σύγχρονα συστήματα μετρό, η συχνότητα διέλευσης μεταξύ συρμών μπορεί να φτάσει μέχρι και διαστήματα ενός λεπτού. Οι συχνότητες μεγαλύτερες των 15 λεπτών αποθαρρύνουν την χρήση για το κοινό. Η τυπική συχνότητα διέλευσης είναι 3-5 λεπτά για ένα βαρύ μετρό τις καθημερινές ημέρες και τις ώρες αιχμής ενώ οι χρονοαποστάσεις συνήθως προσαρμόζονται (αυξάνονται) τις ώρες λειτουργίας όπου η επιβατική κίνηση είναι μειωμένη. Οι χρόνοι παραμονής στον κάθε

σταθμό είναι προσαρμοσμένοι ανάλογα με την επιβατική του κίνηση, συνήθως είναι της τάξης του 1 λεπτού. Ως καθυστέρηση στο δίκτυο ορίζεται κάθε διάστημα μεγαλύτερο των 3 λεπτών από τα προγραμματισμένα δρομολόγια ενώ κάθε καθυστέρηση ενός ή παραπάνω συρμών προκαλεί προσωρινή διαταραχή σε όλη την γραμμή. Οι συντηρήσεις του δικτύου γίνονται συνήθως τις βραδινές ώρες ενώ οι τακτικές εργασίες προγραμματίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην διακοπεί η υπηρεσία στο μέτρο που αυτό είναι εφικτό.

Το μέσο κόστος κατασκευής μετρό με ποσοστό 75% υπόγειας όδευσης κυμαίνεται μεταξύ €70 M και €100 M ανά χιλιόμετρο, ενώ για ποσοστό 100% υπόγειου συστήματος το κόστος είναι μεταξύ €100 M και €150 M ανά χιλιόμετρο αναλόγως τόσο των εργασιών και της δυσκολίας όσο και των χαρακτηριστικών (Pyrgidis, 2022) .

Σε αντίθεση με την παλαιότερη τακτική που ήταν η κατασκευή μετρό 100% υπογείου, τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει η τάση της μείωσης του κόστους κατασκευής με το μικρότερο δυνατό μήκους υπόγειας διαδρομής μέσω νέων τεχνικών υβριδικής χωροθέτησης στις υπέργειες χαράξεις.

Σχήμα 2.3.2-2. Συρμός Μετρό στο Μόναχο (MVG Class A, U6)
[Πηγή: Michael Day, Flickr[2]]

[2] https://www.flickr.com/photos/bindonlane/5971360389/

Τραμ (Tramway)

Το τραμ είναι ένα ηλεκτρικό τρένο με σιδερένιους τροχούς, που κινείται σχεδόν αποκλειστικά κατά μήκος αστικών ή προαστιακών δρόμων, κινούμενο συνήθως σε κατάλληλα κατασκευασμένο διάδρομο και εξυπηρετεί αποστάσεις της τάξης 5–20 km/γραμμή. Η χωροθέτηση του είναι ιδιαίτερα ευέλικτη σε σχέση με βαρύτερα συστήματα (μετρό) και η μεταφορική του ικανότητα μπορεί να φτάσει έως και 15.000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση (Brand and Preston, 2005). Η συνήθης διάταξη αποτελείται από μια γραμμή ανά κατεύθυνση με δυνατότητα μονογράμμισης σε σημεία όπου υπάρχει στενότητα (π.χ. παραδοσιακά κέντρα πόλεων).

Το «συμβατικό τραμ» (streetcar), κυριάρχησε στις αστικές συγκοινωνίες των περισσότερων πόλεων στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες, τις πρώτες δεκαετίες του περασμένου αιώνα. Το νέο «σύγχρονο τραμ» όπου αυτό επιλέγεται ή αναβαθμίζει την υφιστάμενη υποδομή, πρόκειται για μια τεχνολογία, διαφορετικής φιλοσοφίας λειτουργίας που ανταποκρίνεται στις σύγχρονες ανάγκες.

Η πλειοψηφία των συστημάτων τραμ προσφέρει χωρητικότητες που κυμαίνονται από 150-250 άτομα ανά συρμό. Οι μέσες χρονοαποστάσεις διαδοχικών συρμών κυμαίνονται από 5 λεπτά τις ώρες υψηλής ζήτησης έως και 20 λεπτά σε εκτός αιχμής δρομολόγια ή σε άξονες χαμηλότερης ζήτησης. Το τραμ του Χονγκ Κονγκ κρατάει το ρεκόρ όσον αφορά τα δρομολόγια με την συχνότητα διέλευσης στην αιχμή να φτάνει το 1.5 λεπτό.

Κατηγοριοποίηση βάσει των χαρακτηριστικών του διαδρόμου κίνησης

Μια από τις δυνατές κατηγοριοποιήσεις των συστημάτων τραμ που μπορούν να γίνουν είναι βάσει των χαρακτηριστικών του διαδρόμου κίνησης, του τρόπου δηλαδή που είναι χωροθετημένη η γραμμή εντός του δημόσιου χώρου

Κοινός διάδρομος (class E)

Στην κατηγορία αυτή, τα τροχιοδρομικά οχήματα αναμιγνύονται πλήρως με τα οδικά οχήματα (ή τους πεζούς). Προκειμένου να μην προκαλούνται καταστροφές στα άλλα οχήματα, το τραμ κινείται σε αυλακωτές ράγες ενσωματωμένες στο οδόστρωμα. (**Σχήμα 2.3.2-3**). Η συγκεκριμένη λύση χωροθέτησης είναι αυτή που έχει το χαμηλότερο δυνατό κόστος, με συνέπεια όμως την μεγαλύτερη απώλεια λειτουργικότητας αφού το τραμ λειτουργεί όπως το αστικό λεωφορείο και εξαρτάται άμεσα από τις κυκλοφοριακές συνθήκες με χαμηλή επιχειρησιακή ταχύτητα. Ακόμα στην συγκεκριμένη διάταξη δεν μπορεί να δοθεί οποιαδήποτε μορφή προτεραιότητας στο τραμ.

Σχήμα 2.3.2-3. Τραμ κολλημένο σε κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω κοινού διαδρόμου (class E), Μελβούρνη, Αυστραλία.
[Πηγή: yarratrams.com.au, 2014]

Αποκλειστικός διαχωρισμένος διάδρομος (class D)

Στην περίπτωση αυτή η προηγούμενη διάταξη διαφοροποιείται με τον διάδρομο του τραμ να μην είναι προσβάσιμος από άλλα οχήματα εκτός οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Ο διαχωρισμός της λωρίδας κίνησης γίνεται είτε με διαγράμμιση, σήμανση και αστυνόμευση είτε με την προσθήκη εμποδίων περιοδικά από τα οποία όμως μπορούν να διέρχονται οι πεζοί. Οι ράγες είναι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Αυτός ο πρώτος διαχωρισμός αυξάνει σχετικά την ταχύτητα του τραμ ενώ σημαντική είναι η δυνατότητα που δίνεται για χωριστή σηματοδότηση σε διασταυρώσεις προκειμένου να δίνεται μέσω συντονισμού με το σύστημα διαχείρισης της οδικής κυκλοφορίας προτεραιότητα στον συρμό.(**Σχήμα 2.3.2-4.**)

Σχήμα 2.3.2-4. Κίνηση τραμ σε διαχωρισμένο διάδρομο (class D), Άμστερνταμ, Κάτω Χώρες.
[Πηγή: Wikipedia Commons]

Αποκλειστικός διάδρομος (class C)

Η υφιστάμενη οδός μετατρέπεται σε αποκλειστικής διέλευσης του τραμ ενώ το υπόλοιπο πλάτος της πεζοδρομείται. Η συγκεκριμένη λύση έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στα ιστορικά και εμπορικά κέντρα των πόλεων όπου το αυτοκίνητο απαγορεύτηκε και μεταφέρθηκε περιφερειακά. Ο διαχωρισμός του διαδρόμου του τραμ από τους πεζούς γίνεται με κάθετη προειδοποιητική σήμανση.

Σχήμα 2.3.2-5. Τραμ σε διάδρομο αποκλειστικής κίνησης (class C), Bahnhofstrasse, Ζυρίχη, Ελβετία
[Πηγή: Tommaso Neri, Flickr[3]]

Αποκλειστικός προστατευμένος διάδρομος (class B)

Στην περίπτωση αυτή η κυκλοφορία του τραμ διαχωρίζεται τόσο από τον δρόμο όσο και από τους πεζούς. Η κίνηση γίνεται σε αποκλειστικό διάδρομο διαχωρισμένο με τεχνικά έργα ή με διαμόρφωση και αξιοποίηση του φυσικού περιβάλλοντος (π.χ. συνεχής φύτευση). Οι διαβάσεις οχημάτων όπου είναι απαραίτητες γίνονται ελεγχόμενα με προτεραιότητα στο τραμ και οι διαβάσεις πεζών τοποθετούνται περιοδικά με το διάστημα να καθορίζεται από την περιοχή εγκατάστασης. Σε αυτή την εναλλακτική κατασκευής δεν υπάρχει περιορισμός ως προς τις ράγες όπου μπορούν να εγκατασταθούν κανονικές επίπεδες ράγες σε σταθερή επιδομή εκτός των ισόπεδων διαβάσεων όπου γίνεται αλλαγή τύπου ή εγκατάσταση προστατευτικών για την ασφαλή διέλευση οχημάτων. Επιτυγχάνονται υπηρεσιακές ταχύτητες 20–25 km/h (Bieber, 1986).

Πλήρως αποκλειστικός διάδρομος (class A)

Η κλάση Α προλαμβάνει κάθε κίνηση που μπορεί να προκαλέσει καθυστέρηση ή άλλο συμβάν στο τραμ. Τα οχήματα κινούνται όπως και προηγουμένως σε αποκλειστικό διάδρομο μόνο που αυτός θωρακίζεται και στις αναγκαίες διαβάσεις κατασκευάζεται κατάλληλος αναβαθμός, υπόγειες διελεύσεις ή υπογειοποιείται τοπικά ο διάδρομος του τραμ. Ο συγκεκριμένος τύπος διαδρόμου χρησιμοποιείται και σε συστήματα light metro ή προαστιακής σύνδεσης, προϋποθέτει ωστόσο και την θωράκιση και επιτήρηση των σταθμών όπου δεν μπορούν να έχουν την μορφή απλής πλατφόρμας

[3] https://www.flickr.com/photos/124449438@N04/51762500769/

εκατέρωθεν των γραμμών. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνει το τραμ είναι των 30-40 km/h ή και μεγαλύτερες για πιο «βαριά» συστήματα.

Σχήμα 2.3.2-6. Τραμ σε αποκλειστικό προστατευμένο διάδρομο (class B), Αθήνα, Ελλάδα.

Σχήμα 2.3.2-7. Τραμ σε τμήμα πλήρως αποκλειστικού διαδρόμου με χρήση πυκνής βλάστησης για διαχωρισμό, Παρίσι, Γαλλία.

[Πηγή: transportparis.canalblog.com]

Είναι εύκολα κατανοητό ότι οι τρεις πρώτες εναλλακτικές είναι οικονομικότερες παρέχοντας ωστόσο την δυνατότητα μεγαλύτερης μεταφορικής ικανότητας σε σχέση με ένα οδικό μέσο, χωρίς όμως να μειώνεται σημαντικά ο χρόνος μετακίνησης και διατηρώντας τον κίνδυνο για ατυχήματα ιδίως μέχρι οι πολίτες (πεζοί και οδηγοί) να συνηθίσουν την ύπαρξη του νέου μέσου. Οι κλάσεις Α και Β, αντίθετα, είναι οι ασφαλέστερες, και μπορούν να παρέχουν την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών, η υλοποίησή τους ωστόσο είναι αρκετά πιο κοστοβόρα ιδίως όταν στην διαδρομή περιλαμβάνεται η κατασκευή υπόγειων τμημάτων ή ανυψωμένων (ανισόπεδων) κόμβων.

Ελαφρύ μετρό (Light Metro)

Το ελαφρύ μετρό είναι μια υβριδική λύση ανάμεσα στο κανονικό μετρό και τα τραμ. Διακρίνεται από την χαμηλότερη μεταφορική ικανότητα, τα ελαφρύτερη φιλοσοφία όσον αφορά οχήματα (μήκος και πλάτος) αλλά και την συντομότερη απόσταση μεταξύ διαδοχικών στάσεων. Συνήθως επιλέγεται για την συγκοινωνιακή κάλυψη πόλεων με πληθυσμό από 500.000 έως 1000.000 κατοίκους, ενώ για μεγαλύτερες πόλεις συνήθως επιλέγεται ένα βαρύ μετρό καθώς λαμβάνονται υπόψιν και οι τάσεις εξέλιξης.

Πίνακας 2.3.2-1. Βασικές διαφορές κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών ανάμεσα στο ελαφρύ και βαρύ μετρό

Χαρακτηριστικό	Light metro	Heavy metro
Υπηρεσιακή ταχύτητα	25–35 km/h	30–40 km/h
Ολικό μήκος συρμού	60–90 m	70–150 m
Σύνθεση συρμού	2–4 βαγόνια	4–10 βαγόνια
Μέγιστη μεταφορική ικανότητα	35.000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση	45.000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση
Τρόπος κίνησης	Με οδηγό ή Αυτοματοποιημένοι	Συνήθως με οδηγό ή αυτοματοποιημένοι με επιτήρηση
Απόσταση μεταξύ διαδοχικών σταθμών	400–800 m	500–1000 m
Χωροθέτηση γραμμής όδευσης σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους	Σε αναβαθμό, υπόγεια ή υπερυψωμένη	Κυρίως υπόγεια
Πλάτος οχήματος	2.10–2.65 m	2.60–3.20 m

Το επίπεδο της προσφερόμενης υπηρεσίας από ένα σύστημα μετρό εξαρτάται από ένα πολύπαραγοντικό σύστημα αξιολόγησης της λειτουργικότητας όσο και άνεσης του επιβάτη. Σημαντικό ρόλο στην ικανοποίηση του κοινού παίζουν ποιοτικοί παράγοντες όπως οι παρακάτω, οι οποίοι βεβαίως

με μικρές προσαρμογές ισχύουν τόσο και στα υπόλοιπα μέσα σταθερής τροχιάς που αναφέρονται στην συνέχεια όσο και στις προσφερόμενες υπηρεσίες με οδικά οχήματα:

- Χάραξη με πρόνοια για την κάλυψη περιοχών και σημείων με μεγάλη τουριστική ζήτηση.
- Ταχεία μετάβαση στον προορισμό σε σχέση με άλλα μέσα.
- Σύντομες διελεύσεις /πυκνές υπηρεσίες κατά τις ώρες αιχμής.
- Τήρηση του αναρτημένου χρονοδιαγράμματος
- Φιλική στον πολίτη τιμολογιακή πολιτική/ευκολία στην προμήθεια εισιτηρίων και δυνατότητα έκδοσης εκπτωτικών προϊόντων για συχνή χρήση.
- Ασφάλεια επιβατών στο τρένο και στους σταθμούς.
- Ποιότητα αέρα μέσα στα οχήματα/χρήση κλιματισμού.
- Άνεση των επιβατών κατά τη μεταφορά.
- Διαθεσιμότητα θέσεων επιβατών/ικανοποιητική υποστήριξη αμαξοστοιχίας.
- Καθαριότητα χώρων και των τρένων.
- Προσβασιμότητα: αποδεκτή απόσταση μεταξύ διαδοχικών σταθμών.
- Παροχή υποδομών για χρήση από ΑΜΕΑ
- Συνδυασμένη λειτουργία με άλλα μέσα μεταφοράς – δυνατότητα υπηρεσιών park-and-ride.
- Επαρκής πληροφόρηση επιβατών σχετικά με τη διαδρομή εντός των συρμών και στους σταθμούς.

Σχήμα 2.3.2-8. Ελαφρύ μετρό – Palma, Ισπανία
[Πηγή: Wikipedia Commons, 2007]

Σιδηρόδρομος μονής τροχιάς (Monorail)

Ο σιδηρόδρομος μονής τροχιάς είναι ένα ελαφρύ μέσο επιφανείας, το οποίο κινείται συνήθως σε έναν υπερυψωμένο οδηγό (ράγα) που αποτελείται από μια ενιαία δοκό κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα τροχών με ελαστικά. Εξυπηρετεί κυρίως μικρές αποστάσεις εντός του αστικού περιβάλλοντος ενώ χαρακτηρίζεται ως η καταλληλότερη υποδομή για εκδρομές σε χώρους αναψυχής (θεματικά πάρκα, ζωολογικούς κήπους κ.α.), καθώς και για σύνδεση του κέντρου μικρότερων πόλεων με το αεροδρόμιο. Τα τελευταία χρόνια, τα monorails χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως μέσο για την παράκαμψη των προβλημάτων έλλειψης χώρου σε πυκνά δομημένες πόλεις με κυκλοφοριακά προβλήματα καθώς μπορούν να κατασκευαστούν ακόμα και στο μέσο μιας μεγάλης λεωφόρου.

Η τυπική σύνθεση ενός συρμού monorail είναι 3-6 βαγόνια, ενώ το σύστημα ταξινομείται στην ίδια κατηγορία με τον ελαφρύ σιδηρόδρομο, και χαρακτηρίζεται συνήθως από τρένα μικρού πλάτους (2.3-3.0 m). Η επιδομή είναι πρακτικά μια υπερυψωμένη δοκός η οποία αφενός στηρίζει τον συρμό και αφετέρου τον οδηγεί. Από ενεργειακής άποψης το σύστημα είναι ηλεκτροκινούμενο μέσω συστήματος ενσωματωμένου στην ράγα-οδηγό.

Το εν λόγω σύστημα συχνά καλύπτει μικρές αποστάσεις με μήκος S = 1.5–12 km (Pyrgidis, 2022). Όταν χρησιμοποιείται για την κάλυψη συγκοινωνιακών αναγκών το μήκος μιας γραμμής μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Οι μέγιστες ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει είναι Vmax = 60–100 km/h ενώ οι επιχειρησιακές του ταχύτητες είναι Vc = 15–40 km/h. Τα συστήματα monorail διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

(a) Αναρτημένα από την ράβδο οδήγησης (suspended on guidebeam)
(b) Επί της ράβδου οδήγησης(straddled over guidebeam)

Τα αναρτημένα συστήματα είναι συνήθως μικρότερης δυναμικότητας ενώ τα πιο σύγχρονα και μεγαλύτερης δυναμικότητας αναπτύσσονται συνήθως με τον δεύτερο τρόπο. Η χωρητικότητα εξαρτάται τόσο από την σύνθεση του συρμού όσο και από το πλάτος και κυμαίνεται από 80-170 επιβάτες/βαγόνι που με χρονοαποστάσεις της τάξης των 5 λεπτών μπορεί να καλύψει έργο 2000-10000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση.

Τα τελευταία χρόνια, οι monorails χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για σκοπούς που υπερβαίνουν την ψυχαγωγική χρήση και επίσης εισάγονται πρόσφατα για αεροπορικές συνδέσεις με σιδηροδρομικές γραμμές, ως μέσο για την παράκαμψη των προβλημάτων λειψυδρίας σε πόλεις με κυκλοφοριακή συμφόρηση (π.χ. Κίνα, Ινδονησία και Νότια Κορέα). εντός εμπορικών κέντρων κ.λπ.

Σχήμα 2.3.2-9. (α) Το σύστημα Monorail της Μόσχας (β) το Wuppertal Schewebahn
[Πηγή: (α) Wikipedia Commons, (β) Wuppertal.de]

2.4. Εναλλακτικά μέσα για την αστική μετακίνηση

Η μη-μηχανοκίνητη μετακίνηση είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές εναλλακτικές για τον περιορισμό της ρύπανσης και της συμφόρησης στο σύγχρονο αστικό περιβάλλον. Πολλές μορφές της ωστόσο τείνουν να εξαλειφθούν και να εξελιχθούν. Το ποσοστό των μη-μηχανοκίνητων μετακινήσεων σε μια μεγάλη πόλη βρίσκεται μεταξύ του 30% και 50% του συνόλου, και εξαρτάται από τις υφιστάμενες συγκοινωνιακές υποδομές αλλά και τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά της. Αυτοί οι τρόποι μετακίνησης μπορεί να είναι:

- Πεζή
- Ποδήλατα
- Πατίνια
- Ταξίλατα (ricksaws) – κυρίως διαδεδομένα σε χώρες της Ασίας (Κίνα, Ινδία κ.α.)
- Ζωήλατα/Ιππήλατα οχήματα – πλέον μόνο για τουριστικούς σκοπούς

Η κίνηση πεζή και τα ποδήλατα χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό.

Ο κατάλληλος συγκοινωνιακός σχεδιασμός και η διαχείριση κυκλοφορίας με πρόνοια για τις μη-μηχανοκίνητες μετακινήσεις μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση του ποσοστού των κατοίκων που επιλέγει να εντάξει τέτοια μετακίνηση στην καθημερινότητά του. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζονται τόσο η δημιουργία και συντήρηση κατάλληλων υποδομών όσο και η αρμονική ένταξη τους στο κυκλοφοριακό σύστημα καθώς η υπερβολή στο σχεδιασμό π.χ. μιας πεζοδρόμησης μπορεί να επιφέρει τα αντίστροφα αποτελέσματα.

2.4.1. Ποδήλατα

Αν και η ποδηλασία είναι τρόπος μεταφοράς από τα παλαιότερα χρόνια, ιδίως για μικρές αποστάσεις, με την είσοδο της μηχανοκίνησης στην καθημερινότητα μας και την οικονομία χρόνου και δυνάμεων που αυτή προσφέρει, η χρήση των ποδηλάτων είχε ατονήσει και οι σύγχρονες πόλεις έχουν αναπτυχθεί κατά κανόνα χωρίς κατάλληλες υποδομές.

Λόγω της αύξησης της τιμής των καυσίμων αλλά και σε μικρότερο βαθμό της ενασχόλησης του σύγχρονου ανθρώπου με την υγιεινή ζωή και την άθληση και την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, το ποδήλατο έχει επανέλθει στο προσκήνιο ως σημαντικό μέσο μετακίνησης, αυτή την φορά με την διαφορά ότι πλέον έχει εισέλθει στο επίπεδο του σχεδιασμού καθώς συνδυάζεται με τις αρχές της ήπιας ανάπτυξης ιδίως σε επεμβάσεις περιοχών που είναι κορεσμένες και με έλλειψη δημόσιου χώρου.

Είναι πλέον γεγονός ότι το ποδήλατο πλέον δεν αντιμετωπίζεται απλά ως τρόπος άσκησης ή ένα βολικό μέσο για την μετακίνηση των παιδιών. Οι πολίτες το χρησιμοποιούν για την μετακίνηση τους σε δουλειά, σχολείο, καταστήματα, διασκέδαση και άλλες δραστηριότητες. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το ποσοστό των μετακινήσεων (διαδρομών) που γίνονται με ποδήλατο για τις περισσότερες χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, καθώς και τον Καναδά, τις ΗΠΑ, και την Αυστραλία. Τα πρωτεία κρατά η Ολλανδία με ποσοστό άνω του 25 % ενώ ακολουθεί η Δανία με 17 %.

Σχήμα 2.4.1-1 Ποσοστά χρήσης του ποδηλάτου επί του συνόλου των διαδρομών για 9 χώρες της Ευρώπης, ΗΠΑ, Αυστραλία, Καναδά (Pucher & Buechler, 2012)

Πηγαίνοντας ανατολικότερα από την Ευρώπη, στην Ασία, λόγω των όχι τόσο ανεπτυγμένων οικονομιών και της μικρότερης ενσωμάτωσης του αυτοκινήτου στην καθημερινότητα του πληθυσμού, τα ποδήλατα κρατούν μεγάλο ποσοστό των μετακινήσεων τόσο στην επαρχία όσο και στις πόλεις. Χαρακτηριστική η περίπτωση της Ινδίας όπου στις πόλεις το μερίδιο των ποδηλάτων βρίσκεται πάνω από σχεδόν όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, περίπου 14% στην Τσενάι και 33% στην Μπάνγκαλορ. (Johnson Victor & Ponnuswamy, 2012) Στο Πεκίνο (Κίνα), τα ποδήλατα κάθε τύπου συγκεντρώνουν περίπου τα δύο τρίτα (2/3) των αστικών διαδρομών τις ώρες αιχμής.

Στον **Πίνακα 2.4.1-1** αποτυπώνεται η καταναλισκόμενη ενέργεια (έργο) για ένα επιβατοχιλιόμετρο[4] με διαφορετικά μέσα μετακίνησης.

Πίνακας 2.4.1-1. Καταναλισκόμενη ενέργεια για ένα επιβατοχιλιόμετρο από διαφορετικά μέσα μεταφοράς

	Ενέργεια/pkm (k Joules)
Πεζός	64 kJ
Ποδηλάτης	328 kJ
Επιβάτης λεωφορείου	656 kJ
Επιβάτης σιδηροδρόμου λεωφορείου	1115 kJ
Επιβάτης οχήματος ΙΧ	2786 kJ
Επιβάτης αεροσκάφους	6360 kJ

Πηγή: (Johnson Victor & Ponnuswamy, 2012)

Η ποδηλασία είναι πλήρως απαλλαγμένη από ρύπους και θόρυβο ενώ χρειάζεται σαφώς μικρότερους χώρους τόσο για την κίνηση όσο και για την στάθμευση. Ακόμα αν θεωρήσουμε ότι ο μέσος ποδηλάτης κινείται με μια ταχύτητα περίπου 15-20 km/h, τότε μέσα σε μισή ώρα μπορεί να διασχίσει απόσταση περίπου 7-9 km, απόσταση μεγαλύτερη από την τυπική ακτίνα του κέντρου μιας πόλης. Είναι λοιπόν σημαντικό να ενθαρρύνονται τέτοιες μετακινήσεις μικρών αποστάσεων με εναλλακτικές μεθόδους μετακίνησης.

Μάλιστα πολλές πόλεις τα τελευταία χρόνια τοποθετούν αυτοματοποιημένα συστήματα ενοικίασης ποδηλάτων σε κεντρικά σημεία με πολύ μικρό αντίτιμο για τους κατοίκους αλλά και τους επισκέπτες προκειμένου να περιηγηθούν ελεύθερα ενώ σηματοδοτούν και ειδικές διαδρομές ξενάγησης.

[4] Επιβατοχιλιόμετρο [pkm]: Μονάδα μέτρησης που αφορά την μεταφορά ενός επιβάτη σε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Συναντάται κυρίως σε σιδηροδρομικές αναλύσεις αλλά χρησιμοποιείται και σε υπολογισμούς για όλους του τύπου οχημάτων.

Ωστόσο, έχουν αναγνωριστεί ορισμένοι σοβαροί αποτρεπτικοί παράγοντες ως προς την τη χρήση ποδηλάτων στην καθημερινότητα. Αυτοί μπορεί να είναι:

- οι πιθανές δυσμενείς καιρικές συνθήκες
- ο κίνδυνος που προκύπτει από χρήση του ποδήλατου σε πυκνή κίνηση στην πόλη ανάμεσα σε μηχανοκίνητα οχήματα
- η αδυναμία ασφαλούς στάθμευσης του ποδηλάτου σε σταθμούς μετεπιβίβασης (στάσεις ΜΜΜ, σταθμούς ΜΣΤ)
- η πιθανότητα να λεκιαστεί η αμφίεση του αναβάτη τόσο από τις εκπομπές των κινητήρων καθώς και από φερτά υλικά και υπολείμματα στο οδόστρωμα
- όρια οχημάτων στα ΜΜΜ που τίθενται από συγκοινωνιακού παρόχους για αποφυγή συνωστισμού

Η παροχή χωριστών ποδηλατικών διαδρομών μπορεί να μειώσει τη σοβαρότητα ορισμένων από τους αποτρεπτικούς παράγοντες ή να εξαλείψει πλήρως κάποιες από αυτές.

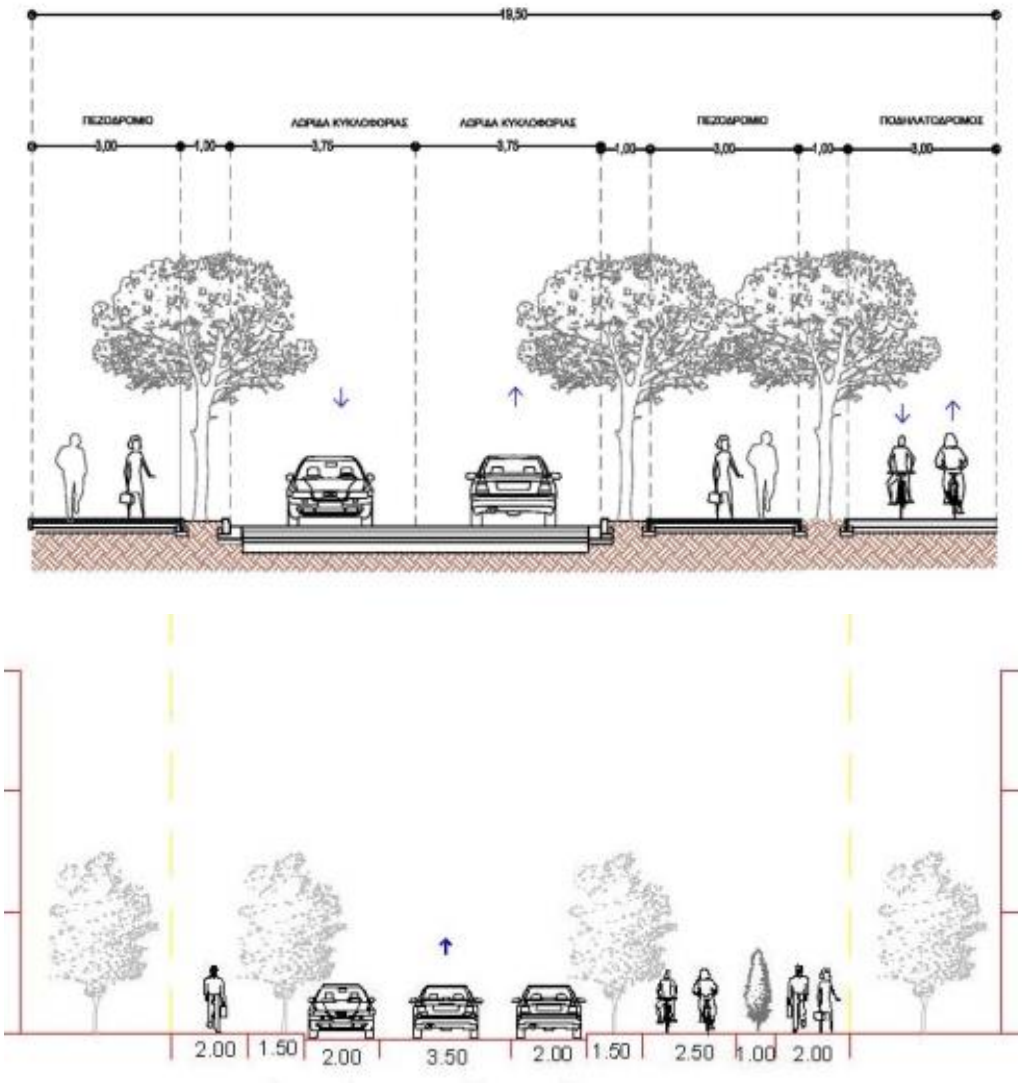
Τύποι υποδομών για ποδήλατα

- Ποδηλατόδρομος: Ένας πλήρως διαχωρισμένος διάδρομος, συνήθως και προστατευμένος από την πρόσβαση άλλων οχημάτων για αποκλειστική χρήση από ποδήλατα. Αναλόγως του διαθέσιμου πλάτους μπορεί να είναι μιας ή παραπάνω λωρίδων καθώς και να υποστηρίζει με κατάλληλη σήμανση και κίνηση και προς τις δυο κατευθύνσεις.

- Λωρίδα ποδηλάτου: Μια υβριδική λωρίδα στην άκρη του οδοστρώματος για την κυκλοφορία ποδηλάτων. Η χρήση πολλές φορές δεν είναι αποκλειστική καθώς ταυτίζεται με λωρίδες αποκλειστικής κυκλοφορίας ΜΜΜ, χώρους που επιτρέπεται η στάθμευση. Ακόμα δύναται να οριοθετείται με διαχωριστικά τοποθετημένα ανά διαστήματα ωστόσο η ασφάλεια της παραμένει μειωμένη ενώ σε δρόμους διπλής κυκλοφορίας χρειάζεται μια ανά κατεύθυνση.

- Διαδρομή ποδηλάτου: Μια διαδρομή στην οποία ορίζεται ως κατάλληλη για ποδήλατα με πινακίδες κατά μήκος του δρόμου ή με σήμανση στην άσφαλτο. Σε πολλές περιπτώσεις η άσφαλτος χρωματίζεται προκειμένου να προειδοποιήσει τους οδηγούς. Είναι η χειρότερη εναλλακτική υποδομής καθώς δεν διαχωρίζει τα οχήματα από τους ποδηλάτες ενώ πολλές φορές δημιουργείται η ψευδαίσθηση της ασφάλειας λόγω της πυκνής σήμανσης.

Σαφώς από τα παραπάνω η ασφαλέστερη και πιο αποδοτική διαμόρφωση είναι η πρώτη όπου διαχωρίζει πλήρως την ροή των ποδηλάτων από αυτή των οχημάτων ενώ μειώνει την ανάγκη για άσκοπους ελιγμούς ανάμεσα σε οχήματα και σταθμευμένα. Στις πιο σύγχρονες μορφές σχεδιασμού όταν υπάρχει διαθέσιμο πλάτος ο ποδηλατόδρομος διαχωρίζεται με κατάλληλη οριοθέτηση και από το πεζοδρόμιο (**Σχήμα 2.4.1-2**) για την αύξηση της ταχύτητας του.



Σχήμα 2.4.1-2. – Τυπικές διατομές οδών (α) διπλής κυκλοφορίας με αποκλειστικό ποδηλατόδρομο, (β) μονής κυκλοφορίας με ποδηλατόδρομο

[Πηγή: Εφαρμογή του Σχεδίου Ολοκληρωμένης Ανάπτυξης (ΣΟΑ) του Μητροπολιτικού Πόλου Ελληνικού – Αγίου Κοσμά | Μελέτη Κυκλοφοριακών Επιπτώσεων , © DENCO Συγκοινωνιακές Μελέτες Ε.Π.Ε., Ιανουάριος 2019]

Τέλος παλαιότερα υπήρξε μια τάση μίξης του ποδηλατοδρόμου με τα υφιστάμενα πεζοδρόμια επαρκούς πλάτους ωστόσο τόσο λόγω των πολλαπλών κινδύνων για πεζούς και ποδηλάτες όσο και της καταπόνησης των υλικών σε σχέση με το κατάλληλα διαμορφωμένο οδόστρωμα σύντομα εγκαταλείφθηκε η ιδέα.

<u>Χώροι στάθμευσης</u>

Θα πρέπει να παρέχονται εγκαταστάσεις στάθμευσης ποδηλάτων σε τερματικούς σταθμούς λεωφορείων, σταθμούς μετεπιβίβασης και μεγάλα κέντρα δραστηριοτήτων. Ενδέχεται να παρέχονται

κατάλληλες σχάρες και ντουλάπια στάθμευσης, ανάλογα με τη διάρκεια στάθμευσης. Η βραχυπρόθεσμη στάθμευση ποδηλάτων μπορεί να είναι τόσο απλή όσο ένα ακίνητο αντικείμενο που ο ποδηλάτης μπορεί να κλειδώσει το πλαίσιο και τους τροχούς. Η μακροπρόθεσμη εγκατάσταση στάθμευσης θα πρέπει να παρέχει προστασία από κλοπή ποδηλάτου και αξεσουάρ.

Καλές πρακτικές

Βιέννη, Αυστρία

Είναι η πρωτεύουσα της Αυστρίας και ταυτόχρονα αυτόνομο ομοσπονδιακό κρατίδιο. Η Βιέννη είναι η μεγαλύτερη πόλη της χώρας με πληθυσμό 1.897.491 κατοίκων (2019), και αποτελεί πολιτικό, πολιτισμικό και οικονομικό κέντρο ενώ λόγω του μεγάλου πλούτου της είναι και σημαντικός τουριστικός πόλος της κεντρικής Ευρώπης.

Το 2014, το συμβούλιο της πόλης αποφάσισε να υιοθετήσει μια ένα πλαίσιο μακροχρόνιας στρατηγική για την μετατροπή της πόλης σε "'έξυπνη" (Smart City Wien Framework Strategy 2050) με απώτερο στόχο την μείωση των ετησίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO2) από 3 τόνους ανά πολίτη σε 1 τόνο ανά πολίτη το 2050. Το σχέδιο μεταξύ άλλων στόχων προς την βιώσιμη κινητικότητα έχει την μείωση της κίνησης με μηχανοκίνητα μέσα από 28% που είναι σήμερα σε ποσοστό 15% έως το 2030. Σημαντικό ρόλο σε αυτό το στόχο έχει και το ποδήλατο. Ήδη το στενό ιστορικό κέντρο της πόλης είναι ήπιας κυκλοφορίας ή ημιπεζοδρομημένο και το ποδήλατο κατέχει ικανό μερίδιο στις μετακινήσεις των κατοίκων. που αγγίζει το 10% όταν ο καιρός το επιτρέπει.

Το ποδηλατικό δίκτυο υποδομών της Βιέννης αποτελείται από 1.660 km ποδηλατικών διαδρομών, μονοπατιών και ποδηλατοδρόμων το οποίο αναβαθμίζεται συνεχώς. Οι φορείς της πόλης αναγνωρίζουν την προοπτική εξέλιξης της χρήσης του ποδηλάτου στη Βιέννη, αν αναλογιστεί κανείς τον δείκτη κάλυψης του συγκοινωνιακού δικτύου όπου επιτρέπει ένα σύστημα συνδυασμένων μετακινήσεων.

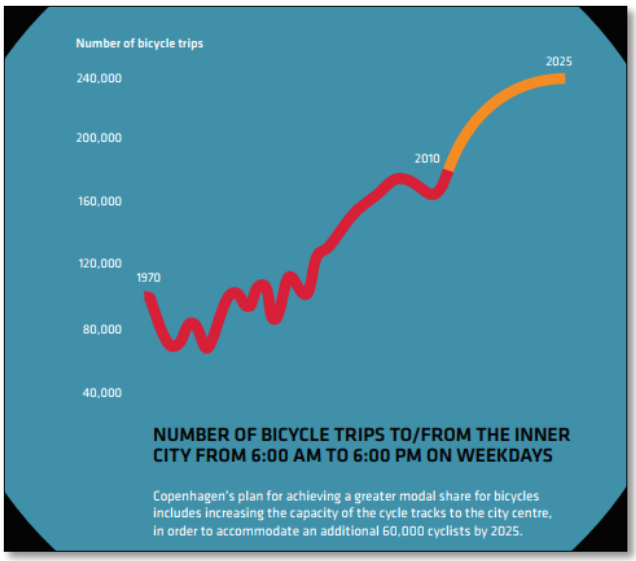
Τέλος, η πόλη που υποστηρίζει ευρέως τις μετακινήσεις με τα πόδια. Εντός των ορίων της πόλης υπολογίζεται ότι ένα 20% των μετακινήσεων γίνεται σταθερά με τα πόδια παράλληλα με το ποσοστό περίπου 38% που καλύπτουν οι δημόσιες συγκοινωνίες (Wiener Linien) που έχει αυξητική τάση.

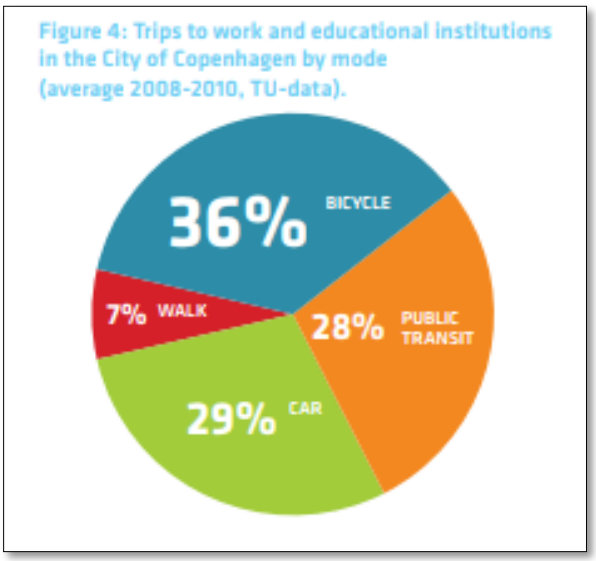
Σχήμα 2.4.1-3. Κοινόχρηστα ποδήλατα στην Βιέννη
[Πηγή: Wikipedia Commons]

Κοπεγχάγη, Δανία

Η Κοπεγχάγη είναι η πρωτεύουσα της Δανίας και βρίσκεται στην ανατολική ακτογραμμή της χώρας. Είναι από τις μεγαλύτερες πόλεις όλων των χωρών της Βαλτικής. Η ευρύτερη περιοχή της Κοπεγχάγης με τις κωμοπόλεις δορυφόρους της συγκεντρώνει πάνω από 1.3 εκατομμύρια κατοίκους ενώ η στενή αστική περιοχή αγγίζει τους 800.000 (εκτίμηση 2022). Η πόλη έχει πολύ υψηλό επίπεδο διαβίωσης, ενώ δεν είναι λίγες οι φορές που παρουσιάζεται ως πόλη πρότυπο σε πολλούς τομείς αφού τόσο από κατοίκους όσο και από επισκέπτες χαρακτηρίζεται ως η πιο φιλική προς τον άνθρωπο πόλη στον κόσμο. Σε αυτό αναμφισβήτητα συμβάλλει το γεγονός ότι παρουσιάζει υψηλό επίπεδο βιώσιμης αστικής κινητικότητας.

Το δίκτυο ποδηλατοδρόμων της αγγίζει τα 400 km, στο σύνολο του αυτόνομο χωρίς ανάμιξη με τον δρόμο πέραν των διασταυρώσεων και καλύπτει περίπου το 40% του οδικού δικτύου της πόλης. είναι εφοδιασμένο με υποδομή για ποδήλατο. Χαρακτηριστικά, επισημαίνεται ότι το 36% (2010) των καθημερινών μετακινήσεων προς σχολεία, πανεπιστήμια και χώρους εργασίας υλοποιείται με τη χρήση ποδήλατου, μεγαλύτερο και από το ποσοστό των μετακινήσεων με δημόσια συγκοινωνία και σίγουρα του αυτοκινήτου (Σχήμα). Καθώς πολλοί κάτοικοι που διασχίζουν μεγαλύτερες αποστάσεις χρησιμοποιούν συνδυασμένα τα ΜΜΜ και το ποδήλατό τους, αθροιστικά το ποσοστό των δύο τρόπων μετακίνησης ξεπερνά το 60% ενώ στόχος των αρχών της πόλης είναι να αυξήσουν την χρήση του ποδηλάτου σε ποσοστά της τάξης του 50%.





Σχήμα 2.4.1-4. Στοιχεία κινητικότητας και μεριδίου χρήσης διαδρομών ποδηλάτων Κοπεγχάγης
(The City of Copenhagen, Technical and Environmental Administration, 2011)

Χαρακτηριστικές σχεδιαζόμενες δράσεις ενίσχυσης της ποδηλατικής κουλτούρας της πόλης είναι οι παρακάτω :

- Σχολαστική συντήρηση της ποιότητας του οδοστρώματος σε όλο το δίκτυο ποδηλατοδρόμων
- Περαιτέρω διαπλάτυνση και προσθήκη λωρίδων ποδηλατοδρόμων σε κεντρικές αρτηρίες

- Βελτίωση υποδομών στάθμευσης
- Επανασχεδιασμός διασταυρώσεων
- Χρήση έξυπνων συστημάτων για έλεγχο κυκλοφορίας και απόδοση προτεραιότητας στους ποδηλάτες
- Κατασκευή σημείων ελέγχου και πληροφόρησης (πίεση ελαστικών, πλύσιμο, πληροφορίες καιρικών συνθηκών, βέλτιστες διαδρομές)
- Πληροφόρηση του κοινού για ορθή οδήγηση, τήρηση ΚΟΚ και κοινό τρόπο επικοινωνίας για αύξηση της ασφάλειας
- Μείωση ορίων ταχύτητας για αυτοκίνητα σε περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος (π.χ. σχολεία)

Σε πολλούς κεντρικούς σταθμούς του σιδηροδρόμου της πόλης σε αντίθεση με άλλες πόλεις που έχουν καταστήματα και αφετηρίες άλλων μέσων στην Κοπεγχάγη συναντά κανείς μεγάλους χώρους στάθμευσης ποδηλάτων διαφόρων τύπων ακόμα και ανεπτυγμένους σε ύψος σε 2 επίπεδα (**Σχήμα 2.4.1-5** & **2.4.1-6.**). Εκτιμάται ότι περίπου το 1/3 της επιβατικής κίνησης φτάνει με ποδήλατο.

Σχήμα 2.4.1-5 Χώροι στάθμευσης ποδηλάτων δυο επιπέδων στον κεντρικό ΣΣ της Κοπεγχάγης

Από την παραπάνω ανασκόπηση και περιπτωσιακή μελέτη γίνεται κατανοητό ότι με την κατάλληλη στρατηγική και την διαμόρφωση του αστικού χώρου οι πολίτες σιγά σιγά ενθαρρύνονται να δοκιμάσουν το διαφορετικό και αποκτούν μια πιο συλλογική νοοτροπία ως προς την προστασία του περιβάλλοντος και της πόλης τους ενώ αν αυτή τους η απόφαση βελτιώνει την καθημερινότητα τους και συνεχίζει να υποστηρίζεται από τους φορείς εν τέλει την υιοθετούν.

Τέλος, αναδεικνύεται η δύναμη του συνδυασμού πολεοδομικού και συγκοινωνιακού σχεδιασμού όσον αφορά τη μείωση των μετακινήσεων με αυτοκίνητο ιδίως σε μια χώρα όπου οι καιρικές συνθήκες θα μπορούσαν εύκολα να κάνουν τους κατοίκους να υιοθετούν μόνο όταν ο καιρός είναι αίθριος.

Σχήμα 2.4.1-6. Σταθμευμένα ποδήλατα έξω από σταθμό ΜΣΤ, Κοπεγχάγη.
[Πηγή: ©Naomi Patton, 2015 Pinterest]

2.4.2. Μικρά ηλεκτρικά οχήματα

Τα μικρά ηλεκτρικά οχήματα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα τα τελευταία χρόνια και αυτό οφείλεται αφενός στην τάση για φιλικότερες προς το περιβάλλον μορφές μετακίνησης αλλά και στην πρόοδο της αντίστοιχης τεχνολογίας όπου ένας μικρός ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να κινήσει με επαρκή αυτονομία (20-30 km) ένα όχημα 10-12 κιλών μαζί με ένα αναβάτη, μόνο με μια μπαταρία χωρητικότητας όσο δύο κινητών τηλεφώνων (~7000 mAh).

Πρόσφατα μάλιστα με το Ν. 4784/2021 « Η Ελλάδα σε κίνηση: Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα -Μικροκινητικότητα» (ΦΕΚ 40/Α΄/16.3.2021) σε εθνικό επίπεδο τροποποιείται ο Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.) (ν.2696/1999) προκειμένου να υπάρχει πρόβλεψη σε αυτόν και για αυτούς για τους χρήστες των ελαφρών οχημάτων οι οποίοι πολλές φορές χωρίς καμία προσοχή κινούνται μέσα στην πόλη, σε μια προσπάθεια ρύθμισης της κυκλοφορίας τους, ιδίως υπό το πρίσμα ότι αυτά τα οχήματα δεν είναι πάντα ιδιόκτητα και υπάρχουν πολλές υπηρεσίες ολιγόωρης ενοικίασης e-bikes και e-scooters μέσω ηλεκτρονικών εφαρμογών.

Ως «Ελαφρύ προσωπικό ηλεκτρικό όχημα (Ε.Π.Η.Ο.)» ορίζεται το όχημα που κινείται με ηλεκτροκινητήρα και δεν υπάγεται στο πεδίο εφαρμογής του Κανονισμού 858/2018/ΕΕ, του Κανονισμού 168/2013/ΕΕ, της Οδηγίας 2009/48/ΕΚ και της Οδηγίας 2007/46/ΕΚ. Στα οχήματα αυτά υπάγονται τα κινούμενα με ηλεκτροκινητήρα:

α) πατίνια (e-scooters)
β) τροχοπέδιλα (rollers) και τροχοσανίδες (skateboards)

γ) αυτοεξισορροπούμενα προσωπικά οχήματα δηλαδή μηχανοκίνητα μονόκυκλα οχήματα ή μηχανοκίνητα δίκυκλα οχήματα διπλής τροχιάς, που βασίζονται σε εγγενή ασταθή ισορροπία και χρειάζονται βοηθητικό σύστημα ελέγχου για να διατηρούν την ισορροπία τους,
δ) Ε.Π.Η.Ο. που δεν υπάγονται σε κάποια κατηγορία εκ των ανωτέρω, στα οποία συμπεριλαμβάνονται ηλεκτροκίνητα αμαξίδια ατόμων με αναπηρία, ενισχυμένα και απλά, scooters και handbikes ατόμων με αναπηρία.

Τα Ε.Π.Η.Ο. διακρίνονται ανάλογα με την ταχύτητα κατασκευής σε:

- αα) οχήματα των οποίων η μέγιστη σχεδιαστική ταχύτητα δεν υπερβαίνει τα 6 χλμ./ώρα. Αυτά τα οχήματα θεωρούνται και κυκλοφορούν ως πεζοί,
- αβ) οχήματα των οποίων η μέγιστη σχεδιαστική ταχύτητα υπερβαίνει τα 6 χλμ./ώρα, αλλά δεν υπερβαίνει τα 25 χλμ./ώρα. Θεωρούνται και κυκλοφορούν ως ποδήλατα, τηρουμένων των κανόνων σήμανσης και σηματοδότησης και των απαιτήσεων των ποδηλάτων, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στα επιμέρους άρθρα.

Το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας των Ε.Π.Η.Ο. ορίζεται σε 25 km/h, ενώ η κυκλοφορίας τους απαγορεύεται σε οδούς όπου το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ταχύτητας των αυτοκίνητων οχημάτων υπερβαίνει τα 50 km/h (εκτός αστικής ζώνης και σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας).

Είναι προφανές ότι ακόμη και αν επιτρέπεται, η μικτή κίνηση με τέτοια οχήματα με τα αυτοκίνητα και τις συγκοινωνίες δεν είναι η ιδανική λύση καθώς έχουν τον ίδιο χαρακτήρα με τα ποδήλατα και η χρήση τους ενέχει παρόμοιους κινδύνους ώστε να προσθέτει βάρος στην ανάγκη δημιουργίας δικτύου ποδηλατοδρόμων. Όσον αφορά την μεταφορά τους είναι πιο φορητά από τα ποδήλατα και μπορούν να μεταφερθούν με τις συγκοινωνίες για μεγάλη απόσταση χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν χρειάζονται και οι υποδομές ασφαλούς στάθμευσής τους σε σημεία όπου παρατηρείται ή εκτιμάται ότι θα υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση (πχ. Πεζοδρόμους, εμπορικά κέντρα κ.α.).

Σχήμα 2.4.2-1 (a)Κίνηση e-scooters σε ποδηλατόδρομο διαχωρισμένο από την οδό, (b) Στόλος ηλεκτροκίνητων ποδηλάτων με σύστημα ενοικίασης για περιήγηση
[Πηγή: (a) Didier Robcis , Lime , (b) secretsofparis.com[5]]

[5] https://secretsofparis.com/practical/using-the-velib-bike-service-in-paris/ (Last accessed: 02/06/2022)

2.5. Τα Σχέδια Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ)

Τα ΣΒΑΚ αποτελούν μια στοχευμένη προσπάθεια της ΕΕ να δημιουργήσει σε επίπεδο πόλης ένα σύνολο σχεδίων τα οποία θα έχουν κοινό άξονα προς την προώθηση της Αστικής Κινητικότητας ευθυγραμμισμένα με τις επιμέρους στρατηγικές που έχει θεσμοθετήσει τα τελευταία χρόνια όσον αφορά τα απόβλητα, τις καλές πρακτικές, την μείωση των εκπομπών σε διάφορους τομείς κ.ο.κ.

Σύμφωνα με το Ν. 4784/2021 (ΦΕΚ 40/Α΄/16.03.2021), αρ. 2 ,το ΣΒΑΚ ορίζεται ως εξής: *«Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (Σ.Β.Α.Κ.)» : το στρατηγικό σχέδιο κινητικότητας που καταρτίζεται με σκοπό την κάλυψη των αναγκών για την κινητικότητα των ανθρώπων και τη μεταφορά αγαθών στον αστικό και περιαστικό ιστό προς διασφάλιση καλύτερης ποιότητας ζωής. Το Σ.Β.Α.Κ. στηρίζεται σε υφιστάμενες πρακτικές σχεδιασμού λαμβάνοντας υπόψη αρχές ενσωμάτωσης επιμέρους τομεακών πολιτικών, συμμετοχικότητας και αξιολόγησης.*

Ένα ΣΒΑΚ μπορεί να δομείται πάνω σε μια ήδη υπάρχουσα, μακροπρόθεσμη στρατηγική για τη μελλοντική ανάπτυξη μιας αστικής περιοχής (ELTIS, n.d.), ή να την εισάγει εκ νέου σε νέα βάση εφαρμόζοντας τα ευρωπαϊκώς πετυχημένα πρότυπα και πρακτικές, ειδικότερα δίνοντας ιδιαίτερο βάρος στο σχεδιασμό της υποδομής και των υπηρεσιών μεταφορών και κινητικότητας. Στο μέλλον μετά την ολοκλήρωση τους θα αποτελούν αναπόσπαστο εργαλείο των φορέων της τοπικής και της περιφερειακής αυτοδιοίκησης, καθώς και άλλων εμπλεκομένων φορέων για τη στρατηγική αντιμετώπιση των θεμάτων βιώσιμης κινητικότητας και τον σχεδιασμό παρεμβάσεων για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών.

Σημαντική διαφορά των ΣΒΑΚ με παλαιότερα σχέδια και πολιτικές είναι ότι ενισχύεται σημαντικά η διαδικασία της διαβούλευσης με τους πολίτες να μπορούν να υποστηρίξουν ενεργά την δική τους άποψη στις διαδικασίες ανώτερου σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων.

Στην εκπόνηση του σχεδίου, περιλαμβάνεται ακόμα ένα σχέδιο βραχυπρόθεσμης υλοποίησης της στρατηγικής που εισάγεται, το οποίο επισημαίνει τους απαιτούμενους πόρους ανά παρέμβαση και προσδιορίζει τον χρονικό ορίζοντα υλοποίησης, επιμερίζοντας τις απαιτούμενες δράσεις και τις αρμοδιότητες. Κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί πως από κάποιο χρονικό σημείο και έπειτα η ύπαρξη επικαιροποιημένου ΣΒΑΚ σε μια αστική περιοχή θα θεωρείται αυτονόητη από πλευράς της ΕΕ για τη χρηματοδότηση παρεμβάσεων και έργων με κοινοτικούς πόρους.

Γενικοί στόχοι ΣΒΑΚ

- Προσβασιμότητα στις θέσεις εργασίας και τις υπηρεσίες
- βελτίωση της δημόσιας υγείας και της ασφάλειας
- Προσβασιμότητα στις μεταφορές για όλους
- Μείωση της ατμοσφαιρικής και ακουστικής ρύπανσης, των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και της κατανάλωσης ενέργειας → Ευνοϊκή μετάβαση προς βιώσιμες μορφές ενέργειας
- Αύξηση της αποτελεσματικότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας των μεταφορών
- Ενίσχυση της ελκυστικότητας και της ποιότητας του οικιστικού περιβάλλοντος
- Βελτίωση της ποιότητας της δημόσιας συγκοινωνίας, εισαγωγή έξυπνων πρακτικών για ευέλικτη ανταπόκριση στη ζήτηση, συνδυασμένες μεταφορές
- Ενίσχυση της μικροκινητικότητας, δημιουργία κατάλληλων υποδομών

Σχήμα 2.5-1. Βασικοί άξονες στην δομή ενός ΣΒΑΚ
[Πηγή: Μονάδα Βιώσιμης Κινητικότητας ΕΜΠ]

Ειδικότεροι στόχοι ΣΒΑΚ

- Μετατροπή του αυτοκινήτου σε μια πιο βιώσιμη, ασφαλή και διακριτική παρουσία , ενίσχυση ηλεκτροκίνησης και πρακτικών διαμοιρασμού: κοινόχρηστα οχήματα (car sharing), συνοδήγηση (car pooling)
- Ενίσχυση του βαδίσματος και του ποδηλάτου, δημιουργία ήπιων διαδρομών κίνησης και νέων υποδομών, συστήματα bike sharing, ηλεκτρικά ποδήλατα, έξυπνοι τρόποι πληροφόρησης
- Ανάπτυξη εμπορευματικών μεταφορών, περιορισμός περιβαλλοντικού αποτυπώματος, ρύθμιση εναλλακτικών μορφών τροφοδοσίας αγαθών
- Εφαρμογή ειδικών σχεδίων προσβασιμότητας περιοχές με κλίσεις, αραιοκατοικημένες περιοχές, κ.λπ.
- Ανακατανομή του οδικού χώρου
- Ανάπτυξη βιώσιμου τουρισμού: διακοπές με λιγότερο ή καθόλου αυτοκίνητο
- Εισαγωγή στοιχείων τεχνολογικής καινοτομίας
- Συντονισμός του χωρικού σχεδιασμού με τον συγκοινωνιακό και άλλες τομεακές πολιτικές και σχεδιασμούς για την καλύτερη εποπτεία της αστικής εξάπλωσης
- Τρόποι οικονομικής συμβολής του Ιδιωτικού Τομέα

Το Σχέδιο θα πρέπει να βασίζεται σε μια προσεκτική αξιολόγηση της τρέχουσας και της μελλοντικής απόδοσης του συστήματος αστικών μεταφορών, εξετάζοντας την υφιστάμενη κατάσταση, διαμορφώνοντας ένα επίπεδο αναφοράς έναντι του οποίου μπορεί να μετρηθεί η μελλοντική πρόοδος και καθορίζοντας στόχους απόδοσης και σχετικούς 'ευφυείς-SMART' στόχους για την καθοδήγηση της υλοποίησης του σχεδίου (ELTIS, n.d.).

«Το στρατηγικό αυτό σχέδιο πρέπει να παράξει ένα συγκεκριμένο όραμα για τις μεταφορές και την κινητικότητα σε μία δεδομένη περιοχή μελέτης, με δεδομένους στόχους και αναλυτική περιγραφή πλαισίου μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τις απόψεις των κατοίκων της περιοχής. Το όραμα αυτό μπορεί να

έχει ορίζοντα 5ετίας, 10ετίας ή 20ετίας και οφείλει να παρακολουθείται και αξιολογείται διαρκώς ως προς το ποσοστό ολοκλήρωσής του» (Μονάδα Βιώσιμης Κινητικότητας ΕΜΠ, n.d.)

Τα ΣΒΑΚ αποτελούν στοιχεία του ανώτερου «στρατηγικού» σχεδιασμού, για το λόγο αυτό δεν είναι απολύτως δεσμευτικά προς τους φορείς, ενώ αυτοί υποχρεούνται σε εκπόνηση κατάλληλων επιμέρους μελετών για τον τελικό σχεδιασμό και την εφαρμογή τους όπου μπορούν να υπάρξουν και αποκλίσεις από τις κατευθύνσεις, κάτι που δεν ισχύει για μια κυκλοφοριακή, περιβαλλοντική, συγκοινωνιακή η αντίστοιχη μελέτη που ανήκει σε κατώτερο επίπεδο.

Η περιοχή παρέμβασης – μελέτης ενός ΣΒΑΚ μπορεί να περιλαμβάνει το σύνολο της περιοχής κάλυψης ενός ΟΤΑ α' ή β' βαθμού, παρόλα αυτά εάν διαπιστώνεται πως υπάρχουν άμεσες λειτουργικές συσχετίσεις ως προς το σύστημα μετακινήσεων με όμορες περιοχές, με κατάλληλη τεκμηρίωση μπορεί να επιλεγεί μια μεγαλύτερη περιοχή και να εξεταστούν οι επιμέρους πυρήνες της αναλυτικά.

Συμπερασματικά, θα είναι ενδιαφέρον παράδειγμα εφαρμογής ιδιαίτερα για τα ελληνικά δεδομένα καθώς σύμφωνα με το Ν. 4784/2021, ως περιοχή παρέμβασης καλείται η περιοχή στην οποία θα εφαρμοσθούν τα μέτρα του ΣΒΑΚ και στην περίπτωση που καταρτίζεται ενιαίο ΣΒΑΚ κάθε φορέας που συμμετέχει ευθύνεται για την εφαρμογή του τμήματος που εμπίπτει στην περιοχή αρμοδιότητάς του.

2.6. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον συγκοινωνιακό σχεδιασμό και τις υποδομές – Ευρωπαϊκές πολιτικές

Οι πόλεις διαδραματίζουν ένα πολύ καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων. Είναι προφανώς πρακτικά αδύνατον να ορίσουμε ως τρόπο αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής το "πάγωμα" κάθε μορφής ανάπτυξης και δραστηριότητας που μπορεί να επιφέρει αρνητική επίπτωση συνολικά στο φαινόμενο είτε προσωρινά είτε μόνιμα. Για το λόγο αυτό η μόνη λύση που φαίνεται να εξασφαλίζει την επίτευξη του στόχου να ανακοπεί η ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου είναι με την πρόοδο της τεχνολογίας, τις ευκολίες που προσφέρει ο ψηφιακός ανασχηματισμός, και σαφή μέτρα να σχεδιάσουμε την κλιματική ουδετερότητα στο χώρο διαβίωσής μας.

EU Cities Mission

Η αποστολή "Cities Mission" έχει σκοπό να εμπλέξει τοπικές, περιφερειακές και εθνικές αρχές, συλλογικότητες, πολίτες, επενδυτές, ερευνητές και επιχειρήσεις σε ένα κοινό στόχο, αυτές οι πόλεις να λειτουργήσουν ως κόμβοι πειραματισμού και καινοτομίας. Ένας από τους μεσοπρόθεσμους στόχους που έχουν τεθεί είναι η μετεξέλιξη 100 πόλεων σε έξυπνες και ενεργειακά ουδέτερες έως το 2030, που θα επιτρέψει σε όλες τις ευρωπαϊκές πόλεις να ακολουθήσουν το παράδειγμά τους μέχρι το 2050, ακολουθώντας ένα μείγμα δράσεων. (European Commission, n.d.)

Όπως προβλέπεται στο σχέδιο εφαρμογής, η δράση αυτή χρησιμοποιεί μια πολυεπίπεδη και διατομεακή προσέγγιση βασισμένη στην πραγματική ζήτηση, δημιουργώντας συνέργειες μεταξύ των υφιστάμενων πρωτοβουλιών και βασίζοντας τις δραστηριότητές της στις πραγματικές ανάγκες των πόλεων.

377 πόλεις από όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ είχαν εκφράσει το ενδιαφέρον για συμμετοχή στο πρόγραμμα δράσης. Στις 28 Απριλίου 2022 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε τις 100 πόλεις που θα συμμετάσχουν στην πρώτη φάση του "EU Cities Mission", οι οποίες προέρχονται από τα 27 κράτη μέλη, καθώς και 12 επιπλέον πόλεις που προέρχονται από χώρες που συνδέονται ή είναι στη διαδικασία συσχέτισης με το ευρωπαϊκό πρόγραμμα ανάπτυξης και στήριξης Horizon Europe.

Οι 100 επιλεγμένες πόλεις καλούνται τώρα να αναπτύξουν Κλιματικές συμβάσεις σε επίπεδο πόλης που θα περιλαμβάνουν ένα συνολικό σχέδιο για την ουδετερότητα του κλίματος σε όλους τους τομείς όπως η ενέργεια, τα κτίρια, η διαχείριση των αποβλήτων και οι μεταφορές, μαζί με συναφή επενδυτικά σχέδια, μια διαδικασία που θα πρέπει να περιλαμβάνει τους.

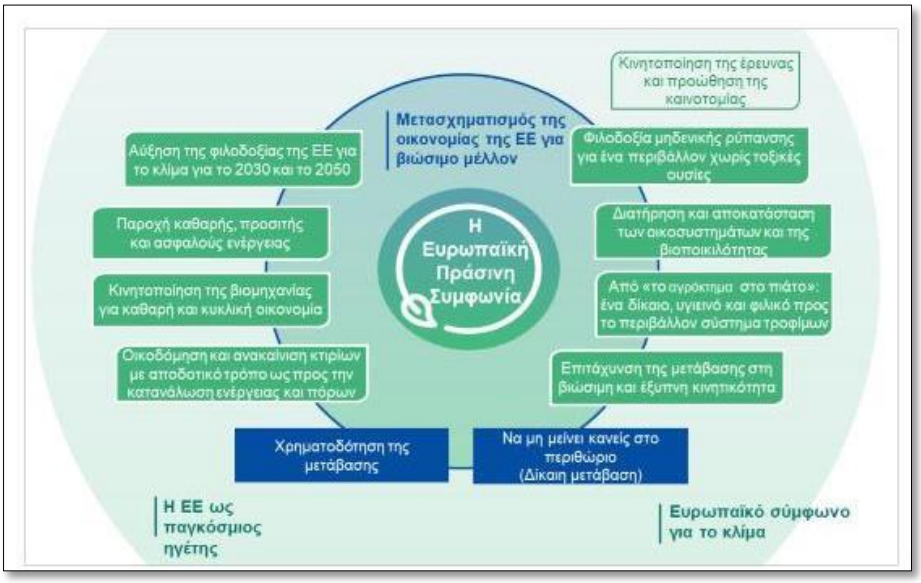
Για την Ελλάδα οι πόλεις που εντάχθηκαν στο Cities Mission είναι η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, τα Ιωάννινα, η Καλαμάτα, η Κοζάνη και τα Τρίκαλα.

Πράσινη Συμφωνία

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) αποτελεί μια νέα αναπτυξιακή στρατηγική που αποσκοπεί στον μετασχηματισμό της ΕΕ σε μια δίκαιη και ευημερούσα κοινωνία που διαθέτει μια οικονομία σύγχρονη, ανταγωνιστική και αποδοτική ως προς τη χρήση των φυσικών πόρων και των πρώτων υλών. Απώτερος στόχος φτάνοντας το 2050 να έχουν μηδενιστεί οι καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αλλά και στο μέτρο του δυνατού να έχει απεμπλακεί η έννοια της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση των πόρων.

Επιπλέον, αποσκοπεί στην προστασία, τη διατήρηση και την ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ, καθώς και στην προστασία της υγείας και της ευημερίας των πολιτών από κινδύνους και επιπτώσεις που σχετίζονται με το περιβάλλον. Ωστόσο λαμβάνεται υπόψιν ότι η μετάβαση αυτή πρέπει να είναι δίκαιη και χωρίς αποκλεισμού, δίνοντας προτεραιότητα στον άνθρωπο και να μεριμνά για τις περιφέρειες, τους κλάδους και τους εργαζομένους που θα έρθουν αντιμέτωποι με τις μεγαλύτερες προκλήσεις από την προσαρμογή αυτή.

Η βασική ιδεολογία πίσω από την Πράσινη Συμφωνία είναι πως η ΕΕ προκειμένου να διατηρήσει τις εκτάσεις της για τις επόμενες γενιές αλλά και να συμβάλλει στην διατήρηση του πλανήτη και την διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος θα πρέπει να μετασχηματίσει ριζικά την δομή της οικονομίας της και τις εξαρτήσεις της.



Σχήμα 2.6-1. Η δομή και οι βασικοί πυλώνες της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας

- **Σχεδιασμός μιας δέσμης πολιτικών που επιφέρουν βαθύ μετασχηματισμό**

  Προκειμένου να υλοποιηθεί η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, είναι αναγκαίο να επανεξεταστούν οι πολιτικές για τον εφοδιασμό με καθαρή ενέργεια όλης της οικονομίας, για τη βιομηχανία, την παραγωγή και την κατανάλωση, τις υποδομές μεγάλης κλίμακας, τις μεταφορές, τα τρόφιμα και τη γεωργία, τις κατασκευές, τη φορολογία και τις κοινωνικές παροχές.

  Η ΕΕ έχει ήδη αρχίσει να εκσυγχρονίζει και να μετασχηματίζει την οικονομία αποσκοπώντας στην κλιματική ουδετερότητα. Μεταξύ του 1990 και του 2018 επετεύχθει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 23 %, παράλληλα με την ανάπτυξη της οικονομίας κατά 61 %.

  Πρέπει να ληφθεί υπόψιν στον σχεδιασμό των πολιτικών ότι εφόσον πολλοί διεθνείς εταίροι δεν διαθέτουν την ίδια φιλοδοξία με την ΕΕ, ο κίνδυνος διαρροής άνθρακα στην ατμόσφαιρα ακόμα ελλοχεύει, είτε λόγω της μεταφοράς της παραγωγής από την ΕΕ σε τρίτες χώρες που έχουν λιγότερο φιλόδοξους στόχους μείωσης των εκπομπών, είτε επειδή τα ακριβότερα (λόγω συμμόρφωσης με τις περιβαλλοντικές οδηγίες) προϊόντα της ΕΕ αντικαθίστανται από εισαγόμενα υψηλότερης έντασης άνθρακα.

- Η περαιτέρω απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος είναι κρίσιμης σημασίας για την επίτευξη των κλιματικών στόχων για το 2030 και το 2050.

  Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας στο σύνολο των τομέων της οικονομίας αντιπροσωπεύουν πάνω από το 75 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ. Ως εκ τούτου πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην ενεργειακή απόδοση.

- Τα κράτη μέλη έπρεπε να υποβάλουν τα αναθεωρημένα τους σχέδια για την ενέργεια και το κλίμα έως το τέλος του 2019. Σύμφωνα με τον κανονισμό για τη διακυβέρνηση της Ενεργειακής Ένωσης και της Δράσης για το Κλίμα, τα σχέδια αυτά θα πρέπει να καθορίζουν φιλόδοξες εθνικές συνεισφορές στους στόχους σε επίπεδο ΕΕ.

- Πρέπει να αντιμετωπιστεί ο κίνδυνος ενεργειακής φτώχειας για τα νοικοκυριά που δεν διαθέτουν την οικονομική δυνατότητα για βασικές ενεργειακές υπηρεσίες που εξασφαλίζουν ένα βασικό βιοτικό επίπεδο.

- **Για την επίτευξη μιας κλιματικά ουδέτερης και κυκλικής οικονομίας, είναι αναγκαία η πλήρης κινητοποίηση της βιομηχανίας.** Εκτιμάται πως χρειάζονται 25 χρόνια —μία γενιά— για τον μετασχηματισμό ενός βιομηχανικού κλάδου και όλων των αλυσίδων αξίας.

- **Η μετάβαση αποτελεί ευκαιρία για να διευρυνθεί η βιώσιμη οικονομική δραστηριότητα που διαθέτει υψηλή ένταση εργασίας.** Οι παγκόσμιες αγορές παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές για τις τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών και τα βιώσιμα προϊόντα και υπηρεσίες.

- **Μια βιώσιμη πολιτική προϊόντων παρέχει επίσης δυνατότητες για σημαντική μείωση των αποβλήτων.** Όταν τα απόβλητα είναι αναπόφευκτα, πρέπει να ανακτάται η οικονομική αξία τους και να αποφεύγονται ή να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και στην κλιματική αλλαγή.

- **Η πρόσβαση σε πόρους αποτελεί επίσης στρατηγικό ζήτημα ασφαλείας για τη φιλοδοξία της Ευρώπης να υλοποιήσει την Πράσινη Συμφωνία**

- **Οι ψηφιακές τεχνολογίες αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας της Πράσινης Συμφωνίας σε πολλούς και διάφορους τομείς.**

  Η Επιτροπή θα διερευνήσει μέτρα ώστε οι ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα δίκτυα 5ης γενιάς, η υπολογιστική νέφους, η υπολογιστική αιχμής και το διαδίκτυο των πραγμάτων κ.α.

- ***Επιτάχυνση της μετάβασης στη βιώσιμη και έξυπνη κινητικότητα***

  Οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν το ένα τέταρτο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ, και εξακολουθούν να αυξάνονται. Για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας, απαιτείται μείωση των εκπομπών από τις μεταφορές κατά 90 % έως το 2050. Οι οδικές, σιδηροδρομικές, αεροπορικές και πλωτές μεταφορές θα πρέπει όλες να συμβάλουν στη μείωση αυτή, ενώ η τιμή των μεταφορών πρέπει να αντικατοπτρίζει τον αντίκτυπο που έχουν αυτές στο περιβάλλον και στην υγεία. Οι επιδοτήσεις ορυκτών καυσίμων θα πρέπει να σταματήσουν και, στο πλαίσιο της αναθεώρησης της οδηγίας φορολόγησης της ενέργειας, η Επιτροπή θα εξετάσει εκ του σύνεγγυς τις τρέχουσες φορολογικές απαλλαγές, μεταξύ άλλων και για τα αεροπορικά και ναυτιλιακά καύσιμα, και θα διερευνήσει τον καλύτερο δυνατό τρόπο αντιμετώπισης των τρόπων διαφυγής.

- Η ΕΕ θα πρέπει παράλληλα **να επιταχύνει την παραγωγή και την διανομή βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων για τις μεταφορές.** Έως το 2025, θα χρειαστούν περίπου 1

εκατομμύριο δημόσιοι σταθμοί επαναφόρτισης και ανεφοδιασμού για τα 13 εκατομμύρια οχήματα μηδενικών και χαμηλών εκπομπών που αναμένεται ότι θα κυκλοφορούν στους ευρωπαϊκούς δρόμους. Η Επιτροπή θα στηρίξει την εγκατάσταση δημόσιων σταθμών επαναφόρτισης και ανεφοδιασμού, όπου εξακολουθούν να υπάρχουν κενά, ιδίως για ταξίδια μεγάλων αποστάσεων και σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές, και θα δρομολογήσει το συντομότερο δυνατόν νέα πρόσκληση χρηματοδότησης για την επίτευξη αυτού του στόχου.

- **Τα οικοσυστήματα παρέχουν βασικές υπηρεσίες, όπως τρόφιμα, καθαρό νερό και καθαρό αέρα, και στέγαση.** Μετριάζουν τις φυσικές καταστροφές, τους κινδύνους από επιβλαβείς οργανισμούς και ασθένειες και συμβάλλουν στη ρύθμιση του κλίματος. Ωστόσο, η ΕΕ δεν ανταποκρίνεται σε ορισμένους από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς στόχους της για το 2020.
- **Η στρατηγική για τη βιοποικιλότητα θα προσδιορίσει συγκεκριμένα μέτρα για την υλοποίηση αυτών των στόχων.** Σε αυτούς θα μπορούσαν να περιλαμβάνονται ποσοτικοποιημένοι στόχοι, όπως η αύξηση της κάλυψης προστατευόμενων χερσαίων και θαλάσσιων περιοχών με πλούσια βιοποικιλότητα με βάση το δίκτυο Natura 2000. Τα κράτη μέλη θα πρέπει επίσης να ενισχύσουν τη διασυνοριακή συνεργασία για την αποτελεσματικότερη προστασία και αποκατάσταση των περιοχών που καλύπτονται από το δίκτυο Natura 2000.
- **Για να επιτευχθούν οι φιλόδοξοι στόχοι που θέτει η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, πρέπει να καλυφθούν σημαντικές επενδυτικές ανάγκες. Η Επιτροπή θα παρουσιάσει ένα επενδυτικό σχέδιο για μια βιώσιμη Ευρώπη,** το οποίο θα συμβάλει στην κάλυψη των πρόσθετων χρηματοδοτικών αναγκών
- **Η Επιτροπή θα παρουσιάσει ένα επενδυτικό σχέδιο για μια βιώσιμη Ευρώπη,** το οποίο θα συμβάλει στην κάλυψη των πρόσθετων χρηματοδοτικών αναγκών

Το InvestEU ενισχύει επίσης τη συνεργασία με εθνικές αναπτυξιακές τράπεζες και ιδρύματα, η οποία μπορεί να προωθήσει τον συνολικό περιβαλλοντικό προσανατολισμό των δραστηριοτήτων τους για την επίτευξη των στόχων πολιτικής της ΕΕ.

- **Στο πλαίσιο του επενδυτικού σχεδίου για μια βιώσιμη Ευρώπη, η Επιτροπή θα προτείνει έναν μηχανισμό δίκαιης μετάβασης, ο οποίος θα περιλαμβάνει ένα ταμείο δίκαιης μετάβασης, ώστε να μην μείνει κανείς στο περιθώριο.**
- **Τα σχολεία, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και τα πανεπιστήμια βρίσκονται σε ευνοϊκή θέση για να συμμετέχουν με τους μαθητές, τους γονείς και την ευρύτερη κοινότητα στις αλλαγές που απαιτούνται για μια επιτυχή μετάβαση.**
- **Η Επιτροπή εργάζεται για την παροχή στα κράτη μέλη νέων χρηματοδοτικών πόρων προκειμένου να ενισχυθεί η βιωσιμότητα των σχολικών κτιρίων και λειτουργιών.**
- **Για να αξιοποιηθούν τα οφέλη της οικολογικής μετάβασης είναι αναγκαία η προοραστική επανεκπαίδευση και αναβάθμιση των δεξιοτήτων.** Το προτεινόμενο Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο βοηθώντας το εργατικό δυναμικό

της Ευρώπης να αποκτήσει τις δεξιότητες που χρειάζεται για τη μετάβαση από παρακμάζοντες τομείς σε αναπτυσσόμενους τομείς και για την προσαρμογή σε νέες διαδικασίες.

Η συμμετοχή και η δέσμευση του κοινού και όλων των ενδιαφερόμενων μερών έχει ζωτική σημασία για την επιτυχία της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Τα πρόσφατα πολιτικά γεγονότα καταδεικνύουν ότι οι ρηξικέλευθες πολιτικές παράγουν αποτελέσματα μόνο όταν οι πολίτες συμμετέχουν πλήρως στον σχεδιασμό τους. Οι πολίτες ανησυχούν για την απασχόληση, τη θέρμανση των σπιτιών τους και την κάλυψη των καθημερινών τους αναγκών, και τα θεσμικά όργανα της ΕΕ θα πρέπει να συνεργαστούν μαζί τους για την επιτυχία της πράσινης συμφωνίας και την υλοποίηση μακροχρόνιων αλλαγών. Οι πολίτες είναι και θα πρέπει να παραμείνουν κινητήρια δύναμη της μετάβασης. (European Commission, 2019)

Κεφάλαιο 3: Διαθέσιμες εναλλακτικές μορφές ενέργειας

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται οι νέες τεχνολογίες που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην εξυγίανση των μεταφορών τα επόμενα χρόνια. Εισαγωγικά τίθεται το ερώτημα κατά πόσον θα πρέπει να στοχεύουμε στην διατήρηση μέρους των παραδοσιακών μεταφορικών μέσων και καυσίμων αυξάνοντας το ποσοστό συμμετοχής μέσων με λειτουργία βασισμένη σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας ή στον καθολικό εξηλεκτρισμό τους σε βάθος χρόνου.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι εναλλακτικές που εφαρμόζονται στα οχήματα προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόδοσή τους με το μικρότερο δυνατό ενεργειακό κόστος θέτοντας σαν στόχο ταυτόχρονα την μείωση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Με αφορμή αυτό γίνεται μια παρουσίαση των προτύπων ατμοσφαιρικών εκπομπών που έχει θεσπίσει η ΕΕ ιδίως για τα βαρέα οχήματα των συγκοινωνιών που συνεισφέρουν σε μεγάλο ποσοστό μαζί με τον κλάδο των μεταφορών στο πρόβλημα.

Τέλος γίνεται μια εκτενής μελέτη των φωτοβολταϊκών, των αρχών λειτουργίας τους, της παραγόμενης ισχύος και των πιθανών πλεονεκτημάτων καθώς η ηλιακή ενέργεια αν και δεν είναι η αποδοτικότερη μορφή ΑΠΕ, ωστόσο μπορεί να έχει εφαρμογή σε πολλά περιβάλλοντα και ιδίως σε έναν αστικό ιστό όπου ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος.

3.1. Μικρής κλίμακας παρεμβάσεις ή εξηλεκτρισμός?

Οι μεσίτες ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και οι συμμετέχοντες στο σχεδιασμό πολιτικών προσπαθούν με τις στρατηγικές που προωθούν να επιτύχουν μια πλήρη μετάβαση στην καθαρή ηλεκτροκίνηση στο συντομότερο δυνατό χρόνο.

Τόσο οι πόλεις όσο και σε ανώτερο επίπεδο τα κράτη παγκοσμίως σχεδιάζουν μέτρα και πολιτικές για την μείωση των εκπομπών και μεταξύ αυτών για την οριστική απαγόρευση των βενζινοκίνητων οχημάτων στην επόμενη δεκαετία. Αυτό σίγουρα αποτελεί αισιόδοξη προσέγγιση η οποία θα χρειαστεί πολλές διορθώσεις κατά την εφαρμογή αφού δεν μπορεί να γίνει καθολικά και με μόνο κριτήριο το καύσιμο, την ίδια στιγμή που ακόμα και σήμερα όλοι σχεδόν οι μεγάλοι κατασκευαστές στην αυτοκινητοβιομηχανία προσφέρουν στην αγορά σύγχρονα οχήματα εξοπλισμένα με κινητήρες εσωτερικής καύσης βενζίνης ή πετρελαίου. Κάποιοι κατασκευαστές (General Motors, Volvo κ.α.) δηλώνουν πως ο σχεδιασμός τους είναι να σταματήσουν να διαθέτουν τέτοια οχήματα μέχρι το 2035.

Τα EVs έχουν χριστεί ως η διάδοχη τεχνολογία όμως επί του παρόντος αποτελούν λιγότερο από το ένα τοις εκατό (1%) του στόλου οχημάτων παγκοσμίως ενώ το τεράστιο άλμα ως προς την δημιουργία κατάλληλων υποδομών πολλές φορές φαίνεται να μην λαμβάνεται καθόλου υπ' όψιν. Είναι άραγε εφικτή η εκπλήρωση αυτών των υψηλών στόχων χωρίς να μετακυλήσει ένα σοβαρό κόστος στους καταναλωτές, όταν ο βαθμός ενσωμάτωσης στο παγκόσμιο στόλο θα απαιτεί από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να προσφέρουν τις ίδιες υπηρεσίες που προσφέρουν σήμερα τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα; Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα πρέπει να υπάρχουν στοιχεία χρήσης των οχημάτων σε παγκόσμια κλίμακα ώστε να μοντελοποιηθεί η ενεργειακή μετάβαση.

Το κύριο ερώτημα είναι αν η καθολική μετάβαση όλων των τύπων οχημάτων σε ηλεκτρικά είναι ρεαλιστική.

Ένας τρόπος είναι να διερευνηθεί σε επίπεδο πολιτών, εάν τελικά χρησιμοποιούν τα ηλεκτρικά οχήματα που αποκτούν με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούσαν μέχρι σήμερα τα κλασικά τους οχήματα. Το ερώτημα είναι καίριο και καθοριστικό αφού η σύγκριση θα αποτυπώσει σε αριθμούς εάν η αλλαγή καλύπτει τις καθημερινές ανάγκες ή θα υπάρχει ένα κενό στην κινητικότητα το οποίο θα σημαίνει πως η μετάβαση για μεγάλο μέρος του πληθυσμού θα είναι δύσκολη έως ότου τα ΗΟ κάνουν τέτοια πρόοδο ώστε να έχουν δυνατότητες ίσες με τους προκατόχους τους.

Προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει στις ΗΠΑ χρησιμοποίησαν στοιχεία έρευνας πεδίου, ωστόσο τέτοια αποτελέσματα τείνουν να προέρχονται από μικρά και πιθανώς μη αντιπροσωπευτικά δείγματα νοικοκυριών που ενθουσιάζονται να μιλήσουν με ερευνητές για τα υβριδικά ή ηλεκτρικά τους οχήματα (Burlig, 2021). Προκειμένου να είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα θα πρέπει να συλλέγονται από κατοικίες που έχουν εγκαταστήσει έναν ειδικό μετρητή της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην υποδομή φόρτισης του ηλεκτροκίνητου οχήματος, ώστε να προσομοιώνεται η συμπεριφορά σε τάξη μεγέθους εκατοντάδων χιλιάδων χρηστών. Δυστυχώς όμως το κόστος αυτών των μετρητών είναι αυξημένο ενώ η αγορά ενός τέτοιου οχήματος στην πλειοψηφία των χωρών δεν συνεπάγεται κάποια υποχρέωση για εγκατάσταση τέτοιου συστήματος ούτε για παροχή στατιστικών δεδομένων φόρτισης που συλλέγονται από τα ίδια τα οχήματα.

Ένας διαφορετικός πιο προσεγγιστικός τρόπος είναι η παρακολούθηση των οικιακών καταναλώσεων νοικοκυριών όπου έχουν στην κατοχή τους ηλεκτροκίνητο όχημα. Από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ από το 2014 έως το 2017 παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια σταθερή αύξηση στην ενεργειακή ζήτηση τις πρώτες βραδινές ώρες όπου συνήθως πραγματοποιείται η φόρτιση της τάξης των 3 kWh/ημέρα (~900 kWh/μήνα) ενώ παρατηρήθηκε ότι ανάλογα με τον κατασκευαστή κάποια οχήματα που πιθανόν να έχουν μεγαλύτερη αυτονομία καταναλώνουν την διπλάσια ενέργεια σε σχέση με τα υπόλοιπα. (Burlig, 2021)

Για να μεταφραστεί η κατανάλωση από kWh σε eVMT, γίνεται μια παραδοχή ως προς το μερίδιο φόρτισης εκτός σπιτιού (θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει περίπου το 15% της συνολικής φόρτισης βάσει των δεδομένων φορτιστών) και οι υπολογισμοί δείχνουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί περίπου 5.300 μίλια (8530 km) ηλεκτρικών οχημάτων ετησίως στη βόρεια Καλιφόρνια, που είναι περίπου τα μισά από τις εκτιμήσεις για την οδήγηση EV που χρησιμοποιούν οι ρυθμιστικές αρχές και επίσης τα μισά από τα μίλια οχημάτων που διανύθηκαν με βενζινοκίνητα αυτοκίνητα στην ίδια περιοχή.

Ανεξάρτητα από τους παράγοντες που μπορεί να επηρέασαν την χαμηλότερη ενσωμάτωση των eV στην παραπάνω μελέτη, τα διδάγματα για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής είναι εκεί.

- Θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο πλαίσιο ώστε τα δεδομένα eVMT (ή km) που συλλέγουν ούτως ή άλλως τα σύγχρονα οχήματα και φτάνουν στις βάσεις των κατασκευαστών θα πρέπει να είναι διαθέσιμα τόσο σε ρυθμιστικές αρχές και ερευνητές, όσο και επεξεργασμένα στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής (policy makers).
- Δεύτερον, με την αξιοπιστία των δεδομένων να είναι ακόμα «εύθραυστη», ειδικά για να γίνει ένα μοντέλο που θα αναγάγει τα δεδομένα σε παγκόσμια κλίμακα , ίσως η

«απεξάρτηση» από τα ορυκτά καύσιμα ακόμα και σε κατώτερο επίπεδο να είναι πιο επίπονη από όσο πιστεύουν και η 100% ηλεκτροδότηση των οδικών μεταφορών να απέχει ακόμα αρκετές δεκαετίες.

- Ίσως θα έπρεπε να διανύσουμε μια μεταβατική περίοδο όπου δεν θα επιβληθούν κατευθείαν οι απαγορεύσεις που συνεχώς συζητούνται αλλά θα υλοποιηθεί ένα μεταβατικό σύστημα απευθείας φορολόγησης των πραγματικών εκπομπών του κάθε οχήματος μεταφέροντας έτσι στους καταναλωτές την τελική απόφαση.
- Αυτή τη στιγμή, τα δεδομένα δεν υποστηρίζουν την χάραξη μιας οριστικής πορείας. Οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές όπου το δίκτυο είναι πιο «βρώμικο» και υψηλές όπου το δίκτυο είναι πιο «καθαρό». Συλλογικά, μόλις αρχίζουμε να μαθαίνουμε μερικά από τα πιο βασικά στοιχεία για το κόστος και τα οφέλη της ηλεκτροκίνησης των μεταφορών. Θα πρέπει να δημιουργήσουμε τις συνθήκες ώστε με κριτική σκέψη και καθώς οι νέες πληροφορίες γίνονται διαθέσιμες να μπορούμε να διορθώσουμε την πορεία των πολιτικών με την μορφή της ανάδρασης.

Το απόθεμα ηλεκτρικών οχημάτων (ΕV) παγκοσμίως αυξήθηκε κατά 65% μεταξύ 2017 και 2018 σε περίπου 5 εκατομμύρια συνολικά οχήματα (IEA, 2019). Ένας επεκτεινόμενος στόλος ΕV αντιπροσωπεύει μια δυνητικά μεγάλη μετάβαση στη ζήτηση ενέργειας από το καθιερωμένο δίκτυο παροχής υγρών καυσίμων μεταφορών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτιμά ότι αυτή η μετάβαση θα μπορούσε να μειώσει τη ζήτηση πετρελαίου κατά 2,5 - 4,3 εκατομμύρια βαρέλια/ημέρα και να αυξήσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 640 - 1.110 TWh - τεραβατώρες (IEA, 2019). Μια τέτοια μετάβαση απαιτεί σημαντική απόκλιση από το status quo τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παραγωγούς αυτοκινήτων. (Clinton, Knittel, & Metaxoglou, 2020)

Την τελευταία τριετία η αύξηση είναι ακόμα μεγαλύτερη ενώ ταυτόχρονα αναδύεται μια παγκόσμια ενεργειακή κρίση λόγω των συμφερόντων και των συσχετίσεων. Ταυτόχρονα λόγω της διαταραχής που δημιούργησε στην παγκόσμια αγορά ηλεκτρονικών η πρόσφατη πανδημία υπάρχει μια μεγάλη έλλειψη σε μικροτσίπ που αφενός δημιουργεί μια δέσμια κατάσταση όσον αφορά τις καθυστερήσεις και αφετέρου έχει αυξήσει σημαντικά τις τιμές πώλησης πληθώρας ηλεκτρονικών που είναι απαραίτητα τόσο για την αξιοποίηση των ΑΠΕ όσο και για την υποστήριξη καθημερινών κοινωνικών λειτουργιών.

Απώλειες σε έσοδα φόρων

Η μείωση της εξάρτησης από υγρά καύσιμα στις μεταφορές μειώνει αναγκαστικά τα φορολογικά έσοδα των κρατών που προέρχονται από τις πωλήσεις καυσίμων. Δεν θα ήταν λοιπόν πεσιμιστικό να υποθέσουμε πως όταν τα διαφυγόντα έσοδα θα αυξηθούν σε ικανό ποσοστό, μεγάλο μέρος τους θα επιβληθεί ως έμμεση ή άμεση φορολογία στα οχήματα που δημιούργησαν αυτή την διαταραχή, όπως συνέβη και παλαιότερα με τα πετρελαιοκίνητα και τα βενζινοκίνητα οχήματα όταν τα πρώτα δεν ήταν τόσο διαδεδομένα στην αγορά λόγω αυξημένων ρύπων. Στην παραπάνω υπόθεση δεν έχει ληφθεί υπόψιν και το συνεργιστικό κόστος από μια αγορά που θα μετασχηματίζεται συνεχώς και θα βλέπει τον κύκλο εργασιών της να συρρικνώνεται: αυτή των επισκευών οχημάτων και παραγωγής ανταλλακτικών και διάφορων αναλώσιμων (έλαια κλπ.).

Από τα παραπάνω προφανώς ένα μονομερές συμπέρασμα που θα δείχνει την μια ή την άλλη πλευρά δεν μπορεί να προκύψει. Ο σκοπός της ενότητας ήταν να καταδείξει πως η ενεργειακή μετάβαση είναι τόσο πολυπαραγοντική που δεν μπορεί να ληφθεί απόφαση χωρίς εν μέρει υλοποίηση, όμως τα δεδομένα δείχνουν ότι οι εκτιμήσεις σε επίπεδο πολιτικών μάλλον είναι ιδιαίτερα αισιόδοξες και θα πρέπει να αναπροσαρμοστούν καταρχήν στοχεύοντας στην κλιμακωτή ενσωμάτωση με μια στρατηγική παρακολούθησης και συνεχούς ανάδρασης.

3.2. Εναλλακτικά καύσιμα

Με τον όρο «εναλλακτικά καύσιμα» εννοούνται τα καύσιμα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθαρά ή ως προσμίξεις σε συμβατικά καύσιμα, (π.χ. diesel, βενζίνη) δημιουργόντας νέα μείγματα με διαφορετικές ιδιότητες που μπορούν να βελτιώσουν την καύση ή να μειώσουν σημαντικά τις βλαβερές εκπομπές. Τα εναλλακτικά καύσιμα που παρουσιάζονται έχουν δοκιμαστεί στον τομέα των μεταφορών είτε σε στάδιο δοκιμών είτε σε ερευνητικό επίπεδο.

Ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα είναι ότι η παραγωγή και χρήση τους είναι εξαιρετικά φιλικές προς το περιβάλλον ενώ ιδιαίτερη βάση δίνεται στην επαναχρησιμοποίηση και επεξεργασία αποβλήτων από άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες προκειμένου να εξαχθεί το μέγιστο δυνατό ενεργειακό όφελος πριν την τελική διάθεση.

Σε αυτά δεν περιλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια καθώς αν και δεν περιλαμβάνει την καύση συμβατικού καυσίμου στο ίδιο το μέσο, αυτή όπως έχει αναλυθεί και παραπάνω εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα συμβατικά καύσιμα εκτός αν παράγεται αποκλειστικά από ΑΠΕ.

Στα εναλλακτικά καύσιμα εντάσσονται και τα «βιοκαύσιμα» τα οποία ορίζονται ως εξής: Υγρά ή αέρια καύσιμα για τις μεταφορές, τα οποία παράγονται από βιομάζα.

Οι έρευνες για την ανεύρεση νέων πηγών ενέργειας για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης ανέδειξαν τις ακόλουθες χημικές ενώσεις και προϊόντα που είναι διαθέσιμα σήμερα:

Βίο-Ντίζελ

Το βιοντίζελ (biodiesel) παράγεται μετά από επεξεργασία φυτικών ελαίων, ζωικά λίπη ή ανακύκλωση από συλλεγόμενα λίπη εστιατορίων. Για την συλλογή αυτών των πρώτων υλών υπάρχουν ειδικά ρεύματα. Το συγκεκριμένο καύσιμο είναι ασφαλές, βιοδιασπάσιμο και η χρήση του μειώνει σημαντικά τους σοβαρούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (μόρια μονοξείδιου του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, λοιπές τοξικές ουσίες).Το βιοντίζελ περιέχει λιγότερους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και συγκεκριμένα ~50 % λιγότερο βενζοφθορανθένιο και ~ 70 % λιγότερο βενζοπυρένιο. Συνήθως εισάγεται στους κινητήρες ως προϊόν πρόσμιξης με το κανονικό πετρέλαιο κίνησης σε μείγματα μέχρι 20% βιοντίζελ με πετρέλαιο κίνησης (τύπος B20) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις μηχανές ντίζελ χωρίς τροποποιήσεις και είναι συμβατά με όλες τις υφιστάμενες υποδομές αποθήκευσης και διανομής. Τα μείγματα υψηλότερης περιεκτικότητας, έως και το καθαρό βιοντίζελ (100 %, τύπος B100) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές που έχουν κατασκευασθεί πρόσφατα και φέρουν κατάλληλη σήμανση χωρίς τροποποιήσεις ή με μικρή παρέμβαση.

Αλκοόλες (αιθανόλη και μεθανόλη)

Προέρχονται κυρίως από τη ζύμωση γεωργικών προϊόντων και μπορούν είτε να προστεθούν στη βενζίνη (10% αιθανόλη και 90% βενζίνη) είτε να υποκαταστήσουν τη βενζίνη σε καθαρή μορφή ή σε μείγμα 85% αλκοόλη και 15% βενζίνη. Από το 2019 είναι υποχρεωτική η πρόσμιξη ποσοστού βιοαιθανόλης στην βενζίνη έως και 10%. Η μεθανόλη παράγεται μετά από χημική επεξεργασία του φυσικού αερίου με απώλεια ενέργειας 25-40% ωστόσο είναι τοξική.

Το αποτέλεσμα της υποκατάστασης είναι η μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων. Παρόλα αυτά υπάρχουν επιφυλάξεις στην χρήση των αλκοολών που οφείλονται στην επικινδυνότητα των καυσίμων αυτών, καθώς είναι πιο πτητικά και ιδιαίτερα εύφλεκτα.

Υδρογόνο (H_2)

Το υδρογόνο αποτελεί ένα καύσιμο για το οποίο μέχρι σήμερα πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές οχημάτων αλλά και ερευνητικοί φορείς έχουν επενδύσει μεγάλα χρηματικά κονδύλια και χρόνο. Το υδρογόνο στην αυτοκίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις τρόπους, είτε απευθείας ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης, είτε ως κυψέλη καυσίμου (fuel cell) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οπότε και το όχημα κινείται με τη μορφή υβριδικού οχήματος που περιλαμβάνει μηχανή εσωτερικής καύσης ή κυψέλη καυσίμου και συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρισμού. Αναλυτικότερα η αρχή λειτουργίας και κάποια οφέλη της υδρογονοκίνησης αναφέρονται στην συνέχεια στην ενότητα 3.3.4.

Υγραέριο (LPG)

Πρόκειται για μείγμα προπάνιου/βουτανίου έρχεται δεύτερο στη χρήση μετά την βενζίνη και το diesel. Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο για το χαμηλότερο κόστος του καθώς μπορούν να μετατραπούν οι κινητήρες των ΙΧ με μικρό σχετικά κόστος. Κατά την καύση έχει μικρά ποσά εκπεμπόμενων ρύπων σε σχέση με το diesel ωστόσο η κατανάλωση ενός οχήματος είναι μεγαλύτερη λόγω λιγότερο αποδοτικής καύσης. Αρνητικό στοιχείο του συγκεκριμένου καυσίμου είναι το ότι είναι βαρύτερο του αέρα σε πιθανή διαρροή δημιουργείται κίνδυνος καθώς αναφλέγεται εύκολα.

Φυσικό αέριο

Είναι ιδιαίτερα δημοφιλές εναλλακτικό καύσιμο στον τομέα των μεταφορών και παράγει πολύ λιγότερους ρύπους από την βενζίνη και το πετρέλαιο. Κύριο συστατικό του είναι το μεθάνιο. Τα οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο έχουν μείωση της εκπομπής του CO πάνω από 90% και του NOx πάνω από 50% σε σχέση με τις μηχανές ντίζελ και βενζίνης. Τέλος, το φυσικό αέριο μπορεί να αποθηκεύεται σε ένα όχημα ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), ή ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Αρνητικό στοιχείο του καύσιμου αυτού είναι το μεγάλο βάρος των δεξαμενών καυσίμου και η ανάγκη αντικατάστασής τους μετά από κάποια χρόνια λειτουργίας.

3.3. Νέες τεχνολογίες σε οχήματα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες τόσο για ιδιωτικής χρήσης (ΙΧ) οχήματα όσο για δημόσιας χρήσης (ΔΧ), με μια εμβάθυνση στις διαθέσιμες εναλλακτικές για την δεύτερη κατηγορία, αφού τα οχήματα αυτά αποτελούν τις διαθέσιμες επιλογές ενός παρόχου συγκοινωνιακού έργου προκειμένου να διαμορφώσει τον στόλο του και να σχεδιάσει το κατάλληλο μείγμα με γνώμονα τις ανάγκες που εξυπηρετεί.

3.3.1. Υβριδικά Οχήματα

Τα υβριδικά (ηλεκτρικά) οχήματα (Hybrid Electric Vehicle - HEV) είναι εξοπλισμένα τόσο με κινητήρα εσωτερικής καύσης όσο και ηλεκτροκινητήρα, χρησιμοποιώντας ουσιαστικά δύο ή και περισσότερες πηγές ενέργειας για την κίνησή τους, ενώ το ένα από τα συστήματα ανακτά ενέργεια. Κάθε ένας από τους κινητήρες μπορεί να μεταδώσει ροπή στους τροχούς προκειμένου να κινηθεί με την κατάλληλη διάταξη του μηχανικού συνόλου. Το υβριδικό όχημα αποτελείται από τα παρακάτω κυριότερα μέρη:

- Μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας
- Ηλεκτροκινητήρας
- Μηχανή εσωτερικής καύσης
- Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος (ανάκτησης)
- Στοιχεία για την ομαλή σύμπλεξη του μηχανικού με το ηλεκτρικό σύστημα
- Ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης των διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης

Ταξινόμηση των Υβριδικών Συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης κίνησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες οι οποίες στην συνέχεια μπορούν να διαχωριστούν σε διάφορες υποκατηγορίες ανάλογα με την σχεδιαστική αρχιτεκτονική που υιοθετείται. Αυτές είναι:

- Τα σειριακά συστήματα
- Τα παράλληλα συστήματα

Το σειριακό υβριδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης βασίζεται σε δύο πηγές ενέργειας που τροφοδοτούν έναν και μόνο ηλεκτροκινητήρα, που κινεί το όχημα. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης λειτουργεί σε συνδυασμό με μια ηλεκτρική γεννήτρια που τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα μέσω ενός ανορθωτή, ενώ μετά την ομαλή εκκίνηση του, λειτουργεί στην περιοχή μέγιστης απόδοσης του (συγκεκριμένη ζώνη στροφών), χωρίς υπάρχει σύνδεση του με το σύστημα κίνησης. Επειδή οι ηλεκτροκινητήρες έχουν σχεδόν γραμμική σχέση της ταχύτητας με την παραγόμενη ροπή δεν χρειάζονται περίπλοκα κιβώτια με πολλαπλές ταχύτητες μειώνοντας περαιτέρω το βάρος, ενώ για καλύτερη διαχείριση μπορούν να τοποθετηθούν και ανά τροχό περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες, εξασφαλίζοντας καλύτερο έλεγχο της πρόσφυσης.

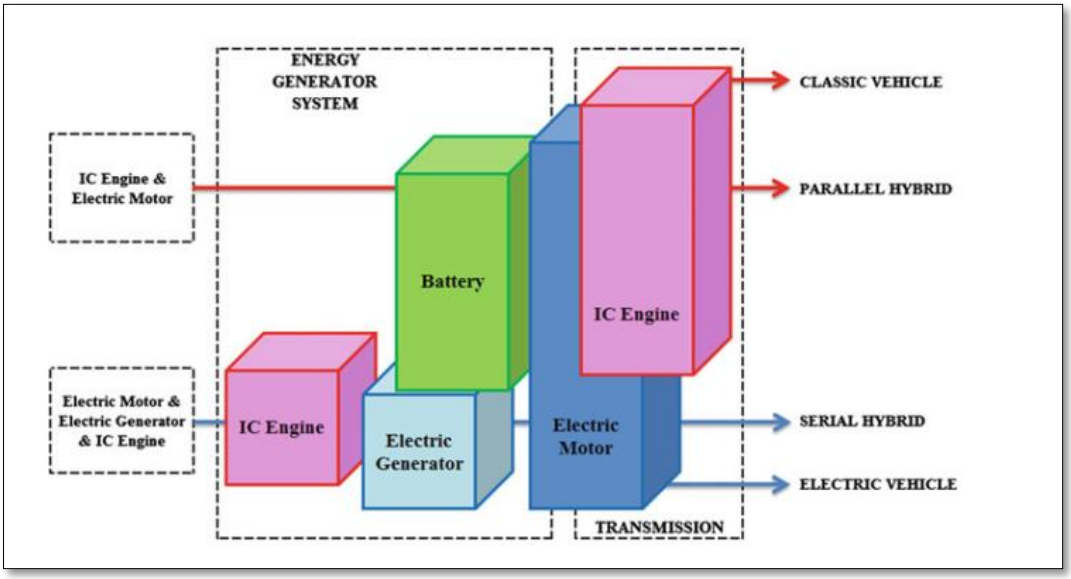
Τα μειονεκτήματα του σειριακού υβριδικού συστήματος είναι :

- η μηχανική ενέργεια που παράγει ο κινητήρας από την καύση μετατρέπεται σε ενέργεια μέσω της γεννήτριας και στην συνέχεια από τον ηλεκτροκινητήρα μετατρέπεται και πάλι σε μηχανική μειώνοντας την αποδοτικότητα του οχήματος
- η εγκατάσταση γεννήτριας αυξάνει τόσο το βάρος όσο και το κόστος παραγωγής
- ο ηλεκτροκινητήρας πρέπει να είναι τέτοιας απόδοσης ώστε να παρέχει επαρκή απόδοση σε όλες τις συνθήκες
- χωρίς την ύπαρξη μπαταριών που θα μειώνουν την ανάγκη χρήσης του θερμικού κινητήρα το σύστημα θεωρείται μη αποδοτικό

Το παράλληλο υβριδικό σύστημα μετάδοσης διασφαλίζει την παράλληλη κατανομή της παραγόμενης ισχύος τόσο από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης όσο και τον ηλεκτροκινητήρα για την εκκίνηση των τροχών. Καθώς οι δύο κινητήρες συνδέονται με τον άξονα μέσω δύο κιβωτίων ταχυτήτων, η ροή ισχύος μπορεί να παρέχεται είτε από τον ένα κινητήρα είτε από τον άλλο, ή και από τους δύο. Η ζεύξη των δύο κινητήρων γίνεται με κατάλληλη διάταξη άθροισης ταχύτητας.

Οι ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποιούν τα υβριδικά οχήματα είναι τριφασικοί εναλλασσόμενου ρεύματος και χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ασύγχρονος/επαγωγικός κινητήρας (ASM- Asynchronous motor)
- Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες (PSM—Permanent Synchronous Motor)
- Κινητήρας εγκάρσιας ροής (TFM-Transversal Flux motor)
- Σύγχρονος κινητήρας μαγνητικής υστέρησης (SRM—Switched Reluctance Motor)



Σχήμα 3.3.1-1. Διαγραμματική απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ σειριακών και παράλληλων υβριδικών συστημάτων
(Varga, Iclodean, & Mariasiu, 2016)

Προς το παρόν ο συνδυασμός των δυο τεχνολογιών (dual motor) σε ένα υβριδικό όχημα HEV μπορεί να θεωρηθεί μια πολύ καλή μεταβατική λύση έως την ολική μετάβαση σε μια εποχή όπου η περαιτέρω ανάπτυξη της νέας τεχνολογίας θα επιτρέπει μια ολική μετάβαση προς μια εποχή όπου τα παράλληλα υβριδικά θα δώσουν την θέση τους στα σειριακά με κύρια διαφορά την χωρητικότητα των μπαταριών όπου θα επιτρέπει μεγάλη αυτονομία σε καθημερινή χρήση (Plug-In Hybrid EV) αλλά θα διατηρεί τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ως εφεδρικό σύστημα επέκτασης της αυτονομίας (Range Extender) σε περίπτωση που το επίπεδο φόρτισης πέσει κάτω από συγκεκριμένο όριο.

Κατά την διαδικασία της πέδης ενός υβριδικού οχήματος η κινητική ενέργεια μετατρέπεται χρησιμοποιώντας τον ηλεκτροκινητήρα ως γεννήτρια που παρέχει φορτίο στις μπαταρίες. Για να είναι αποδοτικό συστήνεται η επιβράδυνση να γίνεται σταδιακά και ελεγχόμενα προκειμένου να μεγιστοποιείται η ανάκτηση.

Τα συστήματα μετάδοσης κίνησης που έχουν εκτός από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης στη σύνθεσή τους τουλάχιστον ένα άλλο σύστημα που παρέχει ελκτική σύζευξη για τους τροχούς του οχήματος και το οποίο ανακτά μέρος της κινητικής ενέργειας κατά την επιβράδυνση είναι γνωστά ως αναγεννητικά υβριδικά, ενώ στην περίπτωση σειριακής διάταξης μπορεί να λειτουργεί ο ίδιος ο ηλεκτροκινητήρας ως γεννήτρια.

3.3.2. Ηλεκτρικά οχήματα

Τα οχήματα που τροφοδοτούνται αποκλειστικά από μπαταρίες ονομάζονται Battery electric vehicles (BEV) και απαντώνται συχνά με αυτή την συντομογραφία και στην βιβλιογραφία. Όπως και προηγουμένως αναφέρονται τα κύρια μέρη που συνθέτουν ένα ηλεκτρικό όχημα:

- το αμάξωμα του ηλεκτρικού οχήματος
- το σύστημα μετάδοσης κίνησης που αποτελείται από: ηλεκτροκινητήρα και γεννήτρια
- το κύριο κιβώτιο ταχυτήτων που αποτελείται από: μειωτήρα, μηχανικό διαφορικό και πλανητικούς άξονες.
- Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου του οχήματος και άνεσης των επιβατών
- Μπαταρίες αποθήκευσης ηλεκτρικής μπαταρία.

Τα οχήματα που χρησιμοποιούν το σύστημα πλήρως ηλεκτρικής κίνησης δεν εξοπλίζονται με άλλο εφεδρικό κινητήρα καθώς βασίζονται πλήρως στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που θέτουν σε κίνηση τον ηλεκτροκινητήρα. Η βελτιστοποίηση των μπαταριών από τους κατασκευαστές εξαρτάται από την ρουτίνα φόρτισης που θα ακολουθείται, για το λόγο αυτό υπάρχει ο διαχωρισμός σε:

- Οχήματα με δυνατότητα φόρτισης ευκαιρίας (opportunity charged), τα οποία επαναφορτίζονται ανακτώντας μεγάλο ποσοστό της ενέργειας σε σύντομο διάστημα σε σημεία επαναφόρτισης κατά μήκος ή στο τέλος μιας διαδρομής.
- Οχήματα με σταθερή φόρτιση στο τέλος της ημέρας (night charged) που επαναφορτίζονται αργά κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Ο παραπάνω διαχωρισμός είναι άτυπος καθώς οι κατασκευαστές προσπαθούν με ηλεκτρονικό έλεγχο της φόρτισης το όχημα να μπορεί να προσαρμοστεί και στα δύο μοτίβα χρήσης μόνο του για την προστασία της μπαταρίας και την μακροζωία της.

Η μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται με την χρήση πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων εξαρτάται από τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και το ενεργειακό μείγμα. Κυμαίνεται από ποσοστό της τάξης του 30% εάν το εθνικό δίκτυο παράγει ηλεκτρισμό από ορυκτά καύσιμα (εκπομπές CO2) και μπορεί να φτάσει έως και το 100 % εάν έχουμε ηλεκτροπαραγωγή μόνο από ΑΠΕ. Αν και η επένδυση απαιτεί πολύ υψηλό αρχικό κεφάλαιο η απόσβεση στο κόστος των καυσίμων είναι καθημερινή ενώ μειώνονται σημαντικά και τα κόστη συντήρησης αφού υπάρχουν πολύ λιγότερα κινούμενα μέρη ενώ οι ηλεκτροκινητήρες έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

Πραγματοποιώντας μια σύγκριση μεταξύ των τυπικών πετρελαιοκίνητων και των ηλεκτρικών οχημάτων, αυτά παρουσιάζουν μια σειρά προτερημάτων όπως:

- Είναι αθόρυβα και χωρίς δονήσεις, μειώνοντας έτσι την ηχητική ρύπανση
- Μηδενίζουν τοπικά τις βλαβερές εκπομπές στην ατμόσφαιρα
- Έχουν ανεξαρτησία από τα ορυκτά καύσιμα
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Επιστρατεύουν και αξιοποιούν πολλά συστήματα ανάκτησης της κινητικής ενέργειας
- Προσφέρουν την δυνατότητα τοποθέτησης χωριστού κινητήρα ανά τροχό

Τα κύρια μειονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων με τα σημερινά δεδομένα είναι:

- Η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών είναι ακόμα αρκετά χαμηλότερη των καυσίμων. Ένα τυπικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης έχει θερμογόνο δύναμη της τάξης των 10.000 Wh/kg ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό όχημα έχει 200 Wh/kg, που οδηγεί στη μειωμένη αυτονομία (200-300 km έναντι 700-800 km).
- υπάρχει μια σχέση εξάρτησης από υποδομές φόρτισης που εμφανίζεται πολύ συχνότερα από ότι τα θερμικά οχήματα με τους σταθμούς ανεφοδιασμού και η διαδικασία της φόρτισης μπορεί να διαρκέσει από κάποιες δεκάδες λεπτά (~30) για μερική πλήρωση έως και κάποιες ώρες για πλήρη φόρτιση
- Το κόστος αγοράς ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος είναι πολύ μεγαλύτερο ενός κλασικού καθώς το κόστος των μπαταριών είναι πολύ υψηλότερο. Για οχήματα που προσφέρουν συγκοινωνία το κόστος "εκτοξεύεται". Χαρακτηριστικά αναφέρονται τιμές της τάξης των 700.000 € για ένα ηλεκτρικό όχημα όταν το αντίστοιχο με κινητήρα εσωτερικής καύσης αντιρρυπαντικής τεχνολογίας δεν ξεπερνά τις 400.000 € ακόμα και αν εξοπλίζεται με ελαφρύ υβριδικό σύστημα (παράλληλης διάταξης).

3.3.3. Οχήματα υδρογόνου

Τα οχήματα υδρογόνου θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι παραλλαγή των ηλεκτρικών οχημάτων αφού και εδώ η κίνηση τους επιτυγχάνεται με ένα η περισσότερους ηλεκτροκινητήρες, διαφοροποιείται όμως ο τρόπος παραγωγής της ενέργειας η οποία γίνεται εντός του οχήματος ενώ οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι μικρότερης χωρητικότητας ενός ηλεκτρικού.

Οι πρώτες κυψέλες καυσίμου (fuel cell) σε απαιτητική χρήση εξόπλισαν το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ την δεκαετία του '70. Η αρχή λειτουργίας τους είναι παρεμφερής με αυτή μιας μπαταρίας. Εντός των κυψελών λαμβάνει χώρα η διαδικασία της αντίστροφης ηλεκτρόλυσης. Μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Συνοπτικά η διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι η εξής:

- Διάταξη: Δύο ηλεκτρόδια διαχωρισμένα από μία λεπτή μεμβράνη η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Εκατέρωθεν της μεμβράνης έχει εναποτεθεί κατάλληλο στρώμα καταλύτη.
- Υδρογόνο τροφοδοτείται στην άνοδο(αρνητικό ηλεκτρόδιο) της κυψέλης, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερωθήκαν συλλέγονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος καθώς η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους, και διοχετεύονται στην κάθοδο παράγοντας ηλεκτρισμό.
- Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου που βρίσκονται ακόμα στον καταλύτη (στην ουσία μεμονωμένα πρωτόνια αφού το H2 έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο) και παράγεται νερό.
- Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.
- Τα δύο στρώματα του καταλύτη έχουν σκοπό να επιταχύνουν τις αντιδράσεις διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και ένωσης υδρογόνου-οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Η επιφάνεια του καταλύτη έχει υποστεί κατάλληλη κατεργασία ώστε να είναι τραχύς και πορώδης, μεγιστοποιώντας την εκτεθειμένη επιφάνεια του.

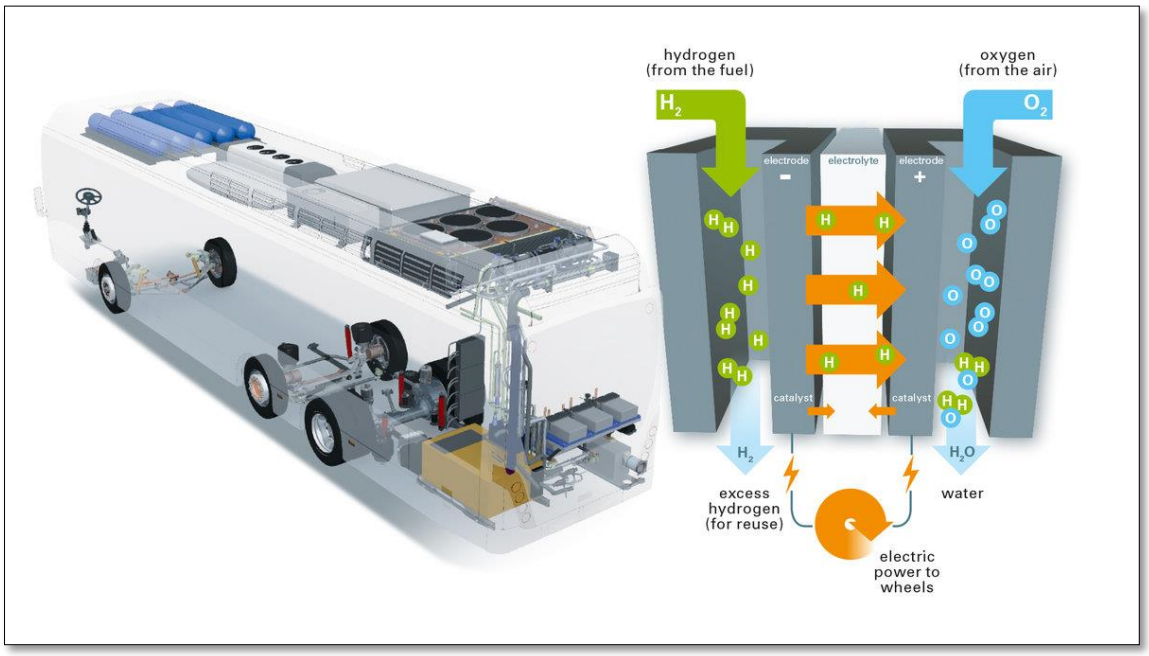
Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην άνοδο (1), στην κάθοδο (2) και συνολικά (3) είναι:

$$2H_2 \rightarrow 4H^+ \quad (1)$$

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \quad (2)$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \quad (3)$$

Η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται και διαγραμματικά στο **Σχήμα 3.3.3-1.** Κάθε κυψέλη υδρογόνου παράγει μικρά φορτία αλλά μια σειρά (array) από διατεταγμένες κυψέλες μπορεί να παράξει αρκετό ρεύμα ώστε να τροφοδοτηθεί ο κινητήρας του οχήματος ενώ όταν δεν υπάρχει η κίνηση φορτίζεται η μπαταρία ώστε το όχημα να μπορεί να ανταπεξέλθει σε απαιτητικές καταναλώσεις (π.χ. εκκίνηση).



Σχήμα 3.3.3-1. Χωροθέτηση συστημάτων σε ένα λεωφορείο κινούμενο με υδρογόνο και σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας της κυψέλης παραγωγής ενέργειας
[Πηγή: Vanhool.be[6]]

Ειδικότερα για τα λεωφορεία το σύστημα της κυψέλης καυσίμου τοποθετείται στην οροφή (**Σχήμα 3.3.3-1**) μαζί με τις δεξαμενές υδρογόνου (συνήθως 5-7, 350 bar, χωρητικότητας 1200-1500 lt H_2 συνολικά) ενώ η απόδοση των κυψελών είναι 60-90 kW (Vanhool newA330FC – 85 kW, Solaris Urbino 12FC -70 kW) και οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ 20 και 40 kWh.

Συμπερασματικά, η χρήση τέτοιων οχημάτων έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα, ωστόσο η επιλογή δεν είναι ακόμα σαφής καθώς οι έρευνες από την μέχρι σήμερα χρήση τους συνεχώς οδηγούν σε βελτιώσεις, ενώ οι κατασκευαστές πειραματίζονται με την ανάμιξη της τεχνολογίας με τα αμιγώς ηλεκτρικά και την χρήση των κυψελών υδρογόνου ως range extender κατασκευάζοντας ένα υβριδικό σύστημα χωρίς την συμμετοχή κινητήρα ICE.

Έχουν μηδενικές εκπομπές, εκτός από θερμότητα και υδρατμούς

- Τα κόστη συντήρησης του συστήματος μετάδοσης είναι ίσα με ενός ηλεκτρικού οχήματος.
- Γίνονται συνεχείς βελτιώσεις στην τεχνολογία κατασκευής των κυψελών που αφενός ρίχνουν το κόστος και αυξάνουν την αξιοπιστία

[6] https://www.vanhool.be/en/public-transport/agamma/hybrid-fuel-cell (Last accessed: May-26, 2022)

- Ο ανεφοδιασμός μπορεί να γίνει με παρεμβάσεις σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις (πρατήρια καυσίμων, αμαξοστάσια κ.ο.κ.) χωρίς το υψηλό κόστος δημιουργίας υποδομών που απαιτεί η ενσωμάτωση της ηλεκτροκίνησης.
- Προσφέρουν μεγαλύτερη αυτονομία από τα ηλεκτρικά οχήματα και ανεφοδιάζονται μέσα σε μερικά λεπτά.

3.3.4. Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα νέα οχήματα που παράγονται και διατίθενται στην αγορά, ακολουθούν τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο πρόσφατα πρότυπα σε ισχύ για βαρέα οχήματα κατηγορία στην οποία ανήκουν και τα συγκοινωνιακά οχήματα μαζικής μεταφοράς.

Τα πρότυπα εκπομπών Euro I έως και V που παρουσιάζονται ίσχυαν για κάθε μηχανοκίνητο όχημα «επιτρεπόμενης μέγιστης μικτής μάζας» άνω των 3,500 kg με κινητήρες πετρελαίου ή υγραερίου. Από το Euro VI τα πρότυπα εφαρμόζονται για οχήματα μεταφοράς πολλών επιβατών με μέγιστη μάζα αναφοράς άνω των 2,610 kg (κατηγορίες M1, M2) και για όλα τα οχήματα της κατηγορίας M3 ενώ δεν είναι περιορισμένα στον τύπο του καυσίμου αλλά περιλαμβάνουν όλους τους κινητήρες και οχήματα διπλού καυσίμου.

Στους ακόλουθους πίνακες συνοψίζονται τα πρότυπα εκπομπών καθώς και οι ημερομηνίες εφαρμογής τους. Υπάρχουν δυο σετ ορίων εκπομπών, το πρώτο αφορά δοκιμή υπό σταθερό φορτίο στον κινητήρα (μόνο για πετρελαιοκίνητα), το δεύτερο αφορά μεταβλητό κύκλο σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.

Emission Standards

Πίνακας 3.3.4-1. Πρότυπα εκπομπών ΕΕ για βαρέα οχήματα (diesel): Δοκιμή σταθερού φορτίου

Στάδιο	Ημερομηνία	Τεστ	CO	HC	NOx	PM	PN	Καπνός
			g/kWh				*1/kWh*	*1/m*
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25		
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	*1999.10 EEV only*	ESC & ELR	*1.5*	*0.25*	*2.0*	*0.02*		*0.15*
	2000.10		2.1	0.66	5.0	0.10		0.8

Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10^{11}	

[Πηγή: προσαρμογή από Dieselnet.com[7]]

Πίνακας 3.3.4-2. Πρότυπα εκπομπών ΕΕ για βαρέα οχήματα με κινητήρες CI (diesel) και PI: Μεταβλητή δοκιμή

Στάδιο	Ημερομηνία	Τέστ	CO	NMHC	CH_4[a]	NOx	PM[b]	PN
			g/kWh					*1/kWh*
Euro III	*1999.10 EEV only*	ETC	*3.0*	*0.40*	*0.65*	*2.0*	*0.02*	
	2000.10		5.45	0.78	1.6	5.0	0.16[c]	
Euro IV	2005.10		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03	
Euro V	2008.10		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03	
Euro VI	2013.01	WHTC	4.0	0.16[d]	0.5	0.46	0.01	6.0×10^{11}[e]

[a] Για κινητήρες αερίου μόνο (Euro III-V: φυσικό αέριο NG ; Euro VI: NG + LPG)
[b] Δεν ισχύει για κινητήρες αερίου στα πρότυπα Euro III-IV
[c] PM = 0.21 g/kWh για κινητήρες με < 0.75 dm^3 όγκο/κίλυνδρο και ονομαστική ισχύ > 3000 min^{-1}
[d] THC για κινητήρες diesel (CI)
[e] Το όριο σωματιδίων PN για κινητήρες PI εφαρμόζεται από το Euro VI-B και έπειτα

[Πηγή: προσαρμογή από Dieselnet.com]

Πρόσθετες προβλέψεις του προτύπου Euro VI περιλαμβάνουν:

- Όρια εκπομπών και απαιτήσεις για εκπομπές εκτός κύκλου και δοκιμές συμμόρφωσης εν χρήσει
- Ένα όριο συγκέντρωσης αμμωνίας (NH_3) των 10 ppm ισχύει για κινητήρες CI (WHSC + WHTC) και PI (WHTC).
- Ένα μέγιστο όριο για το στοιχείο NO_2 των εκπομπών NOx μπορεί να καθοριστεί σε μεταγενέστερο στάδιο.

[7] https://dieselnet.com/standards/eu/index.php

Αντοχή εκπομπών

Από το πρότυπο (οδηγία) 2005.10/2006.10, οι κατασκευαστές θα πρέπει να αποδεικνύουν ότι οι κινητήρες συμμορφώνονται με τις οριακές τιμές εκπομπών για περιόδους ωφέλιμης ζωής που εξαρτώνται από την κατηγορία του οχήματος σύμφωνα με τα στοιχεία στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.3.4-3. Περίοδοι αντοχής εκπομπών

Κατηγορία οχήματος*	Περίοδος	
	Euro IV-V	Euro VI
N1, M2	100 000 km / 5 έτη	160 000 km / 5 έτη
N2 N3 ≤ 16 ton M3 Class I, Class II, Class A, Class B ≤ 7.5 ton	200 000 km / 6 έτη	300 000 km / 6 έτη
N3 > 16 ton M3 Class III, and Class B > 7.5 ton	500 000 km / 7 έτη	700 000 km / 7 έτη
* Οι κατηγορίες μάζας (σε μετρικούς τόνους) αφορούν την "μέγιστη τεχνικά επιτρεπόμενη μάζα" ** km ή έτη, όποιο έρθει πρώτο		

[Πηγή: προσαρμογή από Dieselnet.com]

3.3.5. Υβριδικές τεχνολογίες στα Τρένα

Ενσωματωμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα τρένα

Το κυριότερο μειονέκτημα της εναέριας ή επίγειας τροφοδοσίας ηλεκτροκίνησης κατά μήκος της διαδρομής των ΜΣΤ είναι πως αυτές απαιτούν την εγκατάσταση περίπλοκων και κοστοβόρων υποδομών με συνακόλουθη αύξηση του κόστους τόσο της εγκατάστασης όσο και της συντήρησης. Μια εναλλακτική λύση είναι τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ενσωματωμένα στο όχημα (Onboard Energy Storage Systems).

Ο αρχικός στόχος εισαγωγής αυτής της τεχνολογίας δεν ήταν η πλήρης κατάργηση των εναέριων ρευματοληψιών αλλά η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα μέσα σταθερής τροχιάς. Ένας τρόπος μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας είναι η τεχνολογία αναγεννητικής πέδης που έχει επεκταθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια στα σιδηροδρομικά συστήματα.

Για να είναι αποδοτική η συγκεκριμένη τεχνολογία και να επωφελείται της ανακτώμενης ενέργειας το σύστημα, προϋπέθετε την παρουσία ενός ή περισσοτέρων οχημάτων σε κοντινή απόσταση στο όχημα που βρισκόταν υπό πέδη για την απορρόφηση της περίσσειας ενέργειας. Πολλές φορές είχε

παρατηρηθεί υπερθέρμανση των καλωδίων της εναέριου από την συνεχή ανατροφοδοσία κατά την πέδη.

Για τον λόγο αυτό σίγα σιγά τα σιδηροδρομικά οχήματα που φρέναραν τακτικά (εντός αστικού περιβάλλοντος) και ιδίως τα τραμ ξεκίνησαν να εφοδιάζονται με συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας αυτής στο ίδιο το όχημα (OESS) προκειμένου να την εκμεταλλευτούν στην επόμενη ανάγκη για επιτάχυνση.

Ανατροφοδοτούμενη ενέργεια πέδησης (Regenerative Braking)

- Προσωρινή αποθήκευση κινητικής ενέργειας
- Βραχυπρόθεσμο σύστημα αποθήκευσης (πυκνωτές)
- Επαναχρησιμοποίηση για την επιτάχυνση
- Χαμηλότερος λόγος κατανάλωσης ενέργειας

Πολύ σύντομα οι κατασκευαστές συνειδητοποίησαν ότι η τεχνολογία αυτή τους επέτρεπε αυξάνοντας την χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης (μπαταρία) να αποφύγουν την χρήση καλωδίου ρευματοληψίας κατά μήκος της διαδρομής σε σημεία που υπήρχε δυσκολία ή η εγκατάσταση προκαλεί οπτική όχληση.

Η διαδικασία της φόρτισης μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους:

- Ρευματοληψία από την εναέριο κατά την λειτουργία
- Αναγεννητική πέδη
- Συστήματα φόρτισης εγκατεστημένα στις στάσεις (μέσω παντογράφου ή επαγωγικά)

Φόρτιση με υπερπυκνωτές (supercapacitors)

Οι υπερπυκνωτές είναι μια πιο αναβαθμισμένη εκδοχή των χαμηλής χωρητικότητας πυκνωτών που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά στα σιδηροδρομικά οχήματα, και αποτελούν μια εναλλακτική στις ηλεκτροχημικές κυψέλες (μπαταρίες) με κύρια διαφορά ότι η ενέργεια αποθηκεύεται ως στατικό φορτίο χωρίς να απαιτεί ηλεκτροχημικές αντιδράσεις για την φόρτιση.

Οι πυκνωτές αυτοί όχι μόνο μπορούν να φορτίσουν ταχύτερα από τις μπαταρίες αλλά δεν παρουσιάζουν φθορές κατά τους κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης και συνεπώς έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η φόρτιση τους επιτυγχάνεται σε δευτερόλεπτα (10-20) που επιτρέπει την φόρτιση κατά την διαδικασία επιβίβασης – αποβίβασης επιβατών ενώ υποστηρίζουν την ανάκτηση της ενέργειας πέδης εξοικονομώντας έως και 30 % της καταναλισκόμενης ενέργειας. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των υπερπυκνωτών σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι η μικρότερη ενεργειακή τους πυκνότητα.

Πίνακας 3.3.5-1. Κύριες διαφορές των μπαταριών και των υπερπυκνωτών

Χαρακτηριστικό	***Μπαταρίες***	***Υπερπυκνωτές***
Διάρκεια ζωής (σε κύκλους φόρτισης)	*20.000*	*100.000*
Δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας πέδης	*Πολύ χαμηλή*	*Ναι*
Ενδεικτικό κόστος	*20% του κόστους του οχήματος*	*20% του κόστους του οχήματος*
Χρόνος φόρτισης	*Υψηλός (ώρες)*	*Χαμηλός (μερικά λεπτά)*
Απαιτούμενος χρόνος μεταξύ δυο συνεχόμενων φορτίσεων	*Υψηλός*	*Χαμηλός*

[Πηγή: Προσαρμογή από Global Mass Rapid Transport, 2014 στο (Pyrgidis, 2022)]

Το κόστος παραγωγής και χρήσης των υπερπυκνωτών είναι ωστόσο πάρα πολύ υψηλό (κυμαίνεται στα 15-20 €/Wh) προς το παρόν γι' αυτό και η αποκλειστική χρήση τους δεν είναι ακόμα συμφέρουσα έως ότου οι τεχνολογίες κατασκευής τους προοδεύσουν. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές υιοθετούν υβριδικά σχήματα όπου χρησιμοποιούν τόσο μπαταρίες όσο και υπερπυκνωτές για αποτελεσματικότερη κάλυψη των ιδιομορφιών και αναγκών του δικτύου στο οποίο το κάθε όχημα θα κληθεί να λειτουργεί καθημερινά.

Το 2014 στην Κίνα παρουσιάστηκε από την εταιρεία CSR Zelc από την Κίνα ένα από τα πρώτα τραμ που κινείται αποκλειστικά μέσω της τεχνολογίας Supercapacitors και δεν έχει εναλλακτικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Τα τρένα μεταφέρουν τους υπερπυκνωτές στην οροφή και αυτοί φορτίζονται επαρκώς κατά την διάρκεια μιας στάσης (10-30 δευτερολέπτων) για αυτονομία έως και 4 km μέχρι την επόμενη. Τέλος, οι πυκνωτές ανακτούν έως το 85% της ενέργειας πέδησης με κατάλληλο σύστημα.

3.4. Εναλλακτική τροφοδοσία – η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

3.4.1. Φωτοβολταϊκά : Αρχή λειτουργίας- απόδοση

Με τον γενικό όρο φωτοβολταϊκά αναφερόμαστε σε διατάξεις κατασκευασμένες για την συλλογή και μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ουσιαστικά πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία (κυψέλες) σε επίπεδη διάταξη, που έχουν ως αρχή λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Alexandre-Edmond Becquerel. Πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από μια διάταξη δύο υλικών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία παράγουν ηλεκτρισμό.

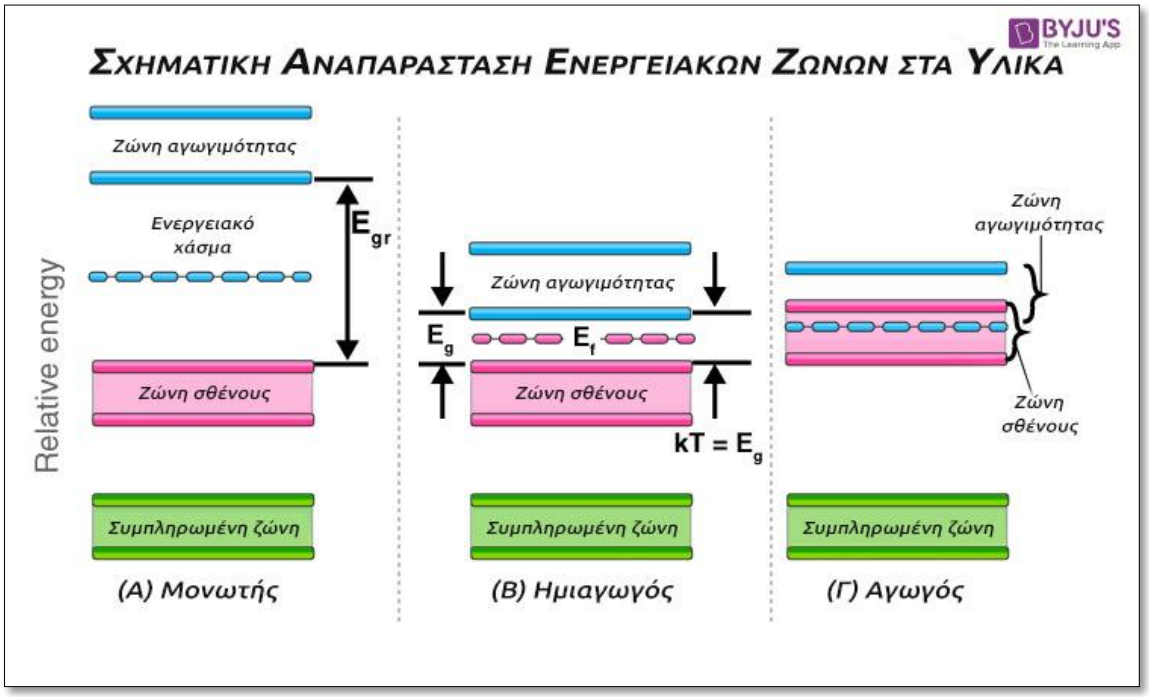
Τα στερεά υλικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες βάσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν, ένα μέτρο της οποίας δίνει η ειδική αντίσταση *ρ*: αγωγοί (μέταλλα), ημιαγωγοί, μονωτές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά είναι ημιαγωγοί και έχουν ειδική αντίσταση $\rho\ (Ohm.cm) = 10^{-4} - 10^{4} \ldots 10^{9}$

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ένα άτομο. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων ενός υλικού, μπορούν να βρίσκονται σε συγκεκριμένες ενεργειακές στάθμες (ενεργειακές τιμές). Στα στερεά, οι επιτρεπόμενες καταστάσεις ενέργειας είναι τόσο πυκνές που σχηματίζουν ενεργειακές ζώνες που διαχωρίζονται από εύρη ενεργειακών τιμών στα οποία κανένα ηλεκτρόνιο δεν είναι δυνατό να υφίσταται. Κάθε ενεργειακή ζώνη μπορεί να καταλαμβάνεται από συγκεκριμένο αριθμό e και αν γεμίσει τα ηλεκτρόνια ανεβαίνουν ενεργειακά και τοποθετούνται στην επόμενη.

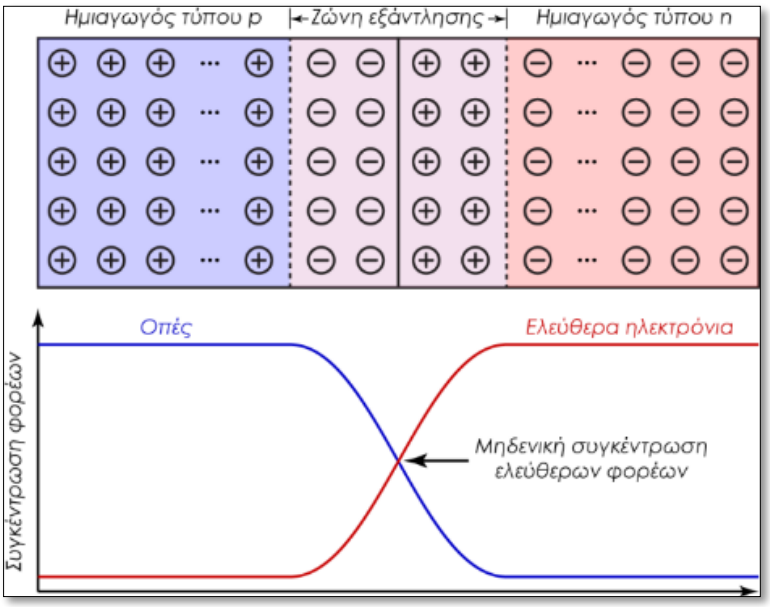
Οι επιτρεπόμενες ζώνες που τα ηλεκτρόνια διατάσσονται χωρίζονται σε ζώνες σθένους και αγωγιμότητας. Η ενεργειακή διαφορά (χάσμα) μεταξύ της υψηλότερης ενεργειακής κατάστασης της ζώνης σθένους και της χαμηλότερης ενεργειακής κατάστασης εντός της ζώνης αγωγιμότητας ορίζεται ως το ενεργειακό διάκενο/κατώφλι.

Το ενεργειακό χάσμα είναι ιδιαίτερης σημασία καθώς τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας (χαρακτηρίζονται ελεύθερα ηλεκτρόνια) διαμορφώνουν την αγωγιμότητα του υλικού, εάν λάβουν αρκετή ενέργεια ώστε να μεταπηδήσουν από τη ζώνη σθένους σε αυτή.

- Αν η ζώνη σθένους δεν είναι πλήρως συμπληρωμένη, το υλικό συμπεριφέρεται ως αγωγό;, ενώ το πόσο καλός αγωγός είναι εξαρτάται από το ποσοστό κατάληψης.
- Αν η ζώνη σθένους είναι πλήρως κατειλημμένη, αλλά η ζώνη αγωγιμότητας βρίσκεται σε πάρα πολύ μικρή (ενεργειακή) απόσταση το υλικό και πάλι είναι αγωγός.
- Το υλικό χαρακτηρίζεται μονωτής όταν η ζώνη σθένους είναι συμπληρωμένη και η ζώνη αγωγιμότητας απέχει πολύ ενεργειακά.
- Τέλος, Ημιαγωγό έχουμε όταν η ζώνη σθένους είναι συμπληρωμένη, αλλά η ζώνη αγωγιμότητας βρίσκεται κοντά (πέριξ των 2eV).



Σχήμα 3.4.1-1. Διαγράμματα ενεργειακών ζωνών στα στερεά υλικά
[Πηγή: Προσαρμογή από Byjus.com, 2022]



Σχήμα 3.4.1-2. Σχηματισμός επαφής p-n ημιαγωγών
[Πηγή: Καββαδίας Κ.Α. , Ανοικτά μαθήματα ΑΤΕΙ Πειραιά, 2015]

Οι ημιαγωγοί (όπως το πυρίτιο) στην καθαρή μορφή τους (κρύσταλλος) δεν παρουσιάζουν αγωγιμότητα. Με κατάλληλες προσμίξεις (αντικατάσταση ατόμων του υλικού) με στοιχεία των ομάδων σθένους ΙΙΙ (τρισθενή) ή V (πεντασθενή) δημιουργούμε μια ασυμμετρία στο κρυσταλλικό

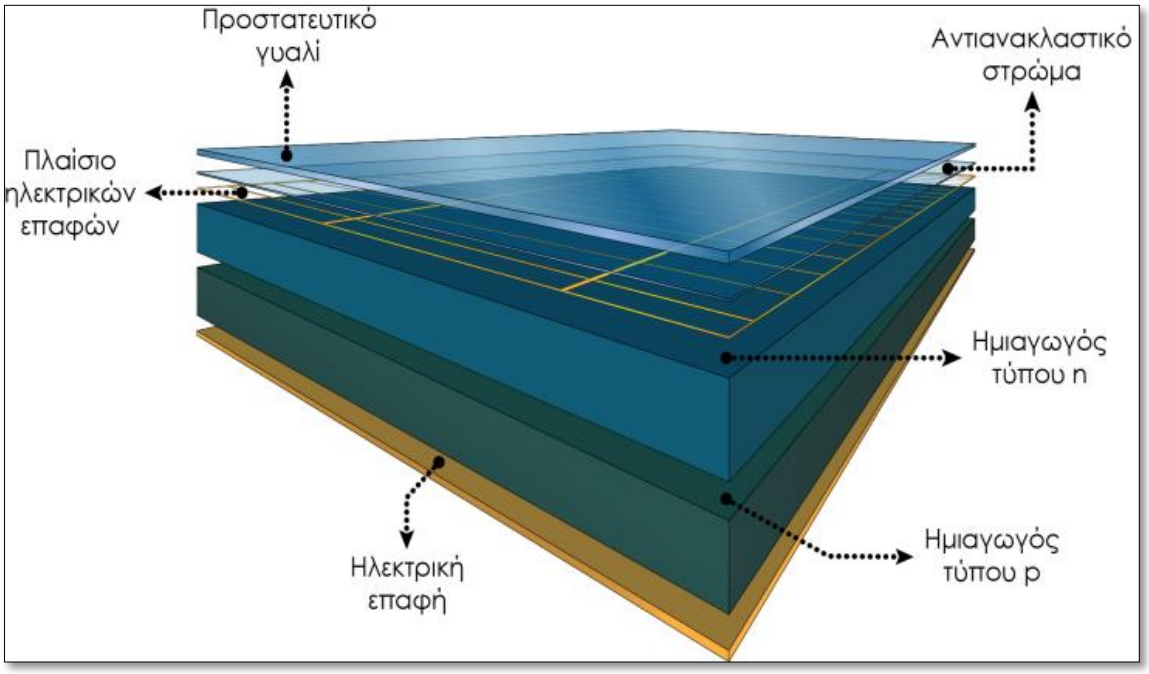
πλέγμα με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια κατάσταση έλλειψης ηλεκτρονίων ή περίσσειας ηλεκτρονίων.

- Σε πρόσμιξη με πεντασθενή στοιχεία η περίσσεια ηλεκτρονίων μεταβαίνει στην ζώνη αγωγιμότητας και ο ημιαγωγός καλείται τύπου n.
- Με την πρόσμιξη τρισθενούς στοιχείου δημιουργείται έλλειψη ηλεκτρονίων, που καλείται οπή, και ο ημιαγωγός χαρακτηρίζεται τύπου p.

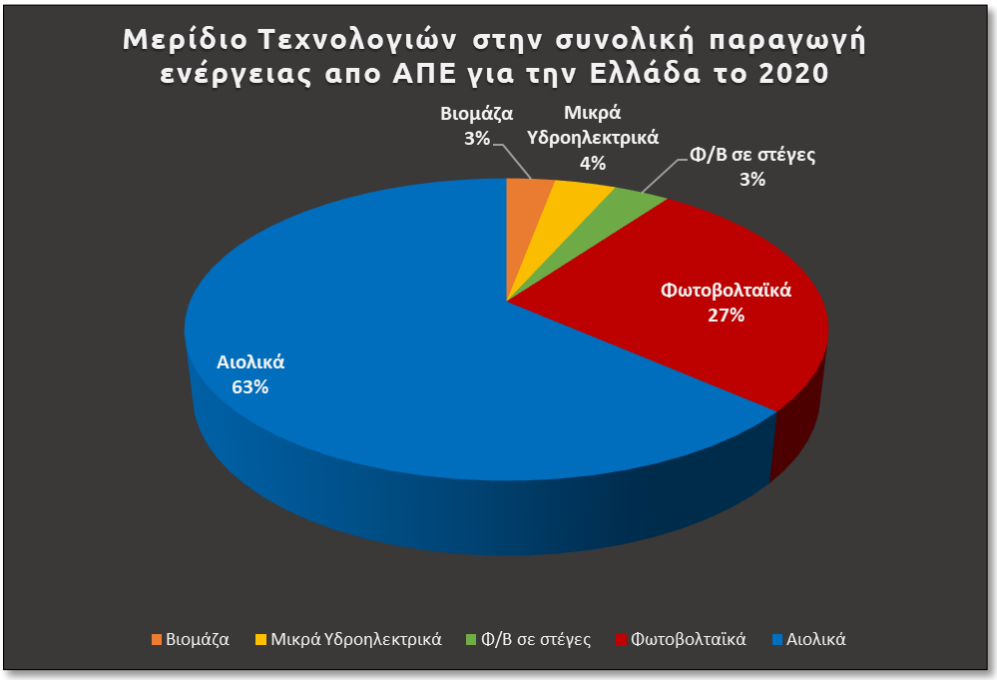
Όταν τοποθετούμε μαζί δυο τέτοιους ημιαγωγούς διαφορετικών προσμίξεων τύπου p και n δημιουργούμε την λεγόμενη επαφή p-n (PN junction) , όπου παρουσιάζεται διάχυση των ελευθέρων ηλεκτρονίων του n προς την πλευρά του p τύπου, αφήνοντας πίσω ταυτόχρονα οπές. Αντίστοιχη μετάβαση λαμβάνει χώρα από την πλευρά του p τύπου, με διάχυση οπών στο n.

Κοντά στο σημείο της ένωσης, δημιουργείται μία μεταβατική ζώνη μεταξύ των δύο ημιαγωγών όπου οι ελεύθεροι φορείς μειώνονται σταδιακά έως ότου όλοι οι ελεύθεροι φορείς δεσμευτούν. Η μεταβατική ζώνη (ζώνη απογύμνωσης) δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο (φράγμα) το οποίο παρεμποδίζει περαιτέρω επέκτασή της . Όταν η διάταξη εκτεθεί σε φωτεινή ακτινοβολία δημιουργούνται πρόσθετα ζεύγη ελευθέρων ηλεκτρονίων-οπών καθώς τα ηλεκτρόνια της πλευράς τύπου p ρέουν προς την πλευρά τύπου Με τη σύνδεση των άκρων των δύο ημιαγωγών με εξωτερικό κύκλωμα, η επαφή PN λειτουργεί ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος .

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από συστοιχίες τέτοιων ηλιακών κυψελών όπως παρουσιάζεται και σχηματικά στο **Σχήμα 3.4.1-3.** Στο **Σχήμα 3.4.1-4** παρουσιάζεται η συμμετοχή της ηλιακής ενέργειας στο μερίδιο παραγωγής από ΑΠΕ της Ελλάδας για το έτος 2020 που συνολικά μαζί με τις εγκαταστάσεις τις στέγες είναι 30%.



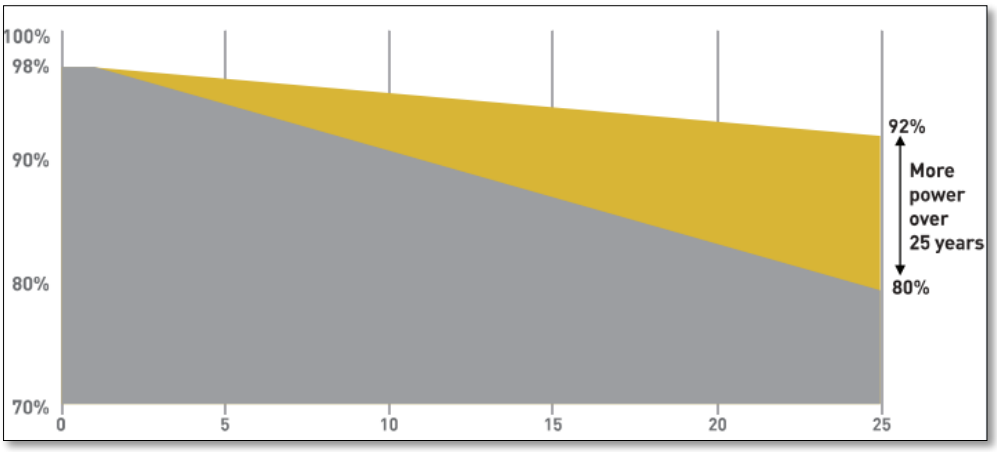
Σχήμα 3.4.1-3. Τυπική διάταξη κατασκευής φωτοβολταϊκού πλαισίου
[Πηγή: Καββαδίας Κ.Α. , Ανοικτά μαθήματα ΑΤΕΙ Πειραιά, 2015]



Σχήμα 3.4.1-4. Συμμετοχή των φ/β στην παραγωγή ενέργειας ΑΠΕ για το 2020
[Πηγή: ΡΑΕ, Εθνική ετήσια έκθεση 2021]

Γήρανση

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παρουσιάζουν απώλειες στην παραγόμενη ισχύ λόγω γήρανσης τόσο της κυψέλης όσο και των περιφερειακών στοιχείων η οποία μπορεί να εμφανιστεί με την πάροδο του χρόνου ή να έχει την μορφή βαθμιαίας πτώσης κάθε έτος της τάξης του 1%-2%. Πλέον οι κατασκευαστές με την εξέλιξη των τεχνικών των φωτοβολταϊκών κυψελών έχουν καταφέρει να περιορίσουν σημαντικά τις απώλειες ισχύος με την πάροδο του χρόνου σε ποσοστά 0.2-0.5% ανά έτος ενώ προσπαθούν συνεχώς να μειώσουν την κλίση της καμπύλης ώστε να φτάσουν τα Φ/Β πλαίσια να ανταποκρίνονται σε μεγάλο βαθμό στην αρχική τους απόδοση για όλο τον κύκλο ζωής τους.



Σχήμα 3.4.1-5. Διάγραμμα πτώσης απόδοσης φ/β πλαισίου μονοκρυσταλ. πυριτίου νέας τεχνολογίας
[Πηγή: Panasonic Corporation, EverVolt Technical Specifications Sheet, 2021, RS21449DS-r7]

Συντελεστής απόδοσης των Φ/Β

Τα Φ/Β έχουν ένα συγκεκριμένο μέγιστο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Στα παλαιότερα πλαίσια ήταν της τάξης του 10% ενώ πλέον υπάρχουν και πλαίσια που φτάνουν σε απόδοση πάνω από το 20%.

Η ισχύς του πλαισίου υπολογίζεται με μέτρηση/ βαθμονόμηση κάτω από συγκεκριμένες τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής για όλους τους κατασκευαστές (Standard Test Conditions - STC) σε θερμοκρασία 25 βαθμών Κελσίου και με ισχύ ακτινοβολίας 1.000 W/m^2.

Η παραγόμενη ενέργεια του πλαισίου μετριέται σε Watt αιχμής-peak [Wp] . Πρακτικά εάν ο κατασκευαστής δηλώνει ονομαστική ισχύ 300Wp σημαίνει ότι ένα πλαίσιο που δουλεύει στις τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής για μια ώρα θα παράξει 300 W ισχύος.

Η απόδοση του πλαισίου ορίζεται ως η ονομαστική ισχύς ως προς την προσπίπτουσα (σε συνθήκες STC) . Χαρακτηριστικά για το παραπάνω παράδειγμα εάν το πλαίσιο είχε διαστάσεις 1433x960mm θα είχε εμβαδό E=1.37 m^2. Συνεπώς στο πλαίσιο σε συνθήκες μέγιστης ισχύος προσπίπτουν 1370 W, άρα:

$$\% = \frac{300}{1370} x\ 100\ \% = 21.8\ \%$$

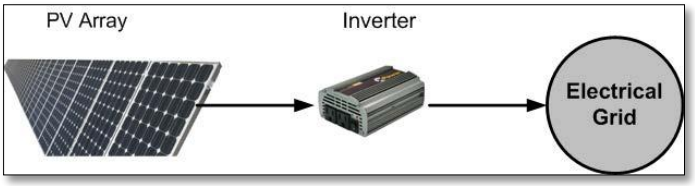
Οι τυπικές αποδόσεις των Φ/Β πλαισίων ανάλογα με το υλικό της κυψέλης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 3.4.1-1** στην συνέχεια.

Πίνακας 3.4.1-1: Απόδοση ηλιακών κυψελών πυριτίου (2020)

Υλικό της ηλιακής κυψέλης	Απόδοση ηλιακής κυψέλης
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	17-23%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	12-17%
Άμορφο πυρίτιο	9-11%

Εξοικονόμηση ενέργειας στο δίκτυο

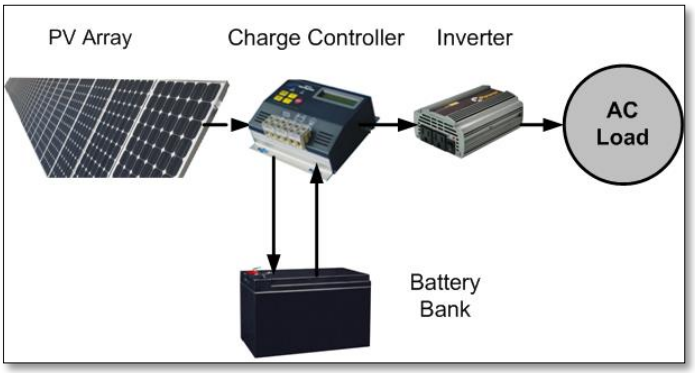
Όταν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδέεται στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας τότε η διάταξη είναι αρκετά απλή. Η συλλεγόμενη ενέργεια που έχει την μορφή συνεχούς ρεύματος μέσω ενός ανορθωτή (Inverter) μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και τροφοδοτεί το δίκτυο. Μετά την μετατροπή σε AC συνήθως τοποθετείται και ένας μετρητής προκειμένου να υπάρχει εικόνα της συνολικής ωφέλειας.



Σχήμα 3.4.1-6. Διάταξη τροφοδοσίας ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο

Αποθήκευση και χρήση ενέργειας

Στην περίπτωση που ένα φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα η κατά προτεραιότητα στο χώρο όπου εγκαθίσταται τότε η απαιτούμενη εγκατάσταση είναι διαφορετική. Χρειάζεται η διαστασιολόγηση των ημερήσιων καταναλώσεων του χώρου καθώς και η στρατηγική επιλογή εάν η εγκατάσταση χρειάζεται να καλύπτει την κατανάλωση 24ώρου (αν αυτό είναι δυνατό βάσει της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος). Αφού γίνει η παραπάνω μελέτη επιλέγεται μπαταρία (συσσωρευτής) κατάλληλης χωρητικότητας η οποία φορτίζεται κατά τις ώρες λειτουργίας με κατάλληλο ελεγκτή στην ενδεδειγμένη τάση. Τυχόν περίσσεια ενέργειας οδηγείται από τον ελεγκτή στον ανορθωτή (Inverter) μετατρέπεται σε AC και τροφοδοτεί κατά προτεραιότητα την εγκατάσταση. Οι πιο πολλές εγκαταστάσεις με την συγκεκριμένη διάταξη αν δεν υπάρχει αδυναμία σύνδεσης στο δίκτυο μεταφοράς (π.χ. απομακρυσμένη θέση) συνδέονται εφεδρικά συνήθως με ηλεκτρονική διάταξη ελέγχου ώστε να υπάρχει η ενέργεια σε περίπτωση ανάγκης ή έχουν κάποιου τύπου γεννήτρια για την φόρτιση των συσσωρευτών όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια.



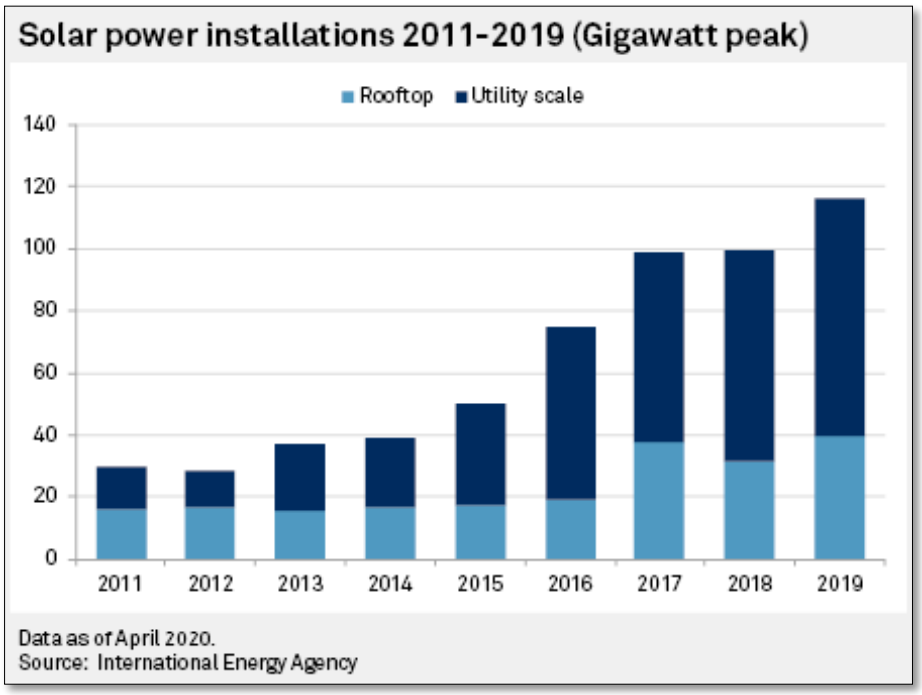
Σχήμα 3.4.1-7. Διάταξη αποθήκευσης και χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας

3.4.2. Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της συλλογής και χρήσης της ηλιακής ενέργειας στον μέγιστο δυνατό βαθμό είναι αδιαμφισβήτητα. Ενδεικτικά αναφέρονται ενδεικτικά τα κυριότερα τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών και τα περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από την χρήση τους.

- Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη.
- Σε σχέση με άλλες ΑΠΕ, έχουν το προσόν πως τοποθετούνται σχεδόν παντού
- Με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα (~600 g CO_2/kWh, 2019) για κάθε 1 kWh που παράγεται από φωτοβολταϊκά, αντί για συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης περίπου 0,7 kg διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα, πάνω από 1 τόνο σε ετήσια βάση.
- Η λειτουργία τους είναι σχεδόν αθόρυβη .
- Η λειτουργία τους είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον.
- Έχουν μικρές απαιτήσεις συντήρησης ενώ η διάρκεια ζωής τους έχει αυξηθεί.

- Δεν δημιουργείται οπτική ρύπανση και η αντανάκλαση που δημιουργούν σχεδόν αμελητέες.
- Κάλυψη ημερησίων και εποχιακών φορτίων αιχμής τους θερινούς μήνες με ανακούφιση και δημιουργία ενεργειακής ασφάλειας στο δίκτυο.
- Αποκεντρώνεται η παραγωγή ενέργειας και ενισχύεται η χρήση ΑΠΕ έναντι των ρυπογόνων συμβατικών τρόπων παραγωγής ενέργειας



Σχήμα 3.4.2-1. Εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας 2011-2019 σε παγκόσμια κλίμακα
[Πηγή: S&P Global[8]]

3.4.3. Μειονεκτήματα

Στα λιγοστά και βασικότερα επιχειρήματα μειονεκτημάτων των Φ/Β στοιχείων δύναται να πιστωθούν τα παρακάτω :

- Αδυναμία 24ώρης αδιάλειπτης λειτουργίας. Οι ώρες που μπορεί να παραχθεί ενέργεια είναι έως και 15 τους θερινούς μήνες ενώ τους χειμερινούς πέφτουν περίπου σε 6.
- Μεταβλητός βαθμός απόδοσης κατά την διάρκεια του έτους και αναλόγως των καιρικών συνθηκών της περιοχής τοποθέτησης.
- Δεν υπάρχει ακόμα -δεσμευτικής οδηγία ως προς την ανακύκλωση των Φ/Β πλαισίων
- Απώλεια συμβατικών πόρων (Γυαλιού και Αλουμίνιου).

[8] https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/solar-driven-silver-demand-set-to-dim-as-sector-innovates-60533352

- Απώλεια σπάνιων μετάλλων, (ασήμι, ίνδιο, γάλλιο και γερμάνιο).
- Επίδραση κάποιων βλαβερών συστατικών φ/β πλαισίων στον άνθρωπο όπως η διύλιση του μολύβδου (Pb) & Καδμίου (Cd).
- Το κόστος εγκατάστασης παραμένει υψηλό.
- Με όρους αγοράς μια μεγάλη στροφή στα φ/β θα δημιουργήσει έλλειψη πυριτίου στην παγκόσμια αγορά - με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής των πλαισίων.

3.5. Η σημασία της συνεχούς βελτίωσης του εθνικού ενεργειακού μείγματος

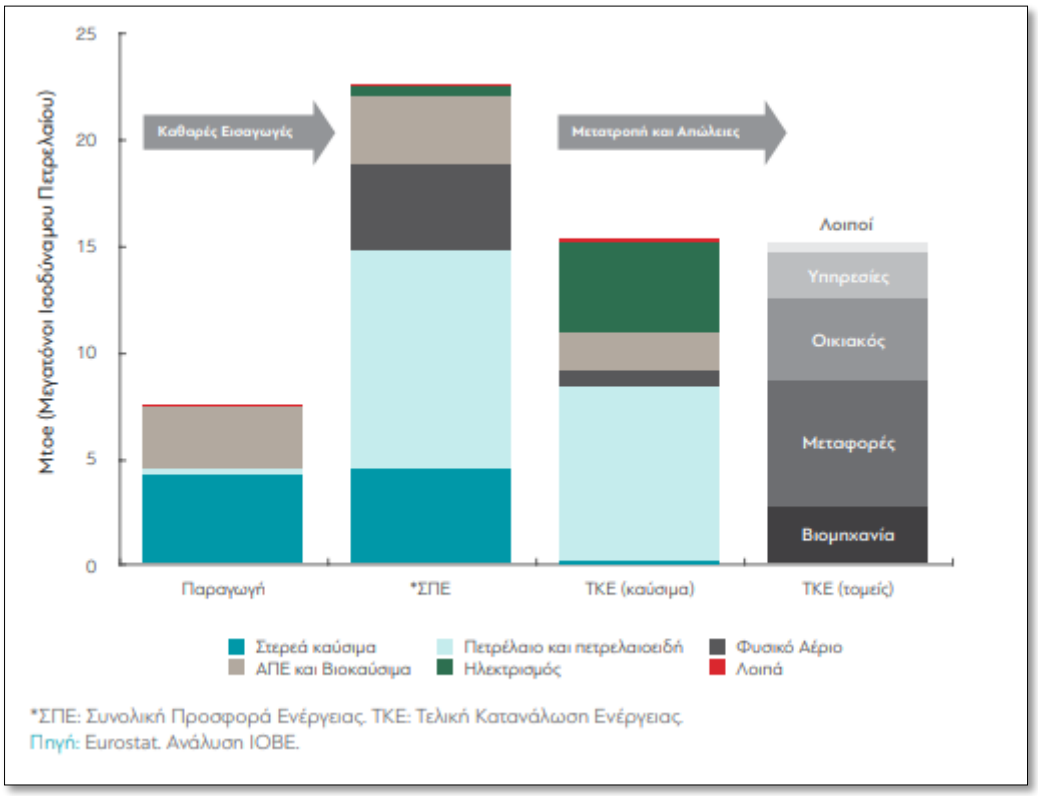
3.5.1. Το ενεργειακό μείγμα σήμερα στην Ελλάδα

Σήμερα οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας καλύπτονται κατά κύριο λόγο από εισαγωγές πρωτογενούς ενέργειας από τρίτες χώρες. Η έντονη προσπάθεια απολιγνιτοποίησης των τελευταίων ετών δημιούργησε μια ακόμα πιο εμφανή ενεργειακή εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αφού οι μονάδες καύσης στερεών καυσίμων (λιγνίτη) της ΔΕΗ που έχουν παραμείνει σε συστηματική λειτουργία για την τροφοδοσία του δικτύου είναι μετρημένες.

Ο ενεργειακός τομέας δεν είναι αυτόνομος αφού η επίδρασή του, το «αποτύπωμα» του στην οικονομία είναι πολύ μεγαλύτερο αν λάβουμε υπόψη τη διασύνδεση του με πληθώρα οικονομικές και παραγωγικές δραστηριότητες. Μπορεί να οριστεί πως ο ενεργειακός τομέας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την οικονομική ανάπτυξη και τη βελτίωση του επιπέδου διαβίωσης των πολιτών, δημιουργόντας προστιθέμενη αξία και θέσεις εργασίας, και προσελκύοντας επενδύσεις παρουσιάζοντας έτσι πολλαπλά οφέλη στην οικονομία.

Η εξάρτηση της χώρας από εισαγωγές ενέργειας (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) δημιουργεί πιέσεις (έλλειμμα) στο ισοζύγιο των συναλλαγών, οι οποίες αν και περιορισμένες παραμένουν σημαντικές. Παράλληλα, τα φορολογικά έσοδα του ελληνικού δημοσίου εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από μια σειρά φόρων και τελών τόσο στα ενεργειακά προϊόντα όσο και στα πετρελαιοειδή, πολύ μεγαλύτερο από την πλειονότητα των υπόλοιπων κρατών-μελών της ΕΕ. Στον αντίποδα σε κάθε προσπάθεια επένδυσης σε ΑΠΕ προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής τους, ένα ποσοστό των πολιτών αντιδρά με μένος ότι μορφής και αν είναι αυτή προασπίζοντας μια ιδεολογία μη-διατάραξης του φυσικού περιβάλλοντος σε μια περιοχή και εθελοτυφλώντας ταυτόχρονα ως προς τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η συνεχόμενη άρνηση σε μια άλλη περιοχή.

Το ενεργειακό κόστος αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων και την αίσθηση ευημερίας των κατοίκων. Τα τελευταία χρόνια, με κορύφωση τους τελευταίους μήνες οι πιέσεις που δέχονται επιχειρήσεις και νοικοκυριά στην Ελλάδα από το ενεργειακό κόστος είναι εξουθενωτικές και δυσβάσταχτες με τα τιμολόγια να σκαρφαλώνουν σε ιστορικά υψηλά. Σε έρευνα της «Διανέοσις» στα μέσα του 2021 υπολογίστηκε ότι η μείωση του ενεργειακού κόστους του ηλεκτρισμού και του φυσικού αερίου (ενδεικτικά κατά 10%, πλέον αντιστοιχεί σε ποσοστό της τάξης του 30%), θα είχε ευνοϊκά αποτελέσματα για την ελληνική οικονομία, καθώς θα ενίσχυε σημαντικά το ΑΕΠ και την απασχόληση.



Σχήμα 3.5.1-1. Ενεργειακό μείγμα : Παραγωγή και κατανάλωση στην Ελλάδα
[Πηγή: Eurostat, Ανάλυση: ΙΟΒΕ]

Τα στοιχεία αυτά αναδεικνύουν, σε ένα αρχικό επίπεδο, την υψηλή εξάρτηση της χώρας από εισαγωγές ενέργειας, καθώς και το γεγονός ότι η Ελλάδα παραμένει μια οικονομία που στηρίζεται στα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), με ό,τι αυτό συνεπάγεται για το μέγεθος των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Συνεπώς, στο πλαίσιο σχεδιασμού κατάλληλων πολιτικών για την από-ανθρακοποίηση του εγχώριου ενεργειακού συστήματος, απαιτείται μια σειρά αλλαγών ιδίως στον τομέα των μεταφορών, στον οποίο κυριαρχεί η κατανάλωση πετρελαιοειδών.

Η συνολική προσφορά πρωτογενούς ενέργειας μειώθηκε κατά 25,5% από το 2008 μέχρι το 2018, επηρεαζόμενη κυρίως από την ύφεση της ελληνικής οικονομίας. Το πετρέλαιο παραμένει η κυριότερη πηγή ενέργειας, με μερίδιο 45% το 2018, παρά τη σημαντική πτώση κατά 37,3%, που σημείωσε από το 2008. Τα στερεά καύσιμα (κυρίως λιγνίτης), τα οποία χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή, ήταν η δεύτερη κυριότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 20,2% της συνολικής προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας το 2018. Η προσφορά στερεών καυσίμων είχε περιοριστεί το 2018 κατά 45,1% έναντι του 2008, εξαιτίας της μείωσης των λιγνιτικών μονάδων.

3.5.2. Οι εξαρτήσεις της ηλεκτροπαραγωγής και η επίπτωση στο κόστος λειτουργίας ενός εξηλεκτρισμένου δικτύου

Συμπερασματικά από τα παραπάνω προκύπτει ότι το κόστος λειτουργίας ενός συγκοινωνιακού δικτύου εξαρτάται άμεσα και αναπόφευκτα από τον τρόπο παραγωγής και το ενεργειακό μείγμα σε εθνικό επίπεδο. Άρρηκτη όμως είναι και η σχέση της τιμής των ορυκτών καυσίμων με αυτή της ενέργειας.

Ωστόσο και πάλι λόγω των οικονομιών κλίμακας για ένα συγκοινωνιακό οργανισμό ή ένα ιδιώτη διαχειριστή είναι προτιμότερος ο σταδιακός εξηλεκτρισμός μεγάλου μέρους του δικτύου και του τροχαίου υλικού ή και η αυτονόμηση μέρους αυτού (μέσω εφαρμογής φ/β ιδιοπαραγωγής κ.λπ.) παρά η εμμονή στα ορυκτά καύσιμα έως ότου το κόστος τους κριθεί μη βιώσιμο.

Ταυτόχρονα, ο συγκοινωνιακός πάροχος, σαν επιμέρους μεγάλος καταναλωτής, μπορεί να απολαμβάνει ιδιαίτερη μεταχείριση όπως η σύναψη συμβολαίου απ' ευθείας με παραγωγό ενέργειας σε αντίθεση με τους απλούς καταναλωτές, εξαρτάται παρόλα αυτά και πάλι από την τιμή ενέργειας όπως αυτή διαμορφώνεται από το ενεργειακό μείγμα (εγκατεστημένη ισχύ, ποσοστό συμμετοχής ΑΠΕ, κ.ο.κ) αλλά με λίγο ευνοϊκότερους όρους.

Είναι κατανοητό ότι πέραν της εξοικονόμησης της κατανάλωσης εντός της περιοχής ευθύνης ή και της μικρής κλίμακας αυτοπαραγωγής από ΑΠΕ ένας συγκοινωνιακός φορέας δεν μπορεί τόσο από πλευράς τεχνογνωσίας όσο και από πλευράς φιλοσοφίας να εισέλθει στην αγορά ενέργειας ως παραγωγός οπότε η θα πρέπει να στοχεύει στην σύναψη της επικερδέστερης συμφωνίας με τον πάροχο ενέργειας που θα επιλέξει να συνεργαστεί.

Κεφάλαιο 4: Η ενσωμάτωση των αναγνωρισμένων εναλλακτικών πηγών στο αστικό περιβάλλον

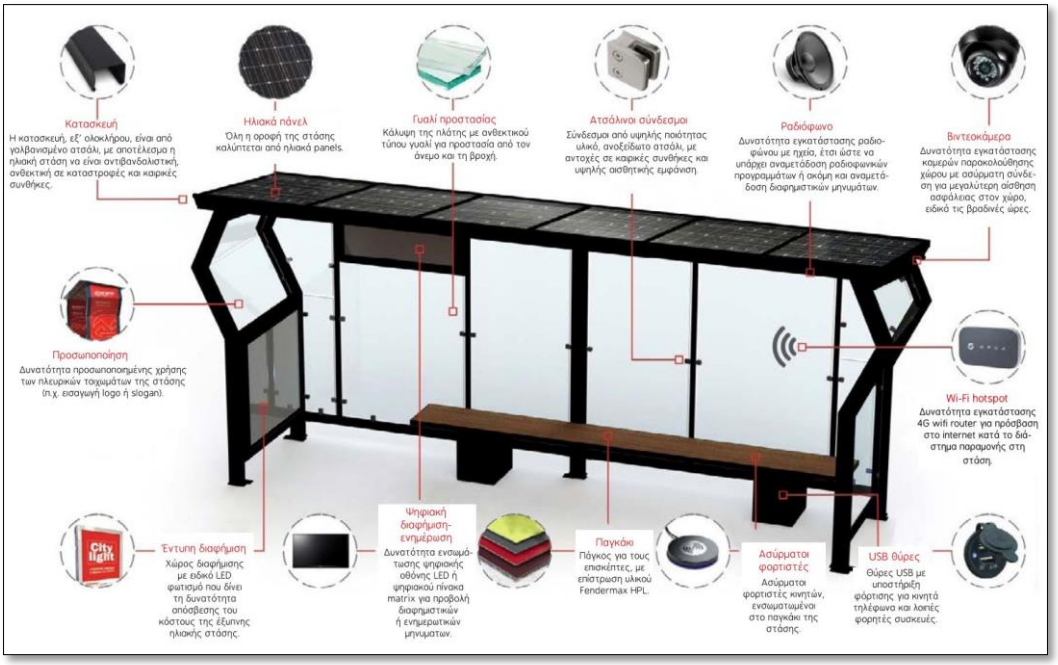
Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται οι δυνατές εφαρμογές των διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων που προσφέρονται για την αύξηση της χρήσης «καθαρότερης» ενέργειας στο αστικό περιβάλλον. Ο όρος «αναγνωρισμένες» αναφέρεται σε τεχνολογίες αιχμής & την εφαρμογή τους, που τηρούν τα παρακάτω κριτήρια:

- Είναι σχετικά νέες (διάστημα 5ετίας–10 ετίας)
- Είναι καινοτόμες και βιώσιμες
- Είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης έρευνας
- Βελτιώνουν σημαντικά την απόδοση ή την λειτουργία του συστήματος
- Έχουν την δυνατότητα ή έχουν ήδη αρχίσει να υιοθετούνται ευρέως

4.1. Έξυπνες υποδομές

Έξυπνες στάσεις

Οι έξυπνες ηλιακές στάσεις για τα ΜΜΜ αποτελούν μια σύγχρονη παρέμβαση στις αστικές μεταφορές. Η λειτουργία της τυπικής στάσης εκσυγχρονίζεται εκμεταλλευόμενη 100 % τις ΑΠΕ και την πρόοδο της τεχνολογίας. Ο χρήστης περιμένοντας το λεωφορείο ή το τρόλεϊ μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο μέσω σημείου πρόσβασης Wi-Fi ή να φορτίσει το κινητό του τηλέφωνο ενσύρματα (μέσω θύρας USB) ή ασύρματα. Το πλάτος μιας τέτοιας στάσης είναι μεταξύ 6 και 9 m που επαρκεί για την εγκατάσταση αντί κάποιο πολυκαρβονικό υλικό, μιας σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων.



Σχήμα 4.1-1. Μεγάλη έξυπνη αυτόνομη στάση ΜΜΜ με Φ/Β στοιχεία
[Πηγή: coresolutions.gr]

Η ισχυρή παραγωγή ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας (σε σχέση με τις καταναλώσεις της, τυπική ισχύς 300-400 W, χωρητικότητα μπαταριών 80-120 Ah 12V) δίνει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης και πλήθους άλλων περιφερειακών συσκευών: Νυχτερινό φωτισμό LED, αισθητήρες για μετρήσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων, σύστημα Ψηφιακής Σήμανσης (Digital Signage), ενώ ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα 'Smart City' για διάφορες εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με πολλαπλές χρήσεις προσαρμοσμένες στις εκάστοτε ανάγκες του σημείου εγκατάστασής του.

Φ/Β πάρκα σε κτίρια και σταθμούς

Μια διαδεδομένη τακτική τα τελευταία χρόνια είναι η τοποθέτηση Φ/Β σε οροφές μεγάλων δημόσιων κτιρίων αλλά και συγκοινωνιακών υποδομών όπως σιδηροδρομικοί σταθμοί, χώροι συντήρησης, αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα και άλλα. Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών κυψελών ακόμα σε μορφή λεπτής μεμβράνης (φιλμ) όπου μπορεί να τοποθετείται σε υαλοπίνακες επιτρέπει την ακόμα πιο ευρεία χρήση τους. Οι εφαρμογές αυτές γίνονται με άξονα την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου τις ώρες αιχμής και όσο μια εγκατάσταση μεγαλώνει μπορεί να εξυπηρετεί και την τροφοδοσία του ίδιου του χώρου όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω. Στην συνέχεια στον **Πίνακα 4.1-1** παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα:

Πίνακας 4.1-1. Παραδείγματα εφαρμογών Φ/Β σε εγκαταστάσεις συγκοινωνιακών υποδομών

Πόλη	Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο
Θέση	Blackfriars station
Παρέμβαση	Κάλυψη σιδηροδρομικής γέφυρας/σταθμού έκτασης ~6000 m^2 με στέγαστρο που ενσωματώνει 4.400 Φ/Β πλαίσια. Συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ισχύς 1.1 MWp. Εκτιμώμενη ετήσια απόδοση 900.000 kWh (50 % των ενεργειακών αναγκών)
Χρονολογία	2012

[Πηγή: buildingcentre.co.uk]

Πόλη	Brooklyn, Νέα Υόρκη
Θέση	Stillwell Avenue subway station
Παρέμβαση	Κατά την ριζική ανακαίνιση του σταθμού το στέγαστρο πάνω από τις αποβάθρες (~7000 m2) ανακατασκευάστηκε και εγκαταστάθηκαν 2730 Φ/Β πλαίσια από υαλοπίνακες με φιλμ άμορφης σιλικόνης με βαθμό διαπερατότητας ~20-25% για να εξυπηρετούν τον φυσικό φωτισμό και συνολική εγκατεστημένη ισχύ 210 kWp. Εκτιμώμενη ετήσια απόδοση 250.000 kWh (15-20 % των ενεργειακών αναγκών)
Χρονολογία	2001-2005

[Πηγή: halmarinternational.com]

Πόλη	Vijayawada, Ινδία
Θέση	Vijayawada Railway Station
Παρέμβαση	Σταδιακή τοποθέτηση Φ/Β στα στέγαστρα πάνω από τις αποβάθρες. Συνολική εγκατεστημένη ισχύς 130 kWp. Εκτιμώμενη ετήσια απόδοση 17-20 % των ενεργειακών αναγκών του σταθμού
Χρονολογία	2019-2021

[Πηγή: newindianexpress.com]

Πόλη	Eindhoven, Ολλανδία
Θέση	Σιδηροδρομικός σταθμός
Παρέμβαση	Εγκατάσταση 1900 Φ/Β πλαισίων στην οροφή του σταθμού που μπορούν να παράγουν 450.000 kWh ετησίως καλύπτοντας περίπου το 60% των ενεργειακών αναγκών του σταθμού.
Χρονολογία	2017

[Πηγή: railtech.com]

Πόλη	Βουδαπέστη, Ουγγαρία
Θέση	Kelenföld Χώρος στάθμευσης λεωφορείων
Παρέμβαση	Δημιουργία ηλιακού στεγάστρου από 648 πλαίσια, συνολικής ισχύος 200 kWp κάτω από το οποίο υπάρχει υποδομή φόρτισης και στάθμευσης ηλεκτρικών minibuses. Εκτιμώμενη ετήσια δυναμικότητα 220.000 kWh καλύπτοντας περίπου το 10% όλων των ενεργειακών αναγκών του αμαξοστασίου ή το 40% για τα ηλεκτρικά οχήματα .
Χρονολογία	2020

[Πηγή: www.interreg-central.eu]

Φ/Β σε χώρους στάθμευσης

Οι χώροι στάθμευσης φαίνονται σιγά σιγά πιο φιλικοί για τέτοιες εφαρμογές καθώς λόγω της χρήσης τους είναι αδύνατον να έχουν κάποια διαφορετική εκμετάλλευση ή αξιοποίηση του εδάφους, είναι κοντά στους χρήστες και τις καθημερινές τους δραστηριότητες και δίπλα σε ένα πυκνό δίκτυο υποδομών και χώρων που οι ενεργειακές τους ανάγκες μπορούν να απορροφήσουν άμεσα τυχόν περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εάν αυτοί διασυνδεθούν στο δίκτυο μεταφοράς.

Ταυτόχρονα η στέγαση των ανοιχτών χώρων στάθμευσης με συμπαγή στέγαστρα για ηλεκτροπαραγωγή παράγει λειτουργικά οφέλη αφού η σκίαση που προσφέρουν βελτιώνει το επίπεδο ευχαρίστησης των χρηστών.

Τέλος λόγω της αναμενόμενης αύξησης του ποσοστού συμμετοχής των ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο μέσω των προωθούμενων πολιτικών, λύσεις όπως αυτή προκρίνονται ως εναλλακτικές για την δημιουργία σημείων φόρτισης που θα καλύπτουν μέρος της ζήτησης κατά προτεραιότητα χωρίς να επιβαρύνουν το διασυνδεδεμένο δίκτυο, εκμεταλλευόμενα την έξυπνη διαχείριση των υποδομών και δικτύων.

Στην **Ενότητα 5.5.3** γίνεται μια σειρά υπολογισμών της δυνατότητας παραγωγής ενός τέτοιου χώρου για τα ελληνικά δεδομένα.

Σχήμα 4.1-2. Φωτοβολταϊκά στέγαστρα σε ανοικτό αστικό χώρο στάθμευσης
[Πηγή: planete-energies.com]

4.2. Νέα οχήματα

Ο σχεδιασμός του εξηλεκτρισμού στον συγκοινωνιακό στόλο.

Η οδηγία για μηδενικές εκπομπές σε νέα οχήματα από το 2025 και έπειτα έχει ήδη μπει σε ισχύ για την Ευρώπη και οι στρατηγικές σταδιακής απεξάρτησης από τον άνθρακα και τα ορυκτά καύσιμα πλέον εμφανίζονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Κάθε συγκοινωνιακός προσεγγίζει με το δικό του τρόπο την μετάβαση αυτή σε ένα με τον ένα ή τον άλλο τρόπο "ηλεκτρικό" κόσμο εκπονώντας μελέτες σκοπιμότητας, προγραμματίζοντας πιλοτικά έργα, ή αναζητώντας τους απαραίτητους πόρους για την κάλυψη της μετάβασης.

Για πολλούς φορείς δημόσιας συγκοινωνίας, το ηλεκτρικό λεωφορείο με μπαταρία (BEB) ή το όχημα υδρογόνου ή ακόμα και φυσικού αερίου είναι μια νέα και άγνωστη τεχνολογία εάν δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία. Η επιτυχής εισαγωγή της νέας τεχνολογίας και των διαδικασιών της περιλαμβάνει μια μεταβατική περίοδο για την κάλυψη των κενών γνώσης και πόρων. Η πιο δοκιμασμένη και χωρίς ρίσκο επιλογή είναι αυτή της πιλοτικής δοκιμής ενός μικρού αριθμού οχημάτων που επιτρέπει την συλλογή εμπειρίας πεδίου εντός του δικτύου του παρόχου όπως έχει ήδη αναφερθεί στην **ενότητα 2.2.3**, σε πραγματικές συνθήκες ενώ παράλληλα βλέπουν και την πρώτη γνώμη του επιβατικού κοινού.

Αν και δεν υπάρχει μια λύση που να εφαρμόζει στις ανάγκες όλων, υπάρχουν κάποιες μορφές προκλήσεων που αντιμετωπίζονται στους περισσότερους στόλους συγκοινωνιών κατά τη διάρκεια αυτής της μετάβασης. Οι κοινές ανησυχίες περιλαμβάνουν την αξιοπιστία του BEB, τον προγραμματισμό της υποδομής φόρτισης και την κατάλληλη επιλογή των βοηθητικών προγραμμάτων και υποδομών.

Το ζήτημα της αξιοπιστίας

Η αξιοπιστία των ΒΕΒ ιδίως στο ζήτημα του κατά πόσον η αυτονομία που δηλώνει ο κατασκευαστής επιτυγχάνεται είναι βασική ανησυχία που έχουν εκφράσει πολλοί πάροχοι που κρατούν διστακτική στάση στο κατά πόσο τα ηλεκτρικά οχήματα θα μπορούν να ανταποκριθούν στον απαιτούμενο κύκλο λειτουργίας τους. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιοχές που αντιμετωπίζουν πιο απαιτητικές συνθήκες όσον αφορά το εξωτερικό περιβάλλον και η συνεχής λειτουργία των συστημάτων HVAC επί του οχήματος θα μπορούσε να εξαντλήσει μεγάλη ποσότητα ενέργειας από την μπαταρία του οχήματος.

Για τους συγκοινωνιακούς στόλους, τα τελευταία χρόνια υπάρχει σχεδόν παντού παρατήρηση των οχημάτων σε πραγματικό χρόνο (τηλεματική) ωστόσο με τα τυπικά οχήματα οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται αφορούν την ταχύτητα, την διαδρομή και την θέση (στίγμα). Με τον εξηλεκτρισμό του στόλου δημιουργείται ακόμα μια πρόκληση στους σχεδιαστές αυτών των συστημάτων να ενσωματώσουν τις κρίσιμες πληροφορίες όπως το επίπεδο της μπαταρίας, την κατάσταση φόρτισης, το ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας και συνεπώς την εκτιμώμενη αυτονομία μέσα στο σύστημα προκειμένου, να υπάρχει μια αυτοματοποιημένη απομακρυσμένη παρακολούθηση του στόλου ΒΕΒ και να αποτρέπει τα φαινόμενα εξάντλησης της αυτονομίας που φοβούνται οι φορείς.

Η ανάπτυξη ενός ηλεκτρικού στόλου είναι μια σημαντική μετάβαση που συνήθως περιλαμβάνει σημαντικές επενδύσεις κεφαλαίου και ανάγκη αναβάθμισης εγκαταστάσεων. Οι πάροχοι είναι αρκετά εξοικειωμένοι με την εκπαίδευση του προσωπικού στις λειτουργίες των νέων οχημάτων, αλλά όχι τόσο εξοικειωμένοι με το κομμάτι της υποδομής φόρτισης.

Άλλα ζητήματα που μπορεί να αντιμετωπιστούν είναι :

- Σε ποιες γραμμές θα αποδώσουν καλύτερα τα ηλεκτρικά οχήματα
- Αν θα πραγματοποιείται φόρτιση σε αφετηρίες
- Αν χρειάζεται απευθείας διασύνδεση με γραμμές υψηλής τάσης
- Πόσοι φορτιστές χρειάζονται για την καλύτερη δυνατή κάλυψη του στόλου
- Η κάλυψη των αναγκών επέμβασης από κινητό συνεργείο

Ιδίως η υποδομή φόρτισης είναι μια άσκηση που σε μικρότερους παρόχους που δεν έχουν εμπειρία μπορεί να είναι πολύ απαιτητική, για το λόγο αυτό και στρέφονται σε ανάθεση σε εξωτερικούς συμβούλους ή εργολάβους που αναλαμβάνουν την ευθύνη σύνταξης σχεδίου, την επιλογή των καλύτερων θέσεων και επιβλέπουν και τις εργασίες εγκατάστασης.

Νέες σχέσεις με βοηθητικά προγράμματα και συνεργασίες

Η ηλεκτροδότηση του στόλου περιλαμβάνει την ευθυγράμμιση πολλών ενδιαφερομένων και για πολλούς φορείς μεταφορών, η αλληλεπίδραση με τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ήταν μια απαραίτητη προσαρμογή. Το κόστος λειτουργίας BEBs θα μπορούσε να είναι ακόμη υψηλότερο από ό,τι για το ICE, εάν οι στόλοι δεν έχουν έλεγχο για το κόστος ενέργειας. Χρειάζεται από πλευράς των διαχειριστών να δουν την εμπλοκή τους υποδομές και εργαλεία διαχείρισης και βοηθητικά προγράμματα με μια νέα ματιά.

Πολλοί φορείς συντονίζονται εκ των προτέρων με τους ενεργειακούς παρόχους για να συζητήσουν τα ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας, τις χρεώσεις ζήτησης, την αξιοπιστία της ηλεκτρικής ενέργειας και μερικές φορές τις αναβαθμίσεις των υποδομών σε συνεργασία. Η στενή συνεργασία από νωρίς κατά το στάδιο του σχεδιασμού είναι πολύ σημαντική, αφού ακριβώς όπως οι διαχειριστές των στόλων χρειάζονται την απαραίτητη τεχνική γνώση για την προσαρμογή τους στις νέες λειτουργίες τροφοδοσίας καυσίμου και ενέργειας, η ίδια ανταλλαγή τεχνογνωσίας και πληροφοριών είναι επίσης κρίσιμη για τους ενεργειακούς παρόχους και τους διαχειριστές καθώς μια γνώση της προβλεπόμενης μεταβολής στις καμπύλες ζήτησης φορτίου τοπικά λόγω της αύξησης των οχημάτων ΕΥ θα επέτρεπε να βελτιστοποιήσουν το σχεδιασμό του δικτύου αλλά την πιθανή σταδιακή αναπροσαρμογή των τιμολογίων τους.

4.3. Δίκτυο Μέσων Σταθερής Τροχιάς

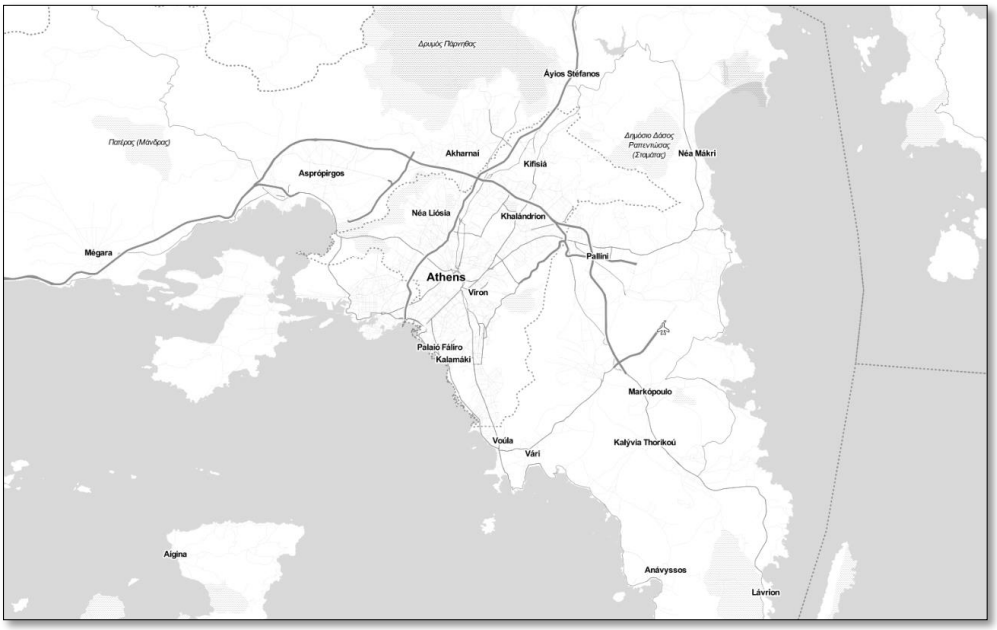
Τα μέσα σταθερής τροχιάς αποτελούν την πιο διαδεδομένη εναλλακτική στις μετακινήσεις σε ένα αστικό περιβάλλον κι αυτό γιατί είναι ηλεκτροκινούμενα εδώ και δεκαετίες ενώ το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα είναι συνδεδεμένο με την σύνθεση του ενεργειακού μείγματος της ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Οι διαθέσιμες εναλλακτικές σε αυτά έχουν να κάνουν σε μεγάλο βαθμό με την βελτίωση των ηλεκτροκινητήρων αλλά και την ανάκτηση ενέργειας κατά την λειτουργία. Συνεπώς ο μόνος τρόπος εκσυγχρονισμού αφορά την προμήθεια νέου τροχαίου υλικού. Όμως όταν ο χρόνος που ένα ΜΣΤ μπορεί να προσφέρει αδιάλειπτη λειτουργία αγγίζει τα 30 χρόνια κατά μέσο όρο η μετάβαση σε κάτι πιο αποδοτικό ενεργειακά καθυστερεί ή αφορά μόνο τα νέα δίκτυα τα οποία σχεδιάζονται εξ' αρχής και για τα οποία γίνεται προμήθεια νέων οχημάτων.

Για τα σιδηροδρομικά οχήματα σε λειτουργία οι δυνατότητες ενεργειακής και τεχνολογικής αναβάθμισης εξετάζονται μόνο στην περίπτωση βαριάς ανακατασκευής (overhaul) όπου το όχημα δέχεται πλήρη ανακατασκευή και επισκευή επιμέρους συστημάτων του αλλά και των χώρων των επιβατών.

Κεφάλαιο 5: Η περίπτωση της μητρόπολης των Αθηνών

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η περίπτωση της Αθήνας, πρωτεύουσας της Ελλάδας και μεγαλύτερης σε πληθυσμό στην χώρα. Παρουσιάζεται το σημερινό σύστημα συγκοινωνιών μαζί με κάποια ιστορικά στοιχεία για την εξέλιξη του, η διάρθρωση και τα λειτουργικά στοιχεία των συγκοινωνιακών παρόχων και στην συνέχεια γίνεται μια μελέτη πιθανών σεναρίων παρεμβάσεων και δυνατοτήτων ενσωμάτωσης των εναλλακτικών μορφών ενέργειας τόσο σε επίπεδο στόλου όσο και εκμετάλλευσης των υποδομών.



Σχήμα 5-1. Χαρτογραφική απεικόνιση της Αθήνας και του ευρύτερου χώρου της Αττικής

Οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας είναι η βιομηχανία (~40% της Ελληνικής παραγωγής), οι μεταφορές (~50% της κίνησης οχημάτων της χώρας) και θέρμανση των κτιρίων.

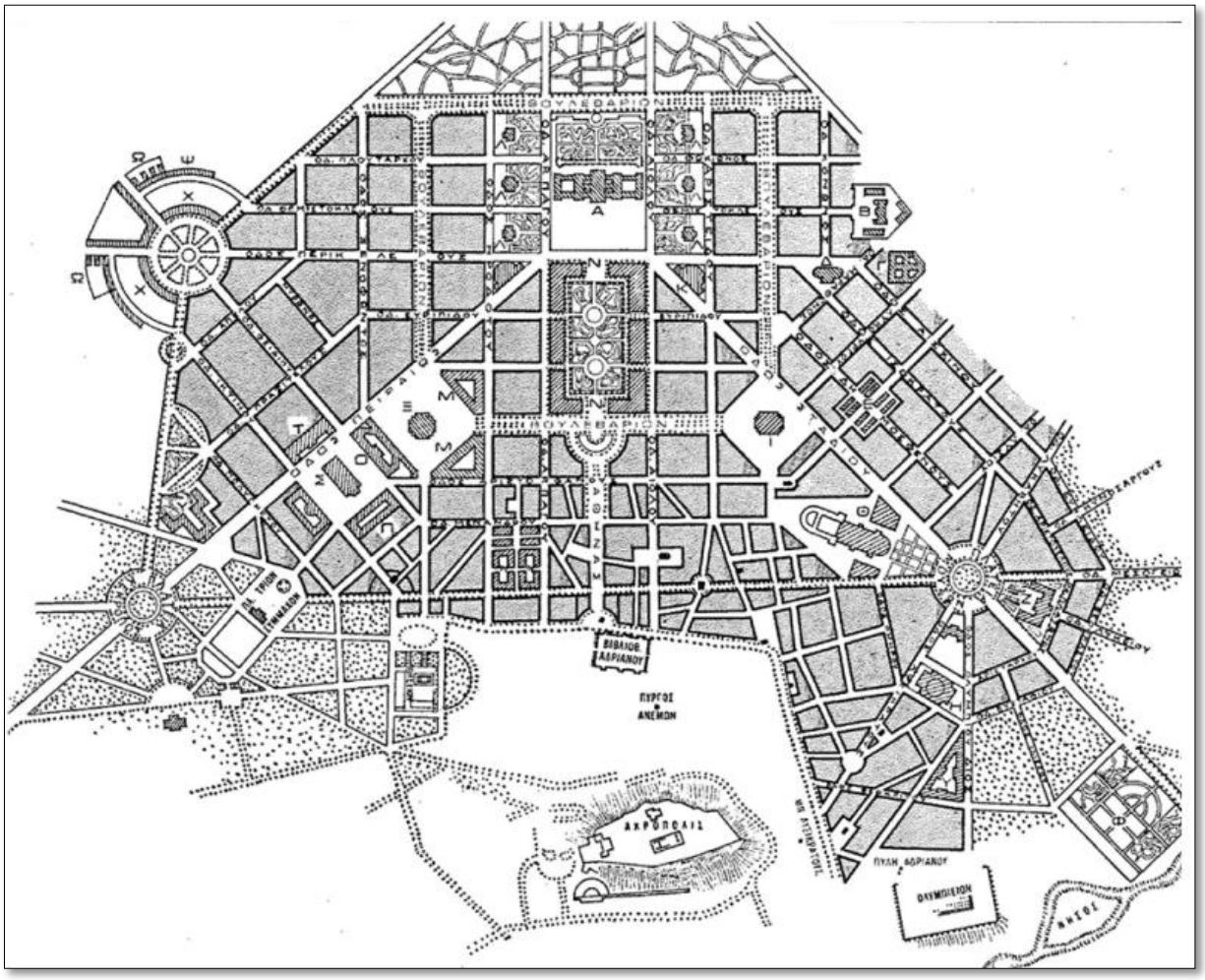
5.1. Γενική ανάλυση της περιοχής

5.1.1. Ιστορική εξέλιξη

Τον 19ο αιώνα μετά την απελευθέρωση της Ελλάδας η Αθήνα είχε το χαρακτήρα κωμόπολης με 12.000-150.00 κατοίκους, σαφώς πληγωμένη και με καταστροφές από την περίοδο της Επανάστασης και με έντονο το στοιχείο της ανισότητας. Είχε κάποια μεγαλοπρεπή κτίρια στο κέντρο και ταυτόχρονα στις γύρω γειτονιές καλλιεργούνταν η γη ενώ υπήρχαν ακόμα στάνες και ζώα και σε περιοχές πολύ κοντά στο κέντρο. Το οδικό δίκτυο ήταν πρωτόγονο, με χαρακτηριστικές τις αναφορές στην «λάσπη» και χωρίς κάποια συγκεκριμένη συνολική χάραξη.

Το 1833 εγκρίνεται το Νέο Σχέδιο Πόλεως των Αθηνών των αρχιτεκτόνων Σταμάτη Κλεάνθη και Eduard Scaubert, μια ολοκληρωμένη πολεοδομική πρόταση που θα μεταμόρφωνε την πόλη εν όψει της πιθανής εγκατάστασης της πρωτεύουσας της χώρας. Το σχέδιο χωροθετούσε τους

κύριους άξονες σε σχήμα ισοσκελούς τριγώνου με κορυφή τη σημερινή πλατεία Ομονοίας, σκέλη τις οδούς Πειραιώς και Σταδίου, και βάση την οδό Ερμού. Ο όλος προσανατολισμός είχε ως στόχους τον Πειραιά, το Στάδιο και, κυρίως, την Ακρόπολη, στα πόδια της οποίας η πόλη απλωνόταν σαν μια ανοικτή αγκαλιά. Στην κορυφή του τριγώνου προβλεπόταν η ανέγερση των Ανακτόρων. Το υπόλοιπο οδικό δίκτυο αναπτυσσόταν εν μέρει ακτινωτά, με κέντρα τις κυκλικές πλατείες, και εν μέρει παράλληλα και κάθετα προς τους βασικούς άξονες, πάντοτε με απόλυτη κανονικότητα. Προβλέπονταν με ακρίβεια οι θέσεις όλων των δημοσίων κτιρίων και γενικότερα οι περιοχές όλων των λειτουργιών της Πόλης: Υπουργεία, Δικαστήρια, Στρατώνες, Αστυνομία, Ταχυδρομείο, Νομισματοκοπείο, Μητρόπολη, Πάρκα, κλπ. Το σύνολο ήταν προγραμματισμένο να φιλοξενήσει όλες τις λειτουργίες μιας πρωτεύουσας και έναν πληθυσμό που προβλεπόταν να φθάσει το όριο των 40.000 κατοίκων. (Καλλιβρετάκης, 2015)



Σχήμα 5.1.1-1 Επεξεργασία του σχεδίου Κλεάνθους-Schaubert.
[Πηγή: Κ. Μπίρης, Αι Αθήναι από του 19ου εις τον 20όν αιώνα, Μέλισσα, Αθήνα 1966]

Μόλις όμως έγιναν αντιληπτές οι εκτάσεις που θα απαλλοτριώνονταν για την ανέγερση των δημοσίων κτηρίων, τη διαμόρφωση των πάρκων και του οδικού δικτύου, καθώς και για τις

αρχαιολογικές ανασκαφές, ξέσπασε κύμα διαμαρτυριών. Ο σχεδιασμός των Κλεάνθη και Schaubert ήταν μαξιμαλιστικός με μεγάλες λεωφόρους και ευρύχωρα πεζοδρόμια, αντίστοιχος μεγάλων πόλεων του εξωτερικού, αλλά και λόγω του χαρακτήρα της πόλης είχαν σχεδιάσει και μεγάλες εκτάσεις για αρχαιολογικές ανασκαφές. Ο σχεδιασμός απαιτούσε όμως πολλά χρήματα τόσο στην ανοικοδόμηση όσο και λόγω των απαλλοτριώσεων με αποτέλεσμα την αναστολή της εφαρμογής του, τον Ιούνιο του 1834 με εντολή της Αντιβασιλείας.

Η αναθεώρηση του σχεδίου ανατέθηκε στον Βαυαρό αρχιτέκτονα Leo von Klenze, το οποίο μείωσε τόσο την έκταση της Νέας Πόλης όσο και περιόρισε σημαντικά το πλάτος των δρόμων και τον χώρο των πλατειών ωστόσο δεν εξάλειψε τις δυσχέρειες αφού και πάλι υπήρξαν αντιδράσεις που οδήγησαν σταδιακά σε διάφορες μικρότερες τροποποιήσεις.

Ο ορισμός της Αθήνας ως πρωτεύουσας το 1834 υπήρξε ένα σημείο καμπής για την ανάπτυξή της. Οι Έλληνες της διασποράς που έως και την Επανάσταση διέμεναν στο εξωτερικό Ευρώπη επέστρεψαν στην πόλη φέρνοντας τα κεφάλαια για την ανοικοδόμηση της και ακολουθώντας την εγκατάσταση της κεντρικής εξουσίας στην νέα πρωτεύουσα.

Η κοινωνική ταυτότητα της Αθήνας είναι ιδιαίτερη. Όλο τον 19ο αλλά και τον 20ο αιώνα υπήρξε σημείο συγκέντρωσης. Πολίτες από μικρότερες πόλεις και χωριά οδηγούνταν στην εσωτερική μετανάστευση σε αναζήτηση μιας καλύτερης τύχης ή βίαια λόγω γεγονότων όπως η Μικρασιατική καταστροφή (1922). Ο όγκος πολιτών που εγκαταστάθηκαν στην πόλη ήταν τέτοιος που ακόμα και αν αυτή είχε προλάβει να διαμορφώσει κάποιους βασικούς κανόνες και συμπεριφορές αστικής συμβίωσης αυτοί δεν γινόταν να αφομοιωθούν με τον τετραπλασιασμό του πληθυσμού έως το 1900. Συντελούνταν μια συνεχής κοινωνική μετάλλαξη με κεντρικό άξονα την συγκέντρωση ετερόκλητου πληθυσμού με ισχυρή προσκόλληση σε τοπικές παραδόσεις, ήθη και έθιμα του γενέθλιου τόπου του και πολύ μικρό ενδιαφέρον για τα κοινά ζητήματα της νέας του πόλης. Πολλές φορές ακόμα και σήμερα αρκετές γενιές αργότερα βλέπουμε αυτή την προσέγγιση σε μεγάλο μέρος των κατοίκων όπου είναι αποξενωμένοι και συμπεριφέρονται χωρίς σεβασμό στον δημόσιο χώρο και την πόλη αυθαιρετώντας ταυτόχρονα ακούσια απέναντι και προς τους συμπολίτες τους.

Παράλληλα με την σχεδόν ανεξέλεγκτη πολεοδομική ανάπτυξη της πόλης και την σταδιακή εξέλιξη της τεχνολογίας τον 20ο αιώνα αναπτύσσονται και οι συγκοινωνίες της. Ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα η πόλη είχε ιππήλατο τραμ το οποίο στις αρχές του 20ου μετατράπηκε σε ηλεκτρικό όμως δεν κάλυπτε νέες γειτονιές που δομούνταν εκτός των ορίων της πόλης. Το 1925 μέσα σε περίπου μια δεκαετία από την πρώτη εμφάνισή τους, η Αθήνα βρίσκεται με 700 λεωφορεία, ένα νέο μέσο ιδιαίτερα βολικό και σαφώς ταχύτερο από τα τραμ της εποχής, ενώ το 1926 αυξάνονται σε 1160 (μαζί με τον Πειραιά), ενώ ταυτόχρονα με την εγκατάσταση 400.000 προσφύγων ο πληθυσμός αγγίζει τις 800.000 κατοίκους. (Νάθενας, et al., 2007)

Τα τραμ συνυπάρχουν με τα λεωφορεία μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1950 όπου αντικαθίσταται και αποξηλώνεται για να δώσει την θέση του σε νέες λεωφόρους και τα τρόλλεϋ. Οι συγκοινωνίες παραμένουν ιδιωτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους (ιδιαίτερη η σχέση λεωφορειούχων και της ΗΕΜ) ενώ για σύνδεση περιοχών με μικρότερη επιβατική κίνηση ήταν προβληματική καθώς υπήρχαν αντιδράσεις αν αυτή δεν ήταν εξασφαλισμένη. Ταυτόχρονα οι κάτοικοι της πόλης μπορούν σιγά σιγά και αποκτούν τα δικά τους αυτοκίνητα και έτσι το πλήθος τους σταδιακά αυξάνεται.

Ταυτόχρονα με τα παραπάνω, πάνω στην χάραξη των Σιδηρόδρομων Αθηνών – Πειραιώς (ΣΑΠ) ενός ατμοκίνητου σιδηροδρόμου που ιδρύθηκε το 1869 και ένωνε το λιμάνι του Πειραιά με το Θησείο γίνονται επεκτάσεις προς το κέντρο της Αθήνας με χαρακτηριστικότερο τεχνικό έργο της εποχής την διάνοιξη – εκσκαφή της οδού Αθηνάς από το Μοναστηράκι στην Ομόνοια (παλιός σταθμός, 1895) και λίγο αργότερα εισάγεται η ηλεκτροκίνηση (1904) μετατρέποντας σιγά σιγά τον Φαληρικό όρμο σε χώρο αναψυχής των Αθηναίων που έκαναν την διαδρομή με το τραίνο στα νότια με μεγάλο ενδιαφέρον. Μετά από αρκετούς μετασχηματισμούς (ίδρυση των ΕΗΣ, απορρόφηση του ΣΑΠ, κρατικοποίηση και ίδρυση των ΗΣΑΠ) και επεκτάσεις (χαρακτηριστικά αναφέρονται η ανασκαφή νέου-σημερινού σταθμού Ομόνοιας 1928, η επέκταση προς πλατεία Βικτώριας και Αττικής – 1931, η επέκταση και ηλεκτροκίνηση στο τμήμα Αττική-Κηφισιά στην χάραξη του «θηρίου» επι της Λ. Ιωνίας) ο σιδηρόδρομος πήρε την μορφή που διατηρεί ως σήμερα με μικρές αλλαγές και υπήρξε η πρώτη γραμμή στην πόλη που διέθετε χαρακτήρα μητροπολιτικού σιδηροδρόμου ακόμα και αν είναι στο μεγαλύτερο μέρος της υπέργεια.

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 οι συγκοινωνίες στην Αθήνα κρατικοποιούνται. Το 1977 ιδρύεται ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών (ΟΑΣ) με σκοπό να εποπτεύει τους επιμέρους φορείς συγκοινωνιακού έργου. Μέχρι τότε με ελάχιστες εξαιρέσεις οι υφιστάμενες συνδέσεις με λεωφορεία ήταν ακτινικές εξυπηρετώντας δύο κύριους πυρήνες, το κέντρο της Αθήνας και το κέντρο του Πειραιά ενώ τα τρόλλεϋ εξυπηρετούν τις διαδρομές που έκανε το τραμ. Έκτοτε ξεκίνησαν να δημιουργούνται περιφερειακές του κέντρου συνδέσεις που είχαν ως στόχο την ενίσχυση του ρόλου και του χαρακτήρα των περιοχών δημιουργόντας μικρούς πόλους.

Το δίκτυο γραμμών λεωφορείων και τρόλλεϋ με την σημερινή του μορφή εισήχθη από τον ΟΑΣΑ στην δεκαετία του 1990 ως προϊόν συνολικού σχεδιασμού. Παράλληλα κατασκευάζεται το Μετρό αλλά και άλλες σιδηροδρομικές συνδέσεις (Τραμ, Προαστιακός σιδηρόδρομος). Με την εισαγωγή και την σταδιακή επέκταση των ΜΣΤ στην καθημερινότητα της Αθήνας το δίκτυο γραμμών επιφανείας προσαρμόζεται αναλόγως ώστε να δρα τροφοδοτικά. Στην μορφή που έχει πάρει πλέον το αστικό συγκοινωνιακό δίκτυο δεν εξυπηρετεί την Αθήνα αυτή καθαυτή αλλά μεγάλο μέρος της Αττικής. Αναλυτικότερες πληροφορίες όσον αφορά την δομή του σημερινού συστήματος παρουσιάζονται στην συνέχεια.

5.1.2. Πληθυσμιακά στοιχεία

Η περιφέρεια Αττικής, αν και καταλαμβάνει χωρικά μόλις το ~3% της συνολικής επιφάνειας της χώρας, ωστόσο συγκεντρώνει περίπου το 35% του συνολικού πληθυσμού, επιβεβαιώνοντας τον «μητροπολιτικό» της χαρακτήρα. Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ και ειδικότερα σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο πραγματικός πληθυσμός της Περιφέρειας Αττικής ανέρχεται σε 3.787.386 κατοίκους και ο μόνιμος πληθυσμός σε 3.828.434 κατοίκους.

Η διαχρονική εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού της περιφέρειας Αττικής και του συνόλου της Χώρας παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί για τα έτη 1971-2011 (**Πίνακας 5.1.2-1**). Από τα στοιχεία της διαχρονικής εξέλιξης του πληθυσμού, καθίσταται σαφές, ότι κατ' αναλογία της πληθυσμιακής μεταβολής που καταγράφηκε σε επίπεδο Χώρας και στην Αττική σημειώνεται πτωτική τάση στην πληθυσμιακή εξέλιξη, ως αποτέλεσμα της παρατεταμένης οικονομικής κρίσης που βρίσκεται η χώρα.

Πίνακας 5.1.2-1. Διαχρονική εξέλιξη του πραγματικού πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής 1971-2011

ΧΩΡΙΚΗ /ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ					% ΜΕΤΑΒΟΛΗ			
	1971	1981	1991	2001	2011	71-81	81-91	91-01	01-11
ΧΩΡΑ	8.788.641	9.740.417	10.259.900	10.964.020	10.940.777	10,8%	5,3%	6,9%	-0,2%
ΑΤΤΙΚΗ	2.797.836	3.369.443	3.523.407	3.761.810	3.787.386	20,4%	4,6%	6,8%	0,7%

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Αττικής, με έτος βάσης / αρχικής αναφοράς το 1991 (το έτος δηλ. που άρχισε να καταγράφεται με επίσημο τρόπο στατιστικά η συγκεκριμένη κατηγορία πληθυσμού)(**Πίνακας 5.1.2-2**).

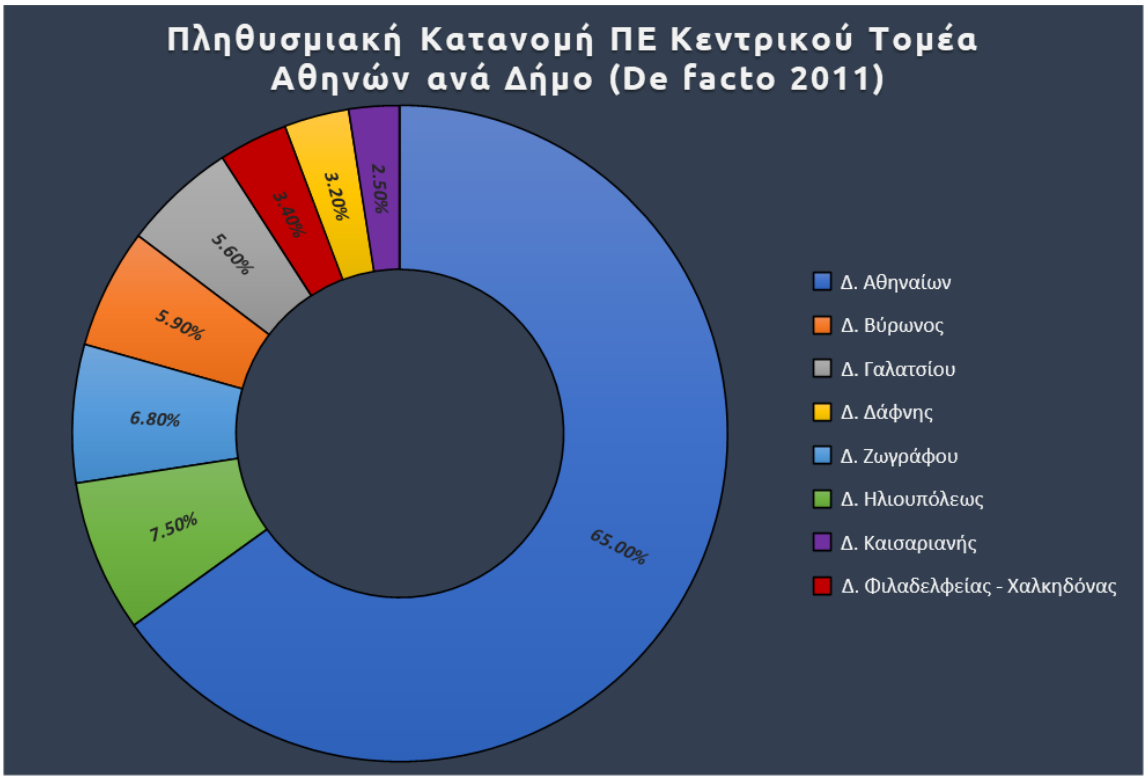
Πίνακας 5.1.2-2. Διαχρονική εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Περιφέρειας Αττικής

ΧΩΡΙΚΗ / ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ			ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ (%) ΜΕΤΑΒΟΛΗ	
	1991	2001	2011	1991-2001	2001-2011
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	10.223.392	10.934.097	10.816.286	7,0%	-1,1%
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	3.594.817	3.894.573	3.828.434	8,3%	-1,7%

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

Σύμφωνα με τα στοιχεία των ανωτέρω πινάκων ο μόνιμος πληθυσμός της Περιφέρειας Αττικής (σύνολο ατόμων που τουλάχιστον τους τελευταίους 12 μήνες πριν την ημερομηνία απογραφής έχουν ζήσει συνεχώς στον τόπο διαμονής τους), παρουσιάζει μείωση της τάξης του 1,7%. Ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των κατοίκων της Περιφέρειας μετακινείται καθημερινά εντός της, ιδίως στις αστικοποιημένες περιοχές για να εκπληρώσει τις διάφορες υποχρεώσεις και ανάγκες του.

Σχήμα 5.1.2-1. Κατανομή πραγματικού πληθυσμού Περιφέρειας Αττικής ανά ΠΕ
[Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011]



Σχήμα 5.1.2-2. Κατανομή πραγματικού πληθυσμού ΠΕ Κεντρικού Τομέα ανά Δήμο
[Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011]

5.2. Το συγκοινωνιακό δίκτυο

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η σύνθεση του συγκοινωνιακού δικτύου που εξυπηρετεί την ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας. Γίνεται μια σύντομη αναδρομή στο ιστορικό της δημιουργίας του κάθε μέσου έως και την σημερινή εποχή, ενώ στην συνέχεια παρουσιάζονται τα κύρια λειτουργικά στοιχεία του συγκοινωνιακού δικτύου καθώς και οι ήδη σχεδιασμένες μελλοντικές επεκτάσεις.

5.2.1. Διάρθρωση του δικτύου

Δίκτυο οδικών μέσων

Το δίκτυο αποτελείται από τους παρακάτω τύπους γραμμών:

- Γραμμές κορμού: Συνδέουν το κέντρο της Αθήνας και του Πειραιά με τα περιφερειακά τοπικά κέντρα. Η κίνηση γίνεται σχεδόν αποκλειστικά σε βασικές οδικές αρτηρίες μεγάλο μέρος των οποίων έχει λεωφορειολωρίδες για την αύξηση της ταχύτητας τους, ενώ τα δρομολόγια στην αιχμή είναι πολύ πυκνά. Κατά κανόνα εκτελούνται με αρθρωτά (διπλά) οχήματα 18 μέτρων χωρητικότητας.
- Δευτερεύουσες γραμμές κορμού: Συνδέουν μεταξύ τους τα περιφερειακά πολεοδομικά κέντρα.
- Τοπικές γραμμές: Διατρέχουν τις περιοχές κατοικίας και παρέχουν συνδέσεις με περιφερειακά κέντρα που εξυπηρετούνται από γραμμές ΜΣΤ ή καταλήγουν σε οδικές αρτηρίες που εξυπηρετούνται από πρωτεύουσες & δευτερεύουσες γραμμές κορμού.
- Διαδημοτικές γραμμές: Συνδέουν τα κέντρα γειτονικών δήμων.
- Γραμμές Express: Συνδέουν το κέντρο ή περιφερειακά κέντρα με σημεία ενδιαφέροντος. Απομένουν 2 τέτοιες γραμμές ή μια εκ των οποίων είναι σχολική. Στις γραμμές express μπορούν να προσμετρηθούν και οι γραμμές Χ που καλύπτουν την σύνδεση με τον αερολιμένα «Ελ. Βενιζέλος», επιβιβάζοντας μόνο σε συγκεκριμένες στάσεις κατά μήκος της διαδρομής.

Σε 24ωρη βάση λειτουργούν οι ακόλουθες λεωφορειακές γραμμές, που καλύπτουν μεγάλους οδικούς άξονες και τον Αερολιμένα:

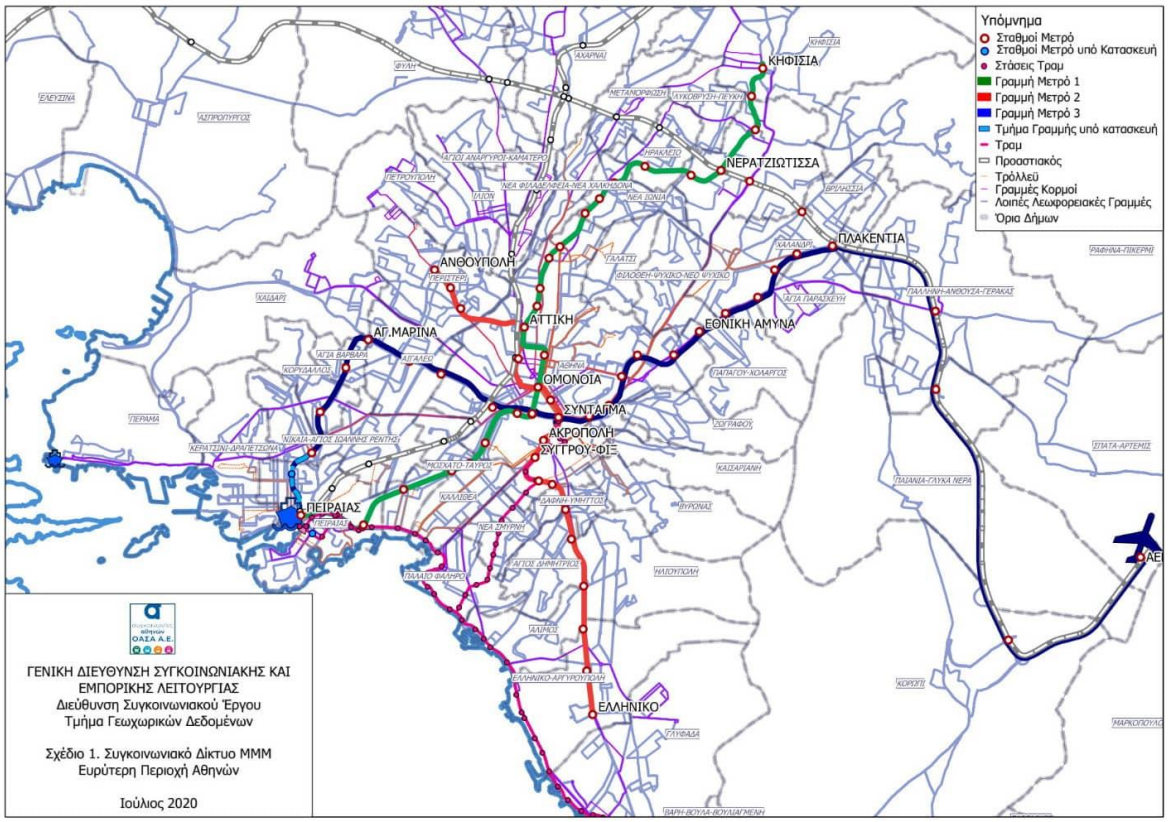
- Χ93 Σταθμός ΚΤΕΛ Κηφισού - Αερολιμένας Αθηνών
- Χ95 Σύνταγμα - Αερολιμένας Αθηνών
- Χ96 Πειραιάς - Αερολιμένας Αθηνών
- Χ97 Σταθμός Μετρό Δάφνης – Αερολιμένας Αθηνών
- 040 Πειραιάς – Σύνταγμα
- 11 Α. Πατήσια - Ν. Παγκράτι - Ν. Ελβετία.

Δίκτυο μέσων σταθερής τροχιάς

Το δίκτυο ΜΣΤ στην Αθήνα αποτελείται από 3 γραμμές Μετρό και 2 γραμμές τραμ που καλύπτουν μεγάλο μέρος του αστικού ιστού. Παράλληλα στο αστικό τμήμα του δυνατότητα αστικής μεταφοράς προσφέρει και ο Προαστιακός Σιδηρόδρομος ο οποίος συνδέει το λιμάνι του Πειραιά με το Αεροδρόμιο διαμέσου του κεντρικού Σιδ. Σταθμού (ΣΣ Λαρίσης) και του Συγκοινωνιακού κέντρου Αχαρνών (ΣΚΑ) καθώς και στο τμήμα Μαγούλα-Κορωπί με κοινό εισιτήριο του ΟΑΣΑ, η λειτουργία του όμως γίνεται από την εταιρεία ΤΡΑΙΝΟΣΕ.

5.2.1. Τρόπος λειτουργίας

Στην περιοχή μελέτης υπό την εποπτεία του ΟΑΣΑ, το συγκοινωνιακό έργο εκτελείται παραδοσιακά από αυτόνομους φορείς, οι οποίοι είναι και αυτοί κρατικοί. Η περιοχή που εξυπηρετείται σήμερα με αστική συγκοινωνία από τον Όμιλο ΟΑΣΑ είναι οι 4 Περιφερειακές Ενότητες των Αθηνών της Περιφέρειας Αττικής, η Π.Ε Πειραιά καθώς και τμήματα των Π.Ε. Ανατολικής & Δυτικής Αττικής. Στα υπόλοιπα η συγκοινωνία χαρακτηρίζεται προαστιακή (εκτός της Π.Ε. Νήσων) και εκτελείται από το ΚΤΕΛ Αττικής.



Σχήμα 5.2.1-1 Χάρτης συγκοινωνιακού δικτύου περιοχής Αθηνών 2020
[Πηγή: ΟΑΣΑ Α.Ε.]

Πρόσφατα, στα τέλη του 2020, με αφορμή την αντιμετώπιση της διασποράς του Covid-19, λόγω της αδυναμίας των υφιστάμενων φορέων να καλύψουν την ανάγκη για προσθήκη στόλου, για

πρώτη φορά υπογράφεται σύμβαση ανάθεσης συγκοινωνιακού έργου σε ιδιώτη (ΚΤΕΛ Αττικής Α.Ε. με υπο-ανάθεση ποσοστού του έργου στις ΚΤΕΛ Ν. Κορινθίας Α.Ε., ΚΤΕΛ Ν. Εύβοιας Α.Ε. και ΚΤΕΛ Επαρχίας Θηβών Α.Ε[9]) κάτι που φαίνεται να ικανοποίησε ποσοστό 55% του επιβατικού κοινού σύμφωνα με στοιχεία έρευνας που περιλαμβάνονται στην Έκθεση Πεπραγμένων 2020 του ομίλου ΟΑΣΑ. Η ανάθεση αφορά εξήντα (60) περιφερειακών-προαστιακών γραμμών από την ΚΤΕΛ Ν. Αττικής με λεωφορεία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας Euro V ή νεότερης.

Στο ίδιο πνεύμα σε δεύτερο στάδιο, το 2021, εισάγεται η ανανέωση του τροχαίου υλικού της Ο.ΣΥ. Α.Ε. με την μέθοδο του leasing για τρία έτη, δράση που έδωσε μια ανάσα πνοής στην καθημερινή πλήρωση των βαρδιών ωστόσο ανέδειξε και διάφορα προβλήματα όσον αφορά την οργάνωση, ενώ η εταιρεία διατηρεί το δικαίωμα παράτασης για ένα ακόμη έτος.

Με όμοιο τρόπο προωθείται η εξασφάλιση χρηματοδότησης για πλήρη ανακατασκευή μέρους του τροχαίου υλικού της ΣΤΑ.ΣΥ. Α.Ε. (Συρμοί 8ης παραλαβής) προκειμένου αυτοί ανανεωμένοι να διανύσουν ακόμα ένα κύκλο υπηρεσίας 15-20 ετών.

5.2.2. Δημόσιοι συγκοινωνιακοί φορείς

Οδικά μέσα

Τα δημόσια οδικά μέσα συγκοινωνίας σήμερα λειτουργούν με ευθύνη της Οδικές Συγκοινωνίες Α.Ε. που ιδρύθηκε το 2011.

Λεωφορεία

Τα θερμικά λεωφορεία σαν τύπος εμφανίστηκαν στις αρχές του εικοστού αιώνα. Η είσοδος τους στον κόσμο των μεταφορών ήταν σαρωτική έναντι των αργών πλέον για την εποχή ιππήλατων αμαξών ή των ατμοκίνητων όπου ήταν πολύ βαριές κατασκευές. Τα πρώτα λεωφορεία στην Αθήνα ήταν ιδιωτικά και έτσι συνέχισαν τις πρώτες δεκαετίες, στην αρχή με μικρές χωρητικότητες (~15 ατόμων) και σταδιακά μεγαλύτερα και λειτουργούσαν αυτόνομα ή σε μικρές εταιρείες χωρίς κοινό τιμολόγιο και σε γραμμές που επέλεγαν οι λεωφορειούχοι. Μετά τον πόλεμο η ιστορία ξεκινά ξανά σχεδόν από μηδενική βάση. Οι λεωφορειούχοι χωρισμένοι σε κοινά ταμεία εισπράξεων (ΚΤΕ, μετέπειτα ΚΤΕΛ) εισάγουν νέα οχήματα για την πρωτεύουσα ή μετασκευάζουν φορτηγά για μεταφορά επιβατών. Το 1960 συστήνεται η ΑΣΠΑ Α.Ε. «Αστικαί Συγκοινωνίαι Περιοχής Αθηνών». Οι τιμές εισιτηρίων ενοποιούνται με κυβερνητική απόφαση το 1970. Το 1977 οι συγκοινωνίες κρατικοποιούνται και ιδρύεται η Ε.Α.Σ. μετέπειτα Ε.Θ.Ε.Λ – Εταιρεία Θερμικών Λεωφορείων (1994) η οποία έδωσε την θέση της στην σημερινή διαχειρίστρια εταιρεία.

Η Ο.ΣΥ. σήμερα καλύπτει 200 γραμμές όλων των τύπων με περίπου 1400 οχήματα που αναλύονται στην συνέχεια.

[9] Δυνάμει της απόφασης Δ 81/2020 της Ενιαίας Ανεξάρτητης Αρχής Δημοσίων Συμβάσεων. Διαθέσιμη στο : https://www.eaadhsy.gr/images/apofaseis/2020_%CE%9481.pdf (τελευταία πρόσβαση: 16/5/2022)

Δίκτυο τρόλλεϋ

Σήμερα θεωρούμε δεδομένη την ύπαρξη του δικτύου τρόλλεϋ στην Αθήνα καθώς αυτό υπάρχει αρκετές δεκαετίες. Η πρώτη ιδέα για την εγκατάσταση του δικτύου αυτού προέκυψε το 1929 μετά την υποβολή προτάσεων προς την ΗΕΜ (Ηλεκτρική Εταιρία Μεταφορών) από τον E.J.Spencer, σύμβουλο συγκοινωνιακών θεμάτων που είχε έρθει στην Αθήνα για την μελέτη και την υποβολή προτάσεων. Τα συμπεράσματα του συνοψίζονται παρακάτω. (Νάθενας, et al., 2007)

- Τα τότε υφιστάμενα τραμ παρουσιάζουν χαμηλές ταχύτητες λόγω ανάμειξης τους με την κυκλοφορία ενώ τα λεωφορεία είναι πιο ευέλικτα
- Υπάρχει ανάγκης αύξησης στόλου οχημάτων με οχήματα μεγάλης χωρητικότητας
- Η ΗΕΜ θα πρέπει να δοκιμάσει χρήση ηλεκτροκίνητων λεωφορείων με κεραία σε μια γραμμή, κατά προτεραιότητα στον Πειραιά.

Η οριστική απόφαση ελήφθη μερικά χρόνια αργότερα, με την υπογραφή σχετικής Συμπληρωματικής σύμβασης μεταξύ της ΗΕΜ και του ελληνικού δημοσίου. Η πρώτη γραμμή τρόλλεϋ λειτούργησε δοκιμαστικά στην Καστέλλα σε αντικατάσταση της τροχιοδρομικής γραμμής 20 στα τέλη του 1939 για σύντομο διάστημα λόγω της γερμανικής κατοχής. Τα πρώτα 12 οχήματα της ΗΕΜ, ήταν Ιταλικής κατασκευής από την Fiat, με αρίθμηση 701-712, χωρητικότητας 30 καθήμενων και 28 ορθίων. Τα επίσημα εγκαίνια της γραμμής 20 «ΣΤ ΕΗΣ- Καστέλλα-Νέο Φάληρο» γίνονται το 1948 μετά την αποχώρηση των Γερμανών. Τα επόμενα χρόνια αφού η λειτουργία θεωρήθηκε επιτυχής η ΗΕΜ ξεκίνησε την επέκταση του δικτύου και στην Αθήνα αντικαθιστώντας υφιστάμενες τροχιοδρομικές γραμμές (διάδρομος Πατησίων/Κυψέλης – κέντρου- Αμπελοκήπων/Παγκρατίου). Η πρώτη γραμμή λειτούργησε στις 27/12/1953 στην διαδρομή Πατήσια-Αμπελόκηποι (σημερινή γραμμή 3) με αφετηρία την Πλατεία Κολιάτσου. Για τις νέες γραμμές η εταιρεία προμηθεύτηκε οχήματα χωρητικότητας 100 ατόμων.

Σχήμα 5.2.2-1. Διαφημιστικό της ΗΕΜ για τα νέα τρόλλεϋ – δεκαετία '60
(Νάθενας, et al., 2007)

Το 1955, με τις γραμμές να έχουν επεκταθεί και να συνδέουν πλέον και το Παγκράτι, είναι η πρώτη χρονιά κατά την οποία ο συνολικός αριθμός των επιβατών που μεταφέρονται με τρόλλεϋ ξεπερνά αυτούς που κινήθηκαν με τα τραμ (τα οποία σιγά σιγά καταργούνταν με την επέκταση του δικτύου). (Νάθενας, et al., 2007)

Στα επόμενα χρόνια το δίκτυο τρόλλεϋ επεκτάθηκε περαιτέρω και η επιβατική κίνηση αυξανόταν αφού ο κόσμος το θεωρούσε πιο πράσινο μέσο από τα τότε λεωφορεία. Η ΗΕΜ και το έργο της φτάνει στο τέλος του το 1970 όπου εξαγοράζεται και ιδρύεται ένα ΝΠΔΔ κρατικών συμφερόντων με την ονομασία ΗΛΠΑΠ (Ηλεκτρικά Λεωφορεία Περιοχής Αθηνών Πειραιώς) όπου αναλαμβάνει την εκμετάλλευση των γραμμών τρόλλεϋ. Πολλά στοιχεία που διατηρούνται έως σήμερα συνδέουν τα τρόλλεϋ με τα τραμ της παλαιότερης εποχής (όπως η αρίθμηση των οχημάτων που δεν φέρουν κανονικές πινακίδες κυκλοφορίας αλλά αριθμούνται σε σειρές)

Μακροπρόθεσμα έχει διαπιστωθεί πως η περιορισμένη ταχύτητα των τρόλλεϋ με την εμφάνιση του κυκλοφοριακού προβλήματος στην Αθήνα περιόρισε και τα υπόλοιπα οχήματα (λεωφορεία, ΙΧ) δημιουργόντας καθυστερήσεις και αυξημένες εκπομπές καυσαερίων. Η κίνηση τους και το όφελος τους παραμένει αμφιλεγόμενη έως σήμερα αφού τα παρακάτω προβλήματα παραμένουν.

- Σε διαφορετικές γραμμές που κινούνται σε κοινό διάδρομο τα τρόλλεϋ δεν δύνανται να προσπεράσουν το προπορευόμενο παρά μόνο σε προκαθορισμένα σημεία όπου υπάρχει διακλάδωση (ψαλίδια) με την προϋπόθεση αυτά να είναι τηλεχειριζόμενα από το όχημα.
- Δεν μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες παρά μόνο σε ευθύγραμμα τμήματα χωρίς των κίνδυνο απώλειας της σύνδεσης με την εναέριο γραμμή τροφοδοσίας.
- Στα σημεία αλλαγών τροχιάς (ψαλίδια) πρέπει το όχημα να περνά με χαμηλή ταχύτητα για να μην εκτροχιαστεί με αποτέλεσμα να μειώνεται η μέση ταχύτητα κίνησής του.
- Το μεγάλο μήκος του εναέριου δικτύου και το πλήθος των στηρίξεων που αυτό απαιτεί έχει δημιουργήσει πολλές φορές συζητήσεις περί οπτικής ρύπανσης του αστικού χώρου ιδίως σε κεντρικά σημεία όπου υπάρχει η ανάγκη ανάδειξης του χώρου και της αρχιτεκτονικής των παρακείμενων κτιρίων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Αθηναϊκά Τρόλλεϋ (ΗΛΠΑΠ) είναι ο πρώτος συγκοινωνιακός πάροχος που εγκατέστησε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 σύστημα τηλεματικής για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και ενιαίο κέντρο διαχείρισης της κυκλοφορίας.

Το απόγειο τους σημειώνεται τα έτη 2002-2003 με ταυτόχρονη λειτουργία 25 γραμμών σε συνολικό μήκος εναέριου δικτύου 232 km. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ΗΛΠΑΠ διέθεταν το 2003 32 ιδιόκτητους υποσταθμούς με συνολική απόδοση 84300 kW για την συνεχή τροφοδοσία του δικτύου τους.

Σχήμα 5.2.2-2. Ρώσικο τρόλλεϋ ZiU-9B-1, που λειτούργησε στην Αθήνα από το 1985 έως τις αρχές του 2004, σε εορταστική-μουσειακή διαδρομή στην γραμμή 20 την Κυριακή των Βαΐων, 2017

Το 2011 οι ΗΛΠΑΠ συγχωνεύονται με την ΕΘΕΛ σχηματίζοντας την Οδικές Συγκοινωνίες Α.Ε., με διακριτικό τίτλο Ο.ΣΥ. Α.Ε. (ΦΕΚ 1454/Β΄/17.06.2011) . Τα τελευταία χρόνια μέρος των γραμμών έχει καταργηθεί ενώ τα εκτελεσθέντα οχηματοχιλιόμετρα έχουν μειωθεί τόσο λόγω της συρρίκνωσης του δικτύου όσο και της έλλειψης οδηγών που έχει παγιωθεί. Το σύνολο του δικτύου είναι ενταγμένο στο δίκτυο τηλεματικής του ΟΑΣΑ. Σήμερα λειτουργούν 20 γραμμές κατά κανόνα διακεντρικές ενώ υπάρχουν κάποιες γραμμές ακτινικές (από το κέντρο προς τα προάστια).

Πίνακας 5.2.2-1. Οι 25 συνολικά γραμμές τρόλλεϋ στην Αθήνα	
1	ΠΛ. ΑΤΤΙΚΗΣ - ΚΑΛΛΙΘΕΑ - ΜΟΣΧΑΤΟ
2	ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ - ΠΑΓΚΡΑΤΙ - ΑΝΩ ΚΥΨΕΛΗ
3	ΝΕΟ ΨΥΧΙΚΟ - ΑΝΩ ΠΑΤΗΣΙΑ - Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ
4	ΣΤ. ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ - ΑΓ. ΑΡΤΕΜΙΟΣ - ΑΝΩ ΚΥΨΕΛΗ
5	ΤΖΙΤΖΙΦΙΕΣ - ΠΛ. ΣΥΝΤΑΓΜΑΤΟΣ - ΛΑΜΠΡΙΝΗ
6	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ - ΚΟΣΜΑΣ ΑΙΤΩΛΟΣ - ΙΠΠΟΚΡΑΤΟΥΣ
7	ΖΑΠΠΕΙΟ - ΑΝΩ ΠΑΤΗΣΙΑ
8	ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ-ΛΕΩΦ.ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ ΚΥΚΛΙΚΗ
9	ΑΝΩ ΚΥΨΕΛΗ- ΖΑΠΠΕΙΟ

10	ΧΑΛΑΝΔΡΙ - ΤΖΙΤΖΙΦΙΕΣ
11	Ν. ΕΛΒΕΤΙΑ - Ν. ΠΑΓΚΡΑΤΙ - ΑΝΩ ΠΑΤΗΣΙΑ
12	ΖΑΠΠΕΙΟ - ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ [ΑΓ. ΙΕΡΟΘΕΟΣ]
13	ΛΑΜΠΡΙΝΗ-Ν.ΨΥΧΙΚΟ (μέσω Κέντρου)
14	ΓΗΡΟΚΟΜΕΙΟ - Λ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ - ΛΑΜΠΡΙΝΗ
15	ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ - ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΑ - ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ
16	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ
17	ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ
18	ΧΑΛΑΝΔΡΙ - ΜΟΥΣΕΙΟ [ΜΕΣΩ ΕΘΝ. ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ]
19	ΜΟΥΣΕΙΟ - ΣΤ. ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ (ΣΙΔΕΡΑ)
19Β	ΜΟΥΣΕΙΟ - ΧΑΛΑΝΔΡΙ [ΣΙΔΕΡΑ]
20	Ν. ΦΑΛΗΡΟ - ΚΑΣΤΕΛΛΑ - ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑ
21	ΝΙΚΑΙΑ - Π. ΡΑΛΛΗ - ΟΜΟΝΟΙΑ
22	ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ-ΠΕΙΡΑΙΩΣ-ΟΜΟΝΟΙΑ
23	ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ-ΚΟΥΚΑΚΙ-ΟΜΟΝΟΙΑ
24	ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗ - ΙΛΙΟΝ - ΣΤ. ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ
25	ΣΤ. ΑΓ. ΑΝΤΩΝΙΟΣ - ΙΛΙΟΝ - ΚΑΜΑΤΕΡΟ

* με κόκκινη επισήμανση καταγράφονται οι γραμμές που έχουν καταργηθεί για λόγους πληρότητας (χωρίς να έχει αποξηλωθεί το εναέριο δίκτυο)

** γραμμές που έχουν κατά καιρούς επεκταθεί ή ανασχεδιαστεί καταγράφονται στην πιο πρόσφατη μορφή τους

Σχήμα 5.2.2-3. Σύγχρονα Αθηναϊκά τρόλλεϋ κινούνται μέσα στην πόλη (ίδιες λήψεις)

Μέσα σταθερής τροχιάς

Τα Αθηναϊκά ΜΣΤ σήμερα λειτουργούν από την Σταθερές Συγκοινωνίες Α.Ε. (ΣΤΑ.ΣΥ.) η οποία είναι δημόσιος συγκοινωνιακός φορέας και δημιουργήθηκε το 2011 (ΦΕΚ 1454/Β΄) απορροφώντας τις εταιρείες ΗΣΑΠ Α.Ε., ΤΡΑΜ Α.Ε. και ΑΜΕΛ Α.Ε. σε μια προσπάθεια αφενός εξοικονόμησης πόρων και αφετέρου στην κοινή διαχείριση των τριών μέσων που ούτως ή άλλως χαρακτηρίζονται από συμπληρωματικότητα.

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.1 ήδη από τις αρχές του 1900 και καθ' όλη την διάρκεια των επόμενων δεκαετιών η γραμμή των ΣΑΠ επεκτεινόταν απορροφώντας υφιστάμενες υποδομές και αναβαθμίζοντας τις για την δημιουργία της πρώτης γραμμής με στοιχεία μετρό στην Αθήνα. Όμως λόγω του υπέργειου χαρακτήρα που διατήρησε η σύγκριση με τα δίκτυα μετρό των μεγάλων πόλεων του εξωτερικού παρέμενε. Το ιστορικό των προτάσεων για δημιουργία δικτύου υπόγειου μητροπολιτικού σιδηροδρόμου στην πρωτεύουσα ξεκινά από το 1925 με την υποβολή σχετικού σχεδίου από τον μηχανικό Α. Βερδελή στο συνέδριο για το Νέο Σχέδιο της πόλης των Αθηνών (Νάθενας, et al., 2007). Το σχέδιο εκείνο προέβλεπε δίκτυο μετρό το οποίο περιελάμβανε την γραμμή Αθηνών-Πειραιώς των ΣΑΠ καθώς και 4 νέες υπόγειες γραμμές που θα κάλυπταν το κέντρο όσο και τις τότε αναπτυσσόμενες γειτονιές γύρω από αυτό που σιγά σιγά αστικοποιούνταν.

Τελικά χρειάστηκαν αρκετές δεκαετίες και αρκετές αναθεωρήσεις, προτάσεις και ανασχεδιασμούς έως την στιγμή που κάποια από αυτές, ώριμη πλέον, έφτασε στο στάδιο της υλοποίησης.

Το Μετρό στην σημερινή του μορφή ολοκληρώθηκε το 2000 όπου και λειτούργησαν οι δύο νέες γραμμές οι οποίες τα επόμενα χρόνια σταδιακά επεκτάθηκαν. Σήμερα μαζί με την γραμμή των Η-ΣΑΠ αποτελούν ενιαίο δίκτυο μητροπολιτικού σιδηροδρόμου τριών γραμμών συνολικού μήκους 88.5 km και 68 σταθμών το οποίο καλύπτει σε μεγάλο ποσοστό τις ανάγκες των πιο πυκνοκατοικημένων περιοχών της πόλης (**Πίνακας 5.2.2-2**) ενώ με τις σχεδιαζόμενες επεκτάσεις του υπάρχει μια σαφής ενίσχυση της παρουσίας των ΜΣΤ μέσα σε μια εικοσαετία.

Τροχιόδρομος (τραμ)

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.1.1 το τραμ στην Αθήνα αν και είχε ιδιαίτερα ανεπτυγμένη παρουσία, στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα σιγά σιγά έδωσε την θέση του στα λεωφορεία. Οι λόγοι ήταν αφενός η ταχύτητα και αφετέρου η μεταφορική ικανότητα που δεν ξεπερνούσε τους 100 επιβάτες. Το τελευταίο δρομολόγιο τραμ έγινε το 1977 στην γραμμή Πειραιώς-Περάματος. Η σύγχρονη εκδοχή του τραμ επέστρεψε μετά από αρκετές προτάσεις που δεν είχαν ευοδώσει καρπούς, το καλοκαίρι του 2000, ως έργο ενταγμένο στα μέσα μεταφοράς βάσης που θα εξυπηρετούσαν τις ανάγκες των Ολυμπιακών αγώνων του 2004. Η πρόταση των καθηγητών Αντ. Σταθόπουλου (ΕΜΠ) και Χρ. Πυργίδη (ΑΠΘ) προέβλεπε νέο σύστημα τραμ δύο γραμμών αρχικά ενώ ο σχεδιασμός περιελάμβανε και την Β΄φάση τριών ακόμα γραμμών που έως σήμερα δεν έχουν υλοποιηθεί. Το Αθηναϊκό τραμ στην σημερινή του μορφή μετά την πρόσφατη προσθήκη του Πειραιά στο δίκτυο (εγκαίνια 2021) σήμερα αποτελείται από δίκτυο 31 χιλιομέτρων σε 2 γραμμές. Η πρώτη διατρέχει το παραλιακό μέτωπο και η άλλη συνδέει το Σύνταγμα με το παραλιακό μέτωπο μέσω των Λεωφ. Καλιρρόης, Ελ. Βενιζέλου & Αχιλλέως καταλήγοντας στον Άλιμο όπου οι γραμμές συναντώνται.

Πίνακας 5.2.2-2. Συγκεντρωτικός πίνακας μήκους δικτύων σταθερής τροχιάς της ΣΤΑ.ΣΥ.

Γραμμή	Τμήμα	Μήκος (km)	Πλήθος σταθμών
1	Πειραιάς- Αθήνα- Κηφισιά	25.7	24
2	Ανθούπολη – Ελληνικό	18.7	20
3	Νίκαια -Αγία Μαρίνα – Δουκ. Πλακεντίας	23.4	20
3	Δουκ. Πλακεντίας - Αεροδρόμιο	*20.7	4
Τραμ	2 διαδρομές Σύνταγμα – Πικροδάφνη Ασκληπείο Βούλας – Αγία Τριάδα (Πειραιάς)	31.3	59

5.2.3. Προβλέψεις του ΡΣΑ για το συγκοινωνιακό δίκτυο

Το Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας είναι εργαλείο χωροταξικού σχεδιασμού. Επέχει θέση Περιφερειακού Πλαισίου (ΠΠΧΣΑΑ) για την Αττική και περιλαμβάνει τις κατευθύνσεις και το όραμα ανάπτυξης για αυτήν. Το ισχύον ΡΣΑ είναι σε ισχύ από το 2014 είχε στόχο την ρύθμιση της ανάπτυξης της πόλης έως το 2020.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες προβλέψεις του Ρυθμιστικού Σχεδίου που αφορούν την οργάνωση των συστημάτων μεταφοράς αλλά και της ενεργειακές στρατηγικές.

Στο άρθρο 21 που αφορά τις περιβαλλοντικές υποδομές και την παρακολούθηση κατάστασης περιβάλλοντος αναφέρεται πως το ενεργειακό σύστημα της Πρωτεύουσας οργανώνεται με στόχο την αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, ενώ δίνονται οι παρακάτω κατευθύνσεις σχετικά με την εγκατάσταση μονάδων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε. στην Αττική:

« α) Για την ηλιακή ενέργεια, εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά συστήματα κατά προτεραιότητα:

αα) Σε νομίμως υφιστάμενα κτίρια και στέγαστρα, εντός και εκτός εγκεκριμένων σχεδίων, με την προϋπόθεση ότι η χρήση των εγκαταστάσεων αυτών επιτρέπεται από τις κείμενες πολεοδομικές διατάξεις.

γγ) Σε εγκαταστάσεις αεροδρομίων και μεγάλων σιδηροδρομικών σταθμών, λιμανιών και γενικά σε εγκαταστάσεις συγκοινωνιακών υποδομών»

Στο επίπεδο της πρόνοιας για την ευχερή κυκλοφορία πεζών και ποδηλάτων, αναφέρονται στο παράρτημα του ΡΣΑ οι άξονες που προκρίνεται να υποστούν «μερική» πεζοδρόμηση, χωρίς ωστόσο να διευκρινίζεται το περιεχόμενο της πρότασης. Κατά τα άλλα προωθούνται αναδιαμορφώσεις οδών και αναπλάσεις πλατειών και ελεύθερων χώρων. Το πρόγραμμα παρεμβάσεων για τους πεζούς εξειδικεύεται στα Ιστορικά Κέντρα Αθήνας, Πειραιά, Κηφισιάς, Λαυρίου, Μεγάρων και Ελευσίνας είναι ωστόσο αρκετά αόριστο χωρίς να καθορίζει συγκεκριμένες δράσεις.

Στο Κεφάλαιο Ζ' ορίζεται ο τρόπος οργάνωσης των συστημάτων μεταφοράς. Η πολιτική των μεταφορών της Αττικής σχεδιάζεται στη βάση τριών (3) συμπληρωματικών μεταξύ τους συστημάτων:

- α) Υπεραστικά δίκτυα μαζικών μεταφορών (αεροδρόμια, λιμάνια, τερματικοί σταθμοί επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών).
- β) Δημόσιες συγκοινωνίες μητροπολιτικής εξυπηρέτησης, με κορμό τα μέσα σταθερής τροχιάς, το βασικό δίκτυο λεωφορειακών γραμμών και τους σταθμούς μετεπιβίβασης.
- γ) Κύριο οδικό δίκτυο Αττικής και δίκτυο υποδομής στάθμευσης.

Ως ειδικότεροι στόχοι της πολιτικής μεταφορών ορίζονται:

α) Η ενίσχυση της συνεκτικής πόλης και της πολυκεντρικότητας μέσω της εφαρμογής των αρχών του ενιαίου χωροταξικού, πολεοδομικού, κυκλοφοριακού και συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

β) Ο ανασχεδιασμός και η πύκνωση του δικτύου δημόσιας συγκοινωνίας, με στόχο την αυξανόμενη συμμετοχή του στην εξυπηρέτηση των καθημερινών μετακινήσεων. Προτεραιότητα δίδεται στην εξυπηρέτηση των βασικών ροών καθημερινών μετακινήσεων από τα δίκτυα των μέσων σταθερής τροχιάς και από το βασικό δίκτυο λεωφορειακών γραμμών.

γ) Η εναρμόνιση της πολιτικής μεταφορών με την πολιτική εξοικονόμησης φυσικών και οικονομικών πόρων, στο πλαίσιο της βιωσιμότητας των δημόσιων συγκοινωνιών, της αναβάθμισης του περιβάλλοντος, της μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων σε επίπεδο εθνικής οικονομίας, της ενσωμάτωσης του εξωτερικού κόστους στη χρήση ανά μεταφορικό μέσο, της βελτίωσης της ποιότητας ζωής στα αστικά κέντρα και της ανάσχεσης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Σε αυτό το πλαίσιο εξετάζεται η περαιτέρω ανάπτυξη των μέσων σταθερής τροχιάς στην Αττική, σε συνδυασμό με ένα ιεραρχημένο και προσαρμοσμένο στους στόχους του πολεοδομικού και χωροταξικού σχεδιασμού σχέδιο συμπλήρωσης του δικτύου των αυτοκινητοδρόμων.

δ) Η οργάνωση της κυκλοφορίας σε επίπεδο δήμων και πολεοδομικών ενοτήτων, με βάση τις αρχές της βιώσιμης αστικής κινητικότητας και έμφαση στις ήπιες μορφές μετακίνησης, όπως δημόσια συγκοινωνία, ποδήλατο, περπάτημα.

ε) Η ελαχιστοποίηση των διαμπερών μετακινήσεων με μέσα ιδιωτικής χρήσης στην ευρύτερη κεντρική περιοχή του Λεκανοπεδίου και η ενθάρρυνση των ήπιων μορφών μετακίνησης.

στ) Η ανάδειξη του ρόλου της Αθήνας ως ευρωπαϊκής μητρόπολης διεθνούς εμβέλειας, μέσω της ανάδειξής της ως εθνικού και διεθνούς κόμβου μεταφορών και, ειδικότερα, κόμβου συνδυασμένων μεταφορών.

Ως μέσα για την επίτευξη των παραπάνω ειδικότερων στόχων ορίζονται:

α) Η επέκταση και η αναβάθμιση της δημόσιας συγκοινωνίας μητροπολιτικής εξυπηρέτησης, με κορμό τα δίκτυα των μέσων σταθερής τροχιάς. Η ιεράρχηση, ο καθορισμός και η χωροθέτηση των επί μέρους δικτύων και μέσων με βάση τα ειδικά χαρακτηριστικά τους και τη δυνατότητα συμβολής τους στους στόχους του χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού.

β) Η αναδιάρθρωση και η ενίσχυση των τοπικών και διαδημοτικών γραμμών λεωφορείων και τρόλεϊ σε ρόλο συμπληρωματικό ή τροφοδοτικό των μέσων σταθερής τροχιάς και η δημιουργία συγκοινωνιακών κέντρων/ σταθμών μετεπιβίβασης σε κομβικά σημεία, σε συνδυασμό με την εφαρμογή πολιτικών διαλειτουργικότητας, όπως είναι το ενιαίο κόμιστρο και ο συνδυασμός κομίστρου και τελών στάθμευσης.

δ) Η πολιτική στάθμευσης, ως συμπληρωματικό εργαλείο κυκλοφοριακής οργάνωσης, στην κατεύθυνση ενθάρρυνσης της χρήσης ήπιων μέσων μετακίνησης για προσπέλαση σε κορεσμένες κυκλοφοριακά περιοχές, σε περιοχές καλά εξυπηρετούμενες από μέσα μαζικής μεταφοράς και γενικά στις καθημερινές μετακινήσεις.

στ) Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών και ιδιαίτερα της τηλεματικής με σκοπό, μεταξύ άλλων, την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ζήτησης και των μετακινήσεων, μέσω της ενοποιημένης πληροφόρησης των μετακινουμένων, της συλλογής και του ελέγχου κομίστρου, της διαχείρισης.

Δίκτυα Δημόσιας Συγκοινωνίας & Μέσα Σταθερής Τροχιάς

Όσον αφορά τις δημόσιες συγκοινωνίες για την εξυπηρέτηση της μητροπολιτικής περιοχής, αυτές, σύμφωνα με το ΡΣΑ οργανώνονται σε δύο (2) βασικά δίκτυα, το πρωτεύον και το δευτερεύον.

α) *Το πρωτεύον δίκτυο δημόσιας συγκοινωνίας συνιστά τη σπονδυλική στήλη του ενιαίου συστήματος μεταφορών και έχει ως στόχο να διεκπεραιώνει το μεγαλύτερο όγκο συλλογικών μετακινήσεων στην Αττική.*

Αποτελείται από μέσα σταθερής τροχιάς, διαθέτει υψηλά λειτουργικά χαρακτηριστικά και έχει κυρίως ακτινικό ανάπτυγμα ως προς τα κέντρα Αθήνας και Πειραιά, υποστηρίζοντας παράλληλα τα διαδημοτικά κέντρα ευρείας ακτινοβολίας του Λεκανοπεδίου Αθήνας και της Αττικής. Το δίκτυο αυτό συγκροτείται από αστικές και προαστιακές γραμμές και λειτουργεί συμπληρωματικά, ως εργαλείο οργάνωσης του χώρου, για την υποστήριξη και τόνωση σχετικά υψηλών οικιστικών πυκνοτήτων και πόλων έλξης μαζικών μετακινήσεων, στην εμβέλεια επιλεγμένων σταθμών του συστήματος που ανταποκρίνονται στις επιλογές χωρικής ανάπτυξης του νέου ΡΣΑ.

β) *Το δευτερεύον δίκτυο δημόσιας συγκοινωνίας έχει χαρακτήρα συμπληρωματικό και τροφοδοτικό ως προς το πρωτεύον και αποτελείται από γραμμές τρόλλεϋ και λεωφορείων. Το δίκτυο αυτό αναδιαρθρώνεται σταδιακά, ανάλογα με την εξέλιξη του πρωτεύοντος δικτύου, ώστε να λειτουργεί τροφοδοτικά και συμπληρωματικά ως προς αυτό. Η συμπληρωματική λειτουργία του ως προς το πρωτεύον δίκτυο αφορά και ένα βασικό δίκτυο λεωφορειακών γραμμών που καθορίζεται και επικαιροποιείται από τον ΟΑΣΑ, εξυπηρετώντας με γραμμές κορμού διαδρόμους που δεν καλύπτονται εισέτι από μέσα σταθερής τροχιάς. Το δευτερεύον δίκτυο επεκτείνεται, επίσης, με τοπικές ή διαδημοτικές γραμμές σύνδεσης γειτονικών πολεοδομικών ενοτήτων όπως συνοικίες και δήμοι.*

γ) *Το πρωτεύον δίκτυο τροφοδοτείται από ακτινικές και εγκάρσιες γραμμές του δευτερεύοντος δικτύου σε κομβικά σημεία – σταθμούς μετεπιβίβασης. Τα κυριότερα κέντρα ανταπόκρισης, τόσο μεταξύ γραμμών του πρωτεύοντος δικτύου όσο και μεταξύ των τελευταίων με γραμμές του δευτερεύοντος δικτύου, καθώς και με τα υπεραστικά μέσα μαζικής μεταφοράς, αναπτύσσονται σε οργανωμένα συγκοινωνιακά κέντρα και σταθμούς μετεπιβίβασης.*

δ) *Για τις προαστιακές συνδέσεις της πρωτεύουσας και του λιμένα του Πειραιά με τα κυριότερα αστικά κέντρα εκτός Χωρικής Ενότητας Αθήνας–Πειραιά και το διεθνή αερολιμένα Αθηνών, βασικό μέσο είναι ο προαστιακός σιδηρόδρομος, που εκτείνεται μέχρι τα βασικά οικιστικά κέντρα των όμορων Περιφερειών εντός της εμβέλειας της Μητροπολιτικής Περιοχής Αθήνας (Θήβα – Λιβαδειά, Χαλκίδα, Κόρινθος – Λουτράκι).*

ε) *Το πρωτεύον δίκτυο μητροπολιτικής εξυπηρέτησης διακρίνεται σε τρία (3) επιμέρους δίκτυα:*

αα) Δίκτυο προαστιακού σιδηροδρόμου

ββ) Δίκτυο μετρό

γγ) Δίκτυο τραμ και ελαφρού μετρό (LRT)

στ) *Στην προοπτική επέκτασης του πρωτεύοντος δικτύου σε νέους άξονες, που παρουσιάζουν αρχικά ζήτηση χαμηλότερη των ορίων εφαρμογής μέσων σταθερής τροχιάς ή αντιμετωπίζουν προσωρινές*

δυσκολίες υλοποίησης, μπορεί εναλλακτικά να επιλεγεί η ανάπτυξή τους ως λεωφορειακών γραμμών ταχείας διέλευσης σε αποκλειστικό διάδρομο (ταχείς λεωφορειόδρομοι/BRT), με δυνατότητα μετεξέλιξής τους σε μέσα σταθερής τροχιάς.

ζ) *Η ανάπτυξη του πρωτεύοντος δικτύου είναι δυνατόν να διαφοροποιηθεί, κατόπιν συνδυασμένης πολεοδομικής και συγκοινωνιακής μελέτης μέσο–μακροπρόθεσμου ορίζοντα. Σε κάθε περίπτωση θα διασφαλίζεται η συμμόρφωση των επιλογών με τις βασικές αρχές και στόχους των μεταφορών. Οι μελλοντικές επεκτάσεις του μετρό θα αναπτύσσονται κατά προτεραιότητα προς πόλους ανάπτυξης μητροπολιτικής εμβέλειας, εντός του Λεκανοπεδίου Αθηνών.*

5.2.4. Τροχαίο Υλικό

Ο οδικός στόλος των Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών είναι σε μεγάλο βαθμό γερασμένος. Οι μεγαλύτερες προμήθειες τροχαίου υλικού είχαν ολοκληρωθεί εν αναμονή των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας (2004), μεγάλο μέρος του οποίου κυκλοφορεί έως και σήμερα. Οι τελευταίες προμήθειες τροχαίου υλικού από πλευράς της Ο.ΣΥ. έγιναν τα έτη 2009 και 2011 και τα ενεργά οχήματα των δύο αυτών παραλαβών αποτελούν ένα ποσοστό 16 % του σημερινού ενεργού στόλου (227 οχήματα).

Λόγω του δημόσιου χαρακτήρα των συγκοινωνιακών παρόχων οι διαγωνισμοί για την προμήθεια νέου τροχαίου υλικού μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρονοβόροι προκειμένου να προκύψει ο ανάδοχος. Τα οχήματα που προστέθηκαν με την μέθοδο του leasing το 2021 είναι συνολικά 293 και αποτελούν το 21 % του ενεργού στόλου. Αναλυτικότερα οι επιμέρους τύποι για τα θερμικά λεωφορεία παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.5-1**. στην συνέχεια. Το σύνολο του οδικού στόλου, εξαιρουμένων των τρόλλεϋ, χρησιμοποιεί πετρέλαιο (84 %) ή φυσικό αέριο (16 %) για την κίνηση του. Ο μέσος όρος ηλικίας των ενεργών οχημάτων είναι 16.2 έτη.

Τέλος βάσει των διαθέσιμων δεδομένων, σε αντίθεση με συγκοινωνιακούς φορείς του εξωτερικού, στην Αθήνα ένα όχημα ολοκληρώνει τον κύκλο ζωής του στην κυκλοφορία εξυπηρετώντας στον αστικό ιστό καθώς δεν υπάρχει σαφής πολιτική απόσυρσης μετά από κάποια ηλικία ή το πέρας κάποιων χιλιομέτρων. Η οριστική απόσυρση ακολουθεί τυπικά κάποια ασύμφορη προς επισκευή σοβαρή βλάβη ή γίνεται σταδιακή απόσυρση του τύπου λόγω έλευσης νέου τροχαίου υλικού (μέχρι σήμερα αφού ένα όχημα ξεπεράσει τα 20-23 έτη υπηρεσίας).

Πίνακας 5.2.4-1. Τροχαίο υλικό Ο.ΣΥ. Α.Ε. – Λεωφορεία για τα έτη 2021-2022.

Α/Α	Κατασκευαστής – Τύπος οχήματος	Πλήθος αρχικής παραλαβής	Ενεργά Οχήματα * (2021-2022)	Προδιαγραφή ρύπων κινη-τήρα (EURO)	Έτος κατασκευής	Μήκος (m)	Τύπος καυσίμου
1	Irisbus Agora CNG	121	63	III	2005	12	Φυσικό αέριο
2	Irisbus Agora S	283	205	III	2003-2004	12	Πετρέλαιο
3	Irisbus Citelis CNG	200	156	V	2011	12	Φυσικό αέριο
4	Iveco Crossway LE	66	66	IV,V	2010-2011	12	Πετρέλαιο
5	MAN Lions City A21	30	30	V	2010-2011	12	Πετρέλαιο
6	MAN Lions City A23	7	7	V	2011	18	Πετρέλαιο
7	Mercedes Benz Citaro	76	76	IV,V	2010-2011	12	Πετρέλαιο
8	Mercedes Benz Citaro G	11	11	V	2010-2011	18	Πετρέλαιο
9	Mercedes Benz O405N	300	36	I	1994	12	Πετρέλαιο
10	Mercedes Benz / ΕΛΒΟ C97.405GN	220	155	II	1998-1999	18	Πετρέλαιο
11	Mercedes Benz / ΕΛΒΟ C97.405N	190	132	II	1999	12	Πετρέλαιο

Α/Α	Κατασκευαστής – Τύπος οχήματος	Πλήθος αρχικής παραλαβής	Ενεργά Οχήματα * (2021-2022)	Προδιαγραφή ρύπων κινη-τήρα (EURO)	Έτος κατασκευής	Μήκος (m)	Τύπος καυσίμου
12	Mercedes Benz / ΕΛΒΟ C99.405N	19	18	II	1997-1999	12	Πετρέλαιο
13	Neoplan / ΕΛΒΟ C97.N4007	200	49	II	1998-1999	8	Πετρέλαιο
14	Solaris Urbino 12	12	12	IV,V	2011	12	Πετρέλαιο
15	Solaris Urbino 18	132	103	V	2009-2011	18	Πετρέλαιο
16	Solaris Urbino 8.6	220	196	IV	2009	8.6	Πετρέλαιο
17	Volvo 7700	53	53	V	2011	12	Πετρέλαιο
18	Volvo 8700	6	6	V	2011	12	Πετρέλαιο
19	Volvo Σαρακάκης "Αθηνά" B7LA	116	22	II	1999	18	Πετρέλαιο
		Σύνολο ενεργών οχημάτων	**1396**		**Μέσος όρος ηλικίας**	**16.2 έτη**	

*(*στοιχεία από καταγραφές τηλεματικής Ιαν-2021 έως Μαρ-2022, ίδια επεξεργασία)*

Στον **Πίνακα 5.2.4-2** που ακολουθεί παρουσιάζεται το σύνολο του τροχαίου υλικού των τρόλλεϋ.

Πίνακας 5.2.4-2. Τροχαίο υλικό Ο.ΣΥ. Α.Ε. – Ηλεκτροκίνητα Λεωφορεία για τα έτη 2021-2022

Α/Α	Κατασκευαστής - Τύπος οχήματος	Πλήθος αρχικής παραλαβής	Ενεργά Οχήματα*	Σειρά	Έτος κατασκευής	Μήκος (m)
1	Neoplan N6014	112	38	6000	1999	12
2	Vanhool A300T	112	74	7000	2000	12
3	Neoplan N6216 Electroliner	91	71	8000	2003-2004	12
4	Neoplan N6221 Electroliner	51	46	9000	2003-2004	18
	Σύνολο ενεργών οχημάτων		229	Ποσοστό απώλειας		37%

*(*στοιχεία από καταγραφές τηλεματικής Ιαν-2021 έως Μαρ-2022, ίδια επεξεργασία)*

Στον **Πίνακα 5.2.4-3** που ακολουθεί παρουσιάζεται το σύνολο του τροχαίου υλικού λεωφορείων και τρόλεϋ όλων των φορέων συγκοινωνίας που επιχειρούν υπό την εποπτεία του ΟΑΣΑ ως μητροπολιτικού συντονιστή.

Πίνακας 5.2.4-3. Σύνολο τροχαίου υλικού εντός περιοχής ευθύνης ΟΑΣΑ

Λεωφορεία	
Ο.ΣΥ. Α.Ε.	*1396*
ΚΤΕΛ Αττικής	*109*
ΚΤΕΛ Θήβας	*13*
ΚΤΕΛ Κορινθίας	*62*
ΚΤΕΛ Ευβοίας	*18*
Τρόλλεϋ	
Ο.ΣΥ. Α.Ε.	*229*
Σύνολο	*1827*

Η ίδια περίπου εικόνα επικρατεί και όσον αφορά το τροχαίο υλικό των μέσων σταθερής τροχιάς. Ειδοποιός διαφορά είναι πως πρόκειται στο σύνολο τους για ηλεκτροκίνητους συρμούς οι οποίοι έχουν πολύ μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής ενώ οι τυπικές φθορές ενός ΜΣΤ εξαρτώνται μόνο από την ποιότητα της υποδομής.

Στον **Πίνακα 5.2.4-4**. συνοψίζεται το τροχαίο υλικό της ΣΤΑ.ΣΥ τόσο για τις γραμμές μετρό (γραμμές 2 & 3) όσο και για την γραμμή 1 (υπέργεια σε μεγάλο μήκος της) και το τραμ.[10]

[10] Επισημαίνεται ότι σε αντίθεση με την ΟΣΥ που είναι ενταγμένη στο σύστημα τηλεματικής του ΟΑΣΑ, το δίκτυο της ΣΤΑΣΥ δεν έχει γίνει ακόμα διαθέσιμο στο κοινό, συνεπώς δεν ήταν δυνατός ο υπολογισμός του πραγματικού ενεργού στόλου από κάθε τύπο όπως έγινε παραπάνω, και παρατίθεται το πλήθος της αρχικής προμήθειας με υπολογισμένες τις ολικές απώλειες λόγω συμβάντων.

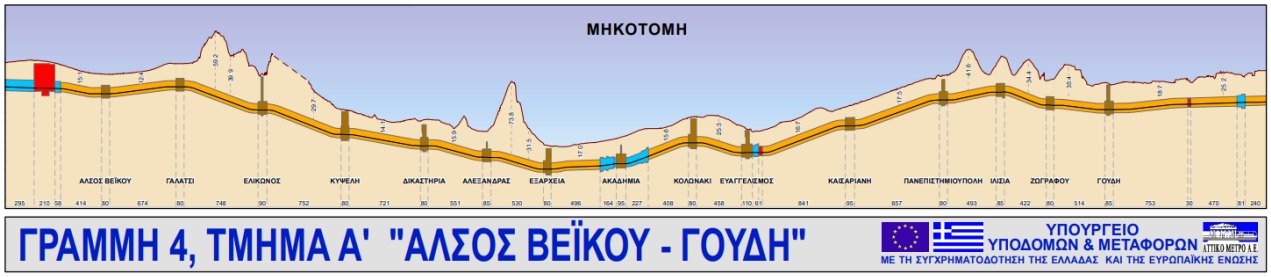
Πίνακας 5.2.4-4. Τροχαίο υλικό ΣΤΑ.ΣΥ. Α.Ε.

Α/Α	Κατασκευαστής - τύπος	Παραλαβή (σειρά)	Τροφοδοσία	Έτος Κατασκευής	Οχήματα (συρμοί)	Τάση λειτουργίας	Μήκος (m)	Max speed (km/h)	Ανακτηση ενέργειας κατά την πέδη	Χωρητικότητα επιβατών	Κινητήρες	Ισχύς (kW)
1	Man/Siemens	8ης	DC	1984-1985	15	750 V	89.12	80	-	699	12	140
2	Man-AEG/Siemens/Ελλ. Ναυπηγεία	10ης	DC	1994-1995	10	750 V	89.12	80	-	699	12	140
3	AdTranz-Siemens-Ελλ.Ναυπηγεία	11ης	DC	2000-2004	20	750 V	106.7	80	-	1002	16	140
4	Alstom/Siemens/AdTranz	1ης	DC	1999-2000	28	750 V	106.7	80	-	1030	16	153
5	Rotem/Hanwa/Mitsubishi	2ης	DC	2003/2004	14	750 V	106	80	✓	868	16	170
6	Rotem/Hanwa/Mitsubishi -2RE	2ης	AC/DC	2003/2004	7	25kV/750V	106	120	✓	868	16	170
7	Rotem/Hanwa	3ης	DC	2013/2014	17	750 V	106	80	✓	868	16	175
8	AnsaldoBreda Sirio	1ης	DC	2003/2004	35	750 V	32.3	70	-	236	4	106
9	Alstom Citadis	2ης	DC	2019/2020	25	750 V	33.4	70	✓	294	-	-

5.2.5. Μελλοντικές επεκτάσεις δικτύου

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται συνοπτικά οι προγραμματιζόμενες (είτε σε προχωρημένη φάση ανάπτυξης είτε μελέτης) επεκτάσεις του δικτύου που αφορούν κυρίως τα μέσα σταθερής τροχιάς στο Λεκανοπέδιο Αττικής.

- Ολοκλήρωση επέκτασης Γραμμής 3 (σταθμοί Μανιάτικα – Πειραιάς – Δημοτικό θέατρο): προς παράδοση αρχές του 2023.
- Γραμμή 4 Μετρό Α' φάση. Έργα για την κατασκευή του κλάδου Γαλάτσι -
- Επέκταση γραμμής 2 Μετρό στο δυτικό άκρο της από Ανθούπολη προς Ίλιον – Άγιο Νικόλαο.
- Διακλάδωση και επέκταση Γραμμής 1 από Θησείο έως το χώρο του Κέντρου Πολιτισμού - Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος (ΚΠΙΣΝ) μέσω Καλλιθέας για την συγκοινωνιακή κάλυψη τόσο του κέντρου όσο και της υπό υλοποίηση ανάπλασης του παράκτιου μετώπου του Φαλήρου από ανατολικά και της Μαρίνας Φλοίσβου .
- Επέκταση του Τραμ εντός του Μητροπολιτικού Πάρκου Ελληνικού (μετατροπή μέρους των υφιστάμενων γραμμών προς το αμαξοστάσιο σε εμπορικής λειτουργίας) και σύνδεση με τον σταθμό μετρό Ελληνικού.



Σχήμα 5.2.5-1. Μηκοτομή Α΄ τμήματος Γραμμής 4
[Πηγή: Αττικό Μετρό, Περιβαλλοντικές μελέτες, Ιούλιος 2018]

5.2.6. Αποτύπωση έργου -– λειτουργικά μεγέθη

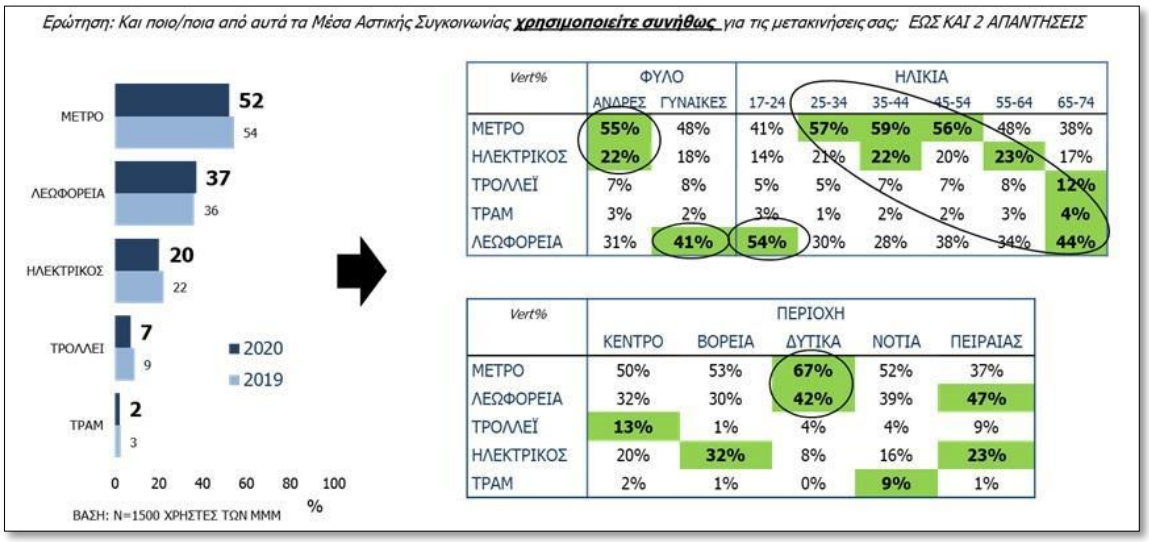
<u>Εποπτεία συγκοινωνιακού έργου</u>

Η παρακολούθηση και αξιολόγηση της εξέλιξης του συγκοινωνιακού έργου σε πραγματικό χρόνο γίνεται από τα συστήματα τηλεματικής του κάθε δικτύου αλλά και από τα δεδομένα ΑΣΣΚ, ενώ καθημερινά καταγράφονται και στατιστικά δεδομένα έργου και διαθεσιμότητας στόλου όπως:

- Προγραμματισμός /Εκτέλεση Δρομολογίων
- Προγραμματισμός /Έξοδος Οχημάτων-Συρμών
- Δύναμη/Διαθεσιμότητα Οχημάτων & Συρμών ανά γραμμή/κατεύθυνση, ανά ημέρα και ανά χρονικό διάστημα (αιχμή, σύνολο ημέρας κλπ.όπου εφαρμόζεται).

Επιπλέον λαμβάνονται τακτικά από τους συγκοινωνιακούς φορείς δεδομένα Προγραμματισμού Χρονοαπόστασης (ανά Γραμμή, Ημέρα, Χρονική Περίοδο) και Εκτέλεσης Οχηματοχιλιομέτρων τα οποία αξιοποιούνται στην παρακολούθηση και ανάλυση της ποιότητας του συγκοινωνιακού έργου

και του προσφερόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης του Φορέα ανά Μέσο και Γραμμή. Σύμφωνα με τις έρευνες που γίνονται σε δείγμα του κοινού το μικρότερο ποσοστό ενσωμάτωσης στην καθημερινότητα των χρηστών έχει το τραμ ακολουθούμενο από τα τρόλλεϋ.



Vert%	ΦΥΛΟ		ΗΛΙΚΙΑ					
	ΑΝΔΡΕΣ	ΓΥΝΑΙΚΕΣ	17-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74
ΜΕΤΡΟ	55%	48%	41%	57%	59%	56%	48%	38%
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ	22%	18%	14%	21%	22%	20%	23%	17%
ΤΡΟΛΛΕΪ	7%	8%	5%	5%	7%	7%	8%	12%
ΤΡΑΜ	3%	2%	3%	1%	2%	2%	3%	4%
ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ	31%	41%	54%	30%	28%	38%	34%	44%

Vert%	ΠΕΡΙΟΧΗ				
	ΚΕΝΤΡΟ	ΒΟΡΕΙΑ	ΔΥΤΙΚΑ	ΝΟΤΙΑ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ
ΜΕΤΡΟ	50%	53%	67%	52%	37%
ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ	32%	30%	42%	39%	47%
ΤΡΟΛΛΕΪ	13%	1%	4%	4%	9%
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ	20%	32%	8%	16%	23%
ΤΡΑΜ	2%	1%	0%	9%	1%

Σχήμα 5.2.6-1. Αποτύπωση προτίμησης των διαφόρων μέσων συγκοινωνίας ανά ηλικιακή ομάδα και ανά περιοχή μετακίνησης

Στους Πίνακες που ακολουθούν στην συνέχεια αποτυπώνονται τα λειτουργικά μεγέθη του Αθηναϊκού συγκοινωνιακού δικτύου ανά μέσο και ανά τύπο για το διάστημα 2017-2020 σχετικά με :

- Οχηματοχιλιόμετρα
- Εκτελούμενα δρομολόγια

Πίνακας 5.2.6-1.Παραγόμενο συγκοινωνιακό έργο (χιλ. (10^3) οχηματοχιλιόμετρα)

Μέσο	2017	2018	2019	2020	ΜΟ
Λεωφορεία	74.972	74.290	73.925	71.929	64.350
Τρόλλεϋ	8.142	7.763	5.568	5.292	7.435
Μετρό Γραμμή 1 (ΗΣΑΠ)	15.794	16.067	15.618	13.981	15.596
Μετρό Γραμμές 2&3	33.090	33.443	33.233	33.404	28.264
Τραμ	2.260	2.188	2.051	1.658	1.768

Σύνολο	102.443	66.890	130.395	126.264	117.413

Πίνακας 5.2.6-2. Συγκοινωνιακό έργο Ο.ΣΥ. 2017-2020 – Θερμικά λεωφορεία (Καθημερινή ημέρα)

	Προγραμματισμένα Δρομολόγια ΟΑΣΑ	Εκτελούμενα δρομο-λόγια	Ποσοστό εκτέλεσης	Μέγιστος Αριθμός Προγραμματισμένων οχημάτων (αιχμή)
2017	10.917	9.423	86.3%	1.134
2018	10.728	9.599	89.5%	1.063
2019	10.772	9.576	88.9%	1.050
2020	10.651	9.714	91.2%	1.012

Πίνακας 5.2.6-3. Συγκοινωνιακό έργο Ο.ΣΥ. 2015-2020 – Ηλεκτροκίνητα λεωφορεία (τρόλλεϋ)

	Προγραμματισμένα Δρομολόγια ΟΑΣΑ	Εκτελούμενα δρομο-λόγια	Ποσοστό εκτέλεσης	Μέγιστος Αριθμός Προγραμματισμένων οχημάτων (αιχμή)
2017	1.456	1.375	94.4%	167
2018	1.454	1.254	86.2%	167
2019	1.433	1.170	81.6%	166
2020	1.099	881	80.2%	131

Η Ο.ΣΥ. Α.Ε. διαθέτει έξι (6) αμαξοστάσια συνολικού εμβαδού 262.000 m^2, για την εξυπηρέτηση των λεωφορείων και τρία (3) αμαξοστάσια συνολικού εμβαδού 52.645 m^2 για την εξυπηρέτηση των τρόλλεϋ.

Πίνακας 5.2.6-4. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 - Γραμμής 1 (ΗΣΑΠ)

	Προγραμματισμένα Δρομολόγια ΟΑΣΑ	Εκτελούμενα δρομο-λόγια	Ποσοστό εκτέλεσης	Μέγιστος Αριθμός Προγραμματισμένων συρμών (αιχμή)
2017	175	174	99.4%	19
2018	175	174	99.4%	19

2019	175	172	98.3%	19
2020	154	151	98.1%	18

Πίνακας 5.2.6-5. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 - Γραμμών 2&3 (Μετρό)

	Προγραμματισμένα Δρομολόγια ΟΑΣΑ	Εκτελούμενα δρομολόγια	Ποσοστό εκτέλεσης	Μέγιστος Αριθμός Προγραμματισμένων συρμών (αιχμή)
2017	463	462	99.8%	34
2018	463	462	99.8%	34
2019	441	432	98.0%	32
2020	436	432	99.1%	32

Πίνακας 5.2.6-6. Συγκοινωνιακό έργο ΣΤΑ.ΣΥ. 2015-2020 Γραμμών ΤΡΑΜ

	Προγραμματισμένα Δρομολόγια ΟΑΣΑ	Εκτελούμενα δρομολόγια	Ποσοστό εκτέλεσης	Μέγιστος Αριθμός Προγραμματισμένων συρμών (αιχμή)
2017	206	206	100.0%	24
2018	206	203	98.5%	22
2019	206	201	97.6%	22
2020	134	132	98.5%	18

Στοιχεία χρήσης

Το έτος 2020 σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιοποιεί ο ΟΑΣΑ διατέθηκαν άνω των **208 χιλ.** νέων «προσωποποιημένων» καρτών εκ των οποίων 172 χιλ., αφορούσαν κανονικό προφίλ και 24 χιλ. αφορούσαν φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, όπως αποτυπώνεται στα στοιχεία του Πίνακα που ακολουθεί. Ο συνολικός αριθμός των προσωποποιήσεων είναι σημαντικός καθώς ένα μεγάλο ποσοστό των τακτικών χρηστών των ΜΜΜ χρησιμοποιεί τέτοιου τύπου κάρτα προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιεί μηνιαία προϊόντα ή μεγαλύτερης διάρκειας προϊόντα που εξασφαλίζουν σημαντική έκπτωση ενώ δεν είναι διαθέσιμα στην ανώνυμη μορφή σαν πολιτική του φορέα (σε περίπτωση απώλειας εκδίδεται νέα κάρτα και μεταφέρεται το υπόλοιπο).

Συνολικά από την εφαρμογή του συστήματος ηλεκτρονικού εισιτηρίου έως σήμερα ο αριθμός των προσωποποιημένων καρτών εκτιμάται στις 600.000 που αντιπροσωπεύει το 16% των κατοίκων της Αθήνας και λόγω της χρήσης αυτών των προϊόντων θεωρούνται οι «τακτικοί» χρήστες των δημόσιων συγκοινωνιών.

Πίνακας 5.2.6-7. Στοιχεία έκδοσης προσωποποιημένων καρτών 2020

Προφίλ Έκπτωσης	**Αριθμός Προσωποποιήσεων**
Κανονικό	172.441
Άνω των 65	177
Φοιτητές ΑΕΙ/ΤΕΙ	24.031
Οπλίτες	3.840
Πολύτεκνοι	3.049
Φοιτητές αλλοδαπής	1.141
Λοιπές κατηγορίες	3.701
Σύνολο	**208.380**

Ανθρώπινο δυναμικό

Όσον αφορά το ανθρώπινο δυναμικό με βάση τα στοιχεία που αντλήθηκαν από τις εκθέσεις πεπραγμένων των συγκοινωνιακών φορέων και του ΟΑΣΑ αλλά και στοιχεία που συγκεντρώθηκαν για την εκτέλεση συγκοινωνιακού έργου από ιδιώτες, οι δημόσιες συγκοινωνίες της Αθήνας απασχολούν συνολικά περίπου 7.400 εργαζόμενους εκ των οποίων οι 4.500 στην Ο.ΣΥ., 2.300 στην ΣΤΑ.ΣΥ. , ~100 στον ΟΑΣΑ και ~500 στα 4 ΚΤΕΛ.

5.3. Σύγκριση με Ευρωπαϊκές πρακτικές (Benchmarking) σχετικά με την ενσωμάτωση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες πόλεις στον Ευρωπαϊκό χώρο καθώς και μια ολόκληρη χώρα όπου υιοθετούν είτε με μεγάλο βαθμό ενσωμάτωσης τις διαθέσιμες τεχνολογίες είτε με μεγάλης κλίμακας πιλοτικές δοκιμές προκειμένου να μειώσουν ριζικά το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα χρησιμοποιώντας «πράσινη» ενέργεια.

Αμιένη, Γαλλία

Η πόλη της Αμιάν (Αμιένη) στην Βόρεια Γαλλία είναι οικονομικό και εμπορικό κέντρο και έχει ανεπτυγμένη βιομηχανία ιδίως στο στον τομέα της αυτοκίνησης. Αριθμεί 134.706 κατοίκους (2017). Το 2019 με πρωτοβουλία του μητροπολιτικού αυτοδιοικητικού φορέα ιδρύθηκαν τέσσερις νέες γραμμές BRT, με την ονομασία της υπηρεσίας «Nemo» προς τιμήν του Ιουλίου Βερν. Οι γραμμές αυτές λειτουργούν με μέριμνα της εταιρείας Keolis που είναι ο συγκοινωνιακός πάροχος της πόλης. Για την λειτουργία τους έγινε προμήθεια ενός στόλου 43 νέων πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων (τύπου Irizar ie-Tram) 18 μέτρων και χωρητικότητας 151 επιβατών με δυνατότητα φόρτισης τόσο στο αμαξοστάσιο όσο και στις αφετηρίες με την χρήση παντογράφου (γρήγορη φόρτιση).

Σχήμα 5.3-1. Ηλεκτρικό όχημα (ie-tram) σε μια από τις γραμμές της υπηρεσίας Nemo
[Πηγή : amiens.fr]

Το συγκεκριμένο σύστημα BRT είναι το πρώτο στην Ευρώπη τέτοιου μεγέθους και η επιτυχία του αποτελεί στοίχημα για την πόλη αλλά και για τον συγκοινωνιακό πάροχο για την πιθανή επέκταση σε άλλες πόλεις που εξυπηρετεί. Οι γραμμές είναι διακεντρικές και συνδέουν σημεία κλειδιά όπως το κέντρο της πόλης με εκθεσιακούς χώρους, χώρους άθλησης, τον σιδ. Σταθμό, τα πανεπιστημιακά ιδρύματα και τις γειτονιές κατοικίας. Για την υποστήριξη του στόλου δημιουργήθηκε νέο αμαξοστάσιο με σύγχρονες υποδομές φόρτισης και συντήρησης ενώ για την γνωριμία των πολιτών και επισκεπτών με την νέα υπηρεσία θέσπισαν ημέρες δωρεάν μεταφοράς τα Σαββατοκύριακα καθώς και ειδική εκπτωτική πολιτική για χρήση των χώρων στάθμευσης για μετεπιβίβαση. (SmartCitiesWorld, 2019) (Interreg Europe, 2021)

Κολωνία, Γερμανία

Η Κολωνία είναι η τέταρτη μεγαλύτερη σε πληθυσμό πόλη της Γερμανίας και η μεγαλύτερη πόλη του κρατιδίου της Βόρειας Ρηνανίας-Βεστφαλίας (*Nordrhein-Westfalen*). Ο πληθυσμός της αστικής ζώνης είναι περίπου ένα εκατομμύριο κάτοικοι αλλά σε μικρή ακτίνα είναι αρκετές μικρότερες κατοικημένες περιοχές και κωμοπόλεις με τον πληθυσμό αθροιστικά να φτάνει τα 3 εκατομμύρια κατοίκους.

Ο συγκοινωνιακός φορέας της, RVK (Regionalverkehr Köln GmbH) ο οποίος έχει απορροφήσει και μέρος της συγκοινωνίας σε γειτονικές πόλεις (Βόννη, Μπρυλ, Χερθ κ.α.) είναι αυτή την στιγμή ο μεγαλύτερος χρήστης λεωφορείων κυψέλης υδρογόνου με τα οχήματα αυτά να είναι το 15% του ιδιόκτητου στόλου. Το εξυπηρετούμενο δίκτυο αποτελείται από 130 γραμμές που καλύπτουν στην ευρύτερη περιοχή, συνολικής έκτασης 2800 km^2, αστικές και προαστιακές διαδρομές. Η διοίκηση του φορέα ήταν ανοιχτή εξ' αρχής στην νέα αυτή τεχνολογία δοκιμάζοντας στην περιοχή αρμοδιότητάς της δύο πρωτότυπα οχήματα το 2011 τα οποία ακολούθησαν δύο (2) οχήματα προπαραγωγής το 2014 και μια κανονική προμήθεια τριάντα πέντε (35) οχημάτων Vanhool A330 fuel cell το 2020 που συμπληρώθηκε από ακόμα δεκαπέντε (15) οχήματα Urbino 12 Hydrogen από την πολωνική Solaris μέσα στο 2021.

Οι προμήθειες αυτές έχουν εξασφαλιστεί εν μέρει με χρηματοδότηση από κοινοτικούς πόρους (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe - JIVE2 , Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking - FCH JU). Σε δεύτερη φάση από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο έχουν μοιραστεί μεγάλες επιχορηγήσεις σε 8 συγκοινωνιακούς παρόχους στα πλαίσια συμμόρφωσης με την οδηγία προώθησης εναλλακτικών συστημάτων στις μεταφορές με λεωφορείο, από τις οποίες η RVK θα προμηθευτεί 79 ακόμα λεωφορεία υδρογόνου στην πρώτη φάση και 29 αρθρωτά της ίδιας τεχνολογίας στην δεύτερη φάση έως το 2025, φτάνοντας σε ποσοστό σχεδόν 45% του σημερινού της στόλου.

Έτσι η Κολωνία, που έχει ήδη τον μεγαλύτερο στόλο υδρογονοκίνητων οχημάτων στην Ευρώπη (52 οχήματα) να φτάσει τα 160 οχήματα. Οι λόγοι που επιλέχθηκε κατευθείαν αυτή η στροφή στην τεχνολογία του υδρογόνου (FCEB) είναι αφενός η μεγάλη διαθεσιμότητα υδρογόνου στην ευρύτερη περιοχή ως υποπροϊόν βιομηχανικών δραστηριοτήτων και αφετέρου ότι οι δυνατότητες των ηλεκτρικών λεωφορείων με μπαταρίες σε αυτονομία την εποχή που ξεκίνησε να σχεδιάζεται η μετάβαση σε λύσεις μηδενικών εκπομπών ήταν ακόμα ανεπαρκείς (κριτήριο αυτονομίας τουλάχιστον 300 km/ημέρα πριν το όχημα επιστρέψει στο αμαξοστάσιο) ενώ ένα υβριδικό όχημα επίσης δεν κάλυπτε τα κριτήρια μηδενικών εκπομπών.

Σχήμα 5.3-2. Λεωφορείο κυψέλης υδρογόνου στον σταθμό ανεφοδιασμού στο Χερθ (Hürth)
[Πηγή: © RVK]

Μέχρι σήμερα όσον αφορά τις σχετικές υποδομές ανεφοδιασμού (αποθήκευση υδρογόνου) η RVK έχει δυο ιδιόκτητες εγκαταστάσεις που καλύπτουν τις καθημερινές ανάγκες 20 οχημάτων η κάθε μία, και έχει πρόσβαση σε άλλες τρεις σταθμούς ανεφοδιασμού ιδιωτών ενώ με την επέκταση του στόλου θα δημιουργηθούν και νέοι σταθμοί εντός της περιοχής ευθύνης. (Fuel Cell Electric Buses EU, 2022)

https://www.fuelcellbuses.eu/public-transport-hydrogen/rvk-receives-grant-108-hydrogen-powered-fuel-cell-hybrid-buses

Μιλάνο, Ιταλία

Το Μιλάνο (Milano) είναι πόλη της βόρειας Ιταλίας. Αποτελεί τη πρωτεύουσα της Λομβαρδίας και είναι η μεγαλύτερη μητροπολιτική περιοχή και η δεύτερη πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της χώρας. Η πόλη του Μιλάνο έχει 1.368.590 κατοίκους (2016) ενώ η ευρύτερη περιοχή (La Grande Milano) περίπου 7.400.000 κατοίκους (δεύτερη σε πληθυσμό πόλη της Ιταλίας μετά τη Ρώμη). Εντός των ορίων της αστικής περιοχής (περίπου 2.100 m^2 με μέση πληθυσμιακή πυκνότητα 2.500 κάτοικους ανά m^2) εκτιμάται ότι διαμένουν 5.000.000 κάτοικοι. Είναι δημοφιλής τουριστικός προορισμός ενώ αποτελεί και ευρύτερο συγκοινωνιακό κόμβο λόγω της θέσης του.

Συγκοινωνιακά το Μιλάνο εξυπηρετείται από τον Μητροπολιτικό συγκοινωνιακό φορέα ATM (Azienda Trasporti Milanesi) ο οποίος διαχειρίζεται το δίκτυο Μετρό 4 γραμμών (μήκος 101 km), δίκτυο Τραμ 18 γραμμών, 131 γραμμές λεωφορείων και 4 γραμμές τρόλλεϋ. Ακόμα ο φορέας διαχειρίζεται χώρους στάθμευσης και υπηρεσίες δανεισμού ποδηλάτων. Στόχος του φορέα όσον

αφορά την περιβαλλοντική σκοπιά και τον εκσυγχρονισμό του είναι η σταδιακή απόσυρση όλων των ντιζελοκίνητων οχημάτων από την περιοχή ευθύνης του έως το 2030.

Το 2018, η ATM παραγγέλνει μια σειρά 30 αρθρωτών τρόλλεϋ Solaris Trollino με την τεχνολογία IMC (In Motion Charging) που χάρη στην μπαταρία που εγκαθίσταται το όχημα μπορεί να καλύψει απόσταση της τάξης των 14 km χωρίς σύνδεση στο εναέριο δίκτυο και χωρίς καμία εκπομπή. Το όχημα εξοπλίζεται με δύο ηλεκτροκινητήρες απόδοσης 160 kW ο καθένας και η μπαταρία του έχει χωρητικότητα 45 kWh. Μπορεί να μεταφέρει 136 επιβάτες εκ των οποίων οι 30 καθήμενοι. (Sustainable-Bus.com, 2019)

Η ενσωμάτωσή τους επέτρεψε στον φορέα να αποσύρει αρκετά οχήματα που αποκτήθηκαν μεταξύ τέλη δεκαετίας '80 και δεκαετίας του '90 που λειτουργούσε τα οποία μάλιστα ήταν και υψηλού δαπέδου (πρόσβαση με σκαλιά). Στα τέλη του 2021, ενεργοποιήθηκε δεύτερο συμβόλαιο για την παράδοση 50 ακόμα τρόλλεϋ ίδιου τύπου εντός του 2022.

Ακόμα το 2019 η ATM υπέγραψε σύμφωνο προμήθειας με την Πολωνική Solaris, για μια συνολική αγορά 250 πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία παραλαμβάνει σε φάσεις, μια από τις μεγαλύτερες παραγγελίες του τύπου για τον κατασκευαστή. Η πιο πρόσφατη παραγγελία είναι για 75 οχήματα τα οποία θα προστεθούν στα τέλη του 2022 στα 140 οχήματα που ήδη έχουν παραδοθεί. (Sustainable-Bus.com, 2022) Τα οχήματα εξοπλίζονται με μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας της Solaris, συνολικής χωρητικότητας 400 kWh, με δυνατότητα φόρτισης με σύστημα παντογράφου. Το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από δυο κινητήρες έλξης σε κοινό άξονα. Τα οχήματα αυτά είναι τυπικού μήκους (12 m) με χωρητικότητα περίπου 85 επιβατών, και πρόβλεψη για μεταφορά αμαξιδίων ΑΜΕΑ.

Σχήμα 5.3-3. Ηλεκτρικό όχημα Solaris Urbino 12 electric της ATM
[Πηγή: © ATM]

Παρίσι, Γαλλία

Το Παρίσι είναι η πρωτεύουσα της Γαλλίας, και μια από τις σημαντικότερες και μεγαλύτερες μητροπόλεις της Ευρώπης, με βαθιά ιστορία αλλά και ένα σύγχρονο οικονομικό, εμπορικό και πολιτιστικό κέντρο. Ο πληθυσμός της πόλης του Παρισιού ανέρχεται σε 2.187.526 (2017) κατοίκους και ο συνολικός πληθυσμός της μητροπολιτικής περιοχής (περιφέρεια) του Île-de-France σε 12.628.266 κατοίκους.

Πολεοδομικά η πόλη είναι γνωστό παράδειγμα για τα μεγάλα της βουλερβάτα (Boulevards), τις μεγάλες λεωφόρους που διασχίζουν την πόλη ακτινικά, και το πλήθος δημόσιων χώρων όπως πλατείες και πάρκα που δημιουργήθηκαν κατά την Δεύτερη Γαλλική Αυτοκρατορία με ένα μεγάλο πρόγραμμα εκσυγχρονισμού και ανοικοδόμησης που πραγματοποιήθηκε από τον τότε αυτοκράτορα Ναπολέοντα Γ΄ και τον βαρόνο Οσμάν, το οποίο δημιούργησε σε μεγάλο βαθμό την σημερινή ρυμοτομία ωστόσο δέχτηκε σκληρές αντιδράσεις.

Η σύγχρονη περιφέρεια του Ιλ-ντε-Φρανς ως ενιαίο οικιστικό κέντρο σύστημα, έχει θέσει ένα φιλόδοξο πρόγραμμα δράσεων για την μετάβαση σε ένα καθεστώς βιώσιμης κινητικότητας. Συγκοινωνιακά το Παρίσι μαζί με τα προάστιά του, έχει ιδιαίτερη θέση στην παγκόσμια κλίμακα αφού έχει ένα από τα πιο πυκνά δίκτυα μέσων σταθερής τροχιάς τόσο στο κεντρικό αστικό τμήμα της όσο και περιφερειακά, με 16 γραμμές μετρό που καλύπτουν δίκτυο 227 km με 308 σταθμούς (μέση απόσταση μεταξύ σταθμών στο αστικό κομμάτι 400-500m), 10 γραμμές τραμ, 8 προαστιακές γραμμές που συνδέονται με κύριους σιδηροδρομικούς σταθμούς της πόλης χωρίς να την διασχίζουν ωστόσο, τα οποία συμπληρώνονται και αλληλεπιδρούν με ένα λεωφορειακό δίκτυο 300 γραμμών που καλύπτεται από ένα στόλο πάνω από 4000 οχημάτων. Είναι επίσης ένα από τα πιο πυκνά σιδηροδρομικά δίκτυα στην Ευρώπη, και καθημερινά διακινούνται 3.5 εκατομμύρια επιβάτες από 5600 δρομολόγια τρένων ημερησίως.

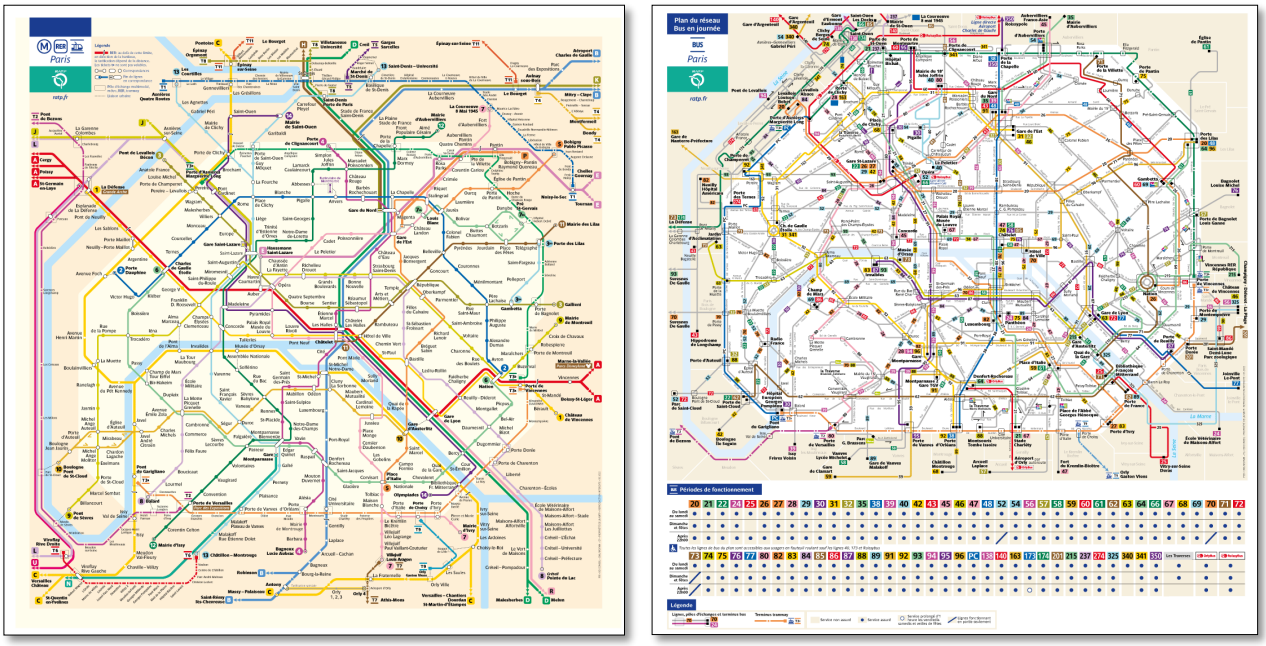
Είναι κατανοητό ότι εντός όλου αυτού του δικτύου και των πολλών ιδιαίτερων χαρακτηριστικών υπάρχει αρκετός χώρος για πειραματισμό σε νέες υπηρεσίες και πιλοτικές δοκιμές νέων συστημάτων και τεχνολογιών.

Στο πλαίσιο εξετάζονται δυο από τις πολλές δράσεις που γίνονται παράλληλα με στόχο την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την αποδέσμευση από τα ορυκτά καύσιμα σε συνδυασμό με την βελτίωση της εικόνας των συγκοινωνιών και την καλύτερη εξυπηρέτηση των πολιτών.

- Τραμ Τ9: Πρόκειται για μια νέα γραμμή τραμ που σχεδιάστηκε για να συνδέσει σημεία μεγάλης επιβατικής κίνησης διαφορετικών μέσων μεταφοράς εντός του μητροπολιτικού δικτύου προσφέροντας συνδέσεις με τις υφιστάμενες γραμμές C και D του προαστιακού τρένου RER, τη γραμμή 7 του μετρό Porte de Choisy και τη διαδρομή του λεωφορείου Trans-Val-de-Marne, καθώς και επερχόμενα δίκτυα όπως όπως το Grand Paris Express (περιφερειακή σύνδεση των προαστίων με γραμμές μήκους 205 km) και η λεωφορειακή γραμμή T-Zen 5.
  Η χάραξη της γραμμής 9 ακολουθεί την διαδρομή της γραμμής 183, που αποτελούσε μια από τις πιο πολυσύχναστες λεωφορειακές γραμμές στο Νότιο Παρίσι, ενώ η κατασκευή του διαδρόμου ακολουθεί σύγχρονες τεχνικές τοποθέτησης για την επίτευξη αποτελεσματικής διαχείρισης του νερού και μειωμένου κόστους συντήρησης.

Στόχος της δημιουργίας της γραμμής T9 είναι να μειώσει τον χρόνο ταξιδιού μεταξύ του σταθμού του μετρό Porte de Choisy στο Παρίσι και του κέντρου του Orly από 60 λεπτά σε 30 λεπτά. Προσφέρει συνδέσεις με το μετρό, τα δρομολόγια λεωφορείων Val-de-Marne, το RER και το τραμ. Η γραμμή καλύπτει απόσταση 10 χιλιομέτρων, με 19 σταθμούς σε αποστάσεις της τάξης των 550 μέτρων, εξυπηρετώντας τις περιοχές Ivry-sur-Seine, Vitry-Sur-Seine, Thiais, Choisy-le-Roi, Orly-Ville και το 13ο διαμέρισμα του Παρισιού.

Η νέα γραμμή του τραμ ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2021 και προβλέπεται στην αιχμή της να μεταφέρει έως και 80.000 επιβάτες την ημέρα, ενώ εξοπλίζεται με οχήματα Citadis X05 της Alstom, χωρητικότητας 314 επιβατών. Η χρονοαπόσταση των συρμών στις ώρες αιχμής έχει οριστεί στα 5 λεπτά.



Σχήμα 5.3-5. (Α) Χάρτης γραμμών μετρό, τραμ και RER (ταχύ μετρό), (Β) Χάρτης γραμμών λεωφορείων στο Παρίσι
[Πηγή: RATP, 2022]

- Δημιουργία δύο νέων εξπρές γραμμών e-BRT σε αποκλειστικής κυκλοφορίας λωρίδες στο νότιο Παρίσι:

-Η γραμμή BRT T-Zen 4 θα καλύπτει την απόσταση 14.8 km μεταξύ Viry-Chatillon και Corbeil-Essonnes αντικαθιστώντας υπάρχουσα διαδρομή λεωφορείου (γραμμή 402), η οποία είναι από τις πιο πολυσύχναστες γραμμές στη μητροπολιτική περιοχή του Παρισιού, μεταφέροντας σχεδόν 26.000 επιβάτες κάθε μέρα.

-Η γραμμή BRT T-Zen 5 είναι μια νέα διαδρομή λεωφορείου μήκους 9.5 χιλιομέτρων που συνδέει το 13ο διαμέρισμα του Παρισιού με το Choisy-le-Roi μέσω Ivry-sur-Seine και Vitry-sur-Seine.

Σχήμα 5.3-6 Επάνω: Τα οχήματα ExquiCity 24 που θα εξυπηρετήσουν τις γραμμές T-Zen 4 & T-Zen 5, Κάτω: Τραμ Alstom Citadis X05 εξυπηρετώντας την γραμμή T9

[Πηγή: (α) Île-de-France Mobilités, (β) Eric TSCHAEN/REA, 2021]

Τα μήκους 24 μέτρων, διπλής άρθρωσης 100% ηλεκτρικά οχήματα ExquiCity 24 που κατασκευάζονται από τη Van Hool ανταποκρίνονται στις υψηλές προσδοκίες όσον αφορά την άνεση των επιβατών και την ευκολία χειρισμού. Τα λεωφορεία θα μπορούν να μεταφέρουν περίπου 140 επιβάτες το καθένα σε βέλτιστες συνθήκες άνεσης και με σύγχρονα συστήματα πληροφόρησης και άνεσης ενώ εξοπλίζονται με μπαταρίες που προσφέρουν δυνατότητα φόρτισης υψηλής ισχύος σε μικρό χρόνο (Alstom, 2022). Για τις δύο παραπάνω γραμμές καθώς και μια τρίτη η οποία δεν έχει ακόμα επιλεγεί το μνημόνιο συνεργασίας της IdFM με την κοινοπραξία VanHool - Kiepe Electric – Alstom προβλέπει την προμήθεια τουλάχιστον 56 οχημάτων.

Η Alstom θα παρέχει το επίγειο στατικό σύστημα επαγωγικής φόρτισης (SRS), το οποίο αποτελεί διαλειτουργική τεχνολογία για ηλεκτρικές μεταφορές, λεωφορεία και τραμ, όλων των τύπων και μεγεθών. Το σύστημα SRS διασφαλίζει ασφαλή, αυτοματοποιημένη και γρήγορη φόρτιση υψηλής ισχύος σε στάσεις και τερματικούς σταθμούς της γραμμής ενώ ήδη έχει τοποθετηθεί σε γραμμές 15 χιλιομέτρων στη Νίκαια. Για την λειτουργία των γραμμών T-Zen 4 και T-Zen 5, η Alstom έχει αναλάβει την κατασκευή, προμήθεια, εγκατάσταση και υποστήριξη της υποδομής φόρτισης καθώς και θα παρακολουθεί το σύστημα για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του. (Alstom, 2022)

Ολλανδία (Κάτω χώρες)

Η Ολλανδία έχει έκταση 41.543 km^2. Είναι μετά την Μάλτα η 2η πιο πυκνοκατοικημένη Ευρωπαϊκή χώρα με 17.507.126 κατοίκους (2021) και πυκνότητα 426 κατ./km^2. Παρόλα αυτά συγκοινωνιακά είναι ιδιαίτερα οργανωμένη χώρα αφού το 15% όλων των μετακινήσεων σε αυτή γίνεται με δημόσιες συγκοινωνίες και κυρίως μέσω τρένων (σιδ. δίκτυο 3,013 km) όπου ενώνουν τόσο τις μεγάλες πόλεις όσο και τις μικρότερες αλλά καλύπτουν και τις μετακινήσεις εντός των πόλεων με τραμ και μετρό.

Όσον αφορά τις οδικές μεταφορές, το 2015 οι υπεύθυνοι των Φορέων Δημόσιων Συγκοινωνιών της χώρας συμφώνησαν σε εφαρμογή πολιτικής μηδενικών ρύπων από το τροχαίο υλικό που εκτελεί συγκοινωνία για προμήθειες από το 2025 κι έπειτα με απώτερο στόχο την πλήρη εξυγίανση έως το 2030 (περίπου 5000 οχήματα).

Ήδη η εφαρμογή της πολιτικής αυτής έχει ξεκινήσει και στους δρόμους μέσα στην πρώτη πενταετία κυκλοφορούν 1000 πλήρως ηλεκτρικά οχήματα (20%) από διάφορους παρόχους βελτιώνοντας την περιβαλλοντική επίδοση σε συνολικό επίπεδο ενώ είναι σημαντικό ότι ήδη έχει κατασκευαστεί μεγάλο μέρος των απαραίτητων υποδομών στις περιοχές που εξυπηρετούνται. (Sustainable-Bus.com, 2020)

Σχήμα 5.3-7. Ηλεκτρικό λεωφορείο της εταιρείας Qbuzz στις Κάτω Χώρες
[Πηγή: Sustainable-Bus.com, 2020]

Σύμφωνα με την πρόβλεψη, περίπου 500 ακόμα οχήματα μηδενικών ρύπων θα δρομολογούνταν εντός του 2021, καθώς παρά την σχετική μείωση του έργου λόγω της πανδημίας, οι φορείς δηλώνουν πως ο στόχος παραμένει. (SmartCitiesWorld, 2019)

5.4. Ενσωμάτωση των διαθέσιμων εναλλακτικών πηγών ενέργειας στα οχήματα

Η περίπτωση της Αθήνας, συγκρίνοντας με τις υπόλοιπες χώρες όπου ο μέσος όρος ηλικίας των οχημάτων είναι σταθερά της τάξης των 10 ετών και προς τα κάτω, σίγουρα έχει ανάγκη εκσυγχρονισμού του στόλου των δημόσιων συγκοινωνιών. Μεγάλο μέρος του στόλου είναι αρκετά παλαιότερης τεχνολογίας και έχει περάσει το σημείο όπου το κόστος συντήρησης είναι φυσιολογικό, και καθημερινά καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια προκειμένου κάποια οχήματα να παραμένουν «αξιόμαχα».

Ήδη από το 2021 έχει προκηρυχτεί από το Υπουργείο Μεταφορών διαγωνισμός για την προμήθεια 770 νέων οχημάτων για τις συγκοινωνίες της Αθήνας της Θεσσαλονίκης με την μερίδα του λέοντος να πηγαίνει στην πρώτη. Η διαδικασία είναι αυτή που προβλέπεται για τις προμήθειες του δημοσίου τομέα, δηλαδή σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που συνοδεύουν τον διαγωνισμό υποβάλλονται προσφορές από τους ενδιαφερόμενους κατασκευαστές και εφόσον αυτές είναι συμβατές με τις προδιαγραφές και πληρείται ένα σύνολο κριτηρίων επιλέγεται ο μειοδότης. Ο παραπάνω διαγωνισμός λόγω του μεγάλου όγκου οχημάτων επιμερίστηκε σε πέντε τμήματα στα οποία μπορούσαν να κατατεθούν προσφορές αυτοτελώς και συγκεκριμένα:

- Τμήμα Α΄ - προμήθεια 100 απλών αστικών λεωφορείων 12 μέτρων υβριδικής τεχνολογίας EURO VI, με δικαίωμα προαίρεσης για αύξηση κατά 20 οχήματα κατά το στάδιο της κατακύρωσης των αποτελεσμάτων του διαγωνισμού (προϋπολογισμός 38,4 εκατ. ευρώ).
- Τμήμα Β΄ - προμήθεια 200 απλών αστικών λεωφορείων 12 μέτρων συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) EURO VI (προϋπολογισμός 73,1 εκατ. ευρώ).
- Τμήμα Γ΄ - προμήθεια 100 αρθρωτών αστικών λεωφορείων 18 μέτρων συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) EURO VI (προϋπολογισμός 53,3 εκατ. Ευρώ).
- Τμήμα Δ΄ - προμήθεια 100 ηλεκτρικών λεωφορείων 12 μέτρων ελάχιστης αυτονομίας 135 χλμ. (προϋπολογισμός 56,26 εκατ. ευρώ)
- Τμήμα Ε΄ - προμήθεια 250 ηλεκτρικών λεωφορείων 12 μέτρων ελάχιστης αυτονομίας 180 χλμ. (προϋπολογισμός 154,6 εκατ. Ευρώ).

Η ανάδειξη των αναδόχων ανά τμήμα δεν έχει ολοκληρωθεί ωστόσο ήδη τα στατιστικά δεν είναι υπερ των φορέων που είναι οι τελικοί αποδέκτες καθώς το τμήμα Α΄ κρίθηκε άγονο τυπικά λόγω μη υποβολής προσφορών αλλά και ουσιαστικότερα λόγω της κατάθεσης προσφυγής εκ μέρους της Daimler Bus - Mercedes Benz Hellas στο Συμβούλιο της Επικρατείας (ΣτΕ) σχετικά με τις τεχνικές περιγραφές των υβριδικών οχημάτων. Αυτό μειώνει την προμήθεια σε 650 οχήματα συνολικά. Στα τμήματα Β' και Γ΄ υπήρξε μια μοναδική προσφορά για το καθένα. Στα τμήμα Δ΄ έχουν κατατεθεί τέσσερις προσφορές από τους κατασκευαστές Iveco, BYD, VanHool & Irizar ενώ στο τμήμα Ε΄ που είναι και το μεγαλύτερο σε όγκο και προϋπολογισμό υπάρχουν τρείς προσφορές από τις εταιρείες BYD, Irizar & Yutong. Εντύπωση έχει προκαλέσει η τελική απουσία των μεγάλων Ευρωπαϊκών κατασκευαστών (Mercedes-Benz, MAN, Solaris) είτε άμεσα είτε μέσω των αντιπροσώπων τους.

Θετικό στοιχείο εν προκειμένω, αποτελεί πως οχήματα των εταιρειών BYD, Irizar & Yutong που εν τέλει κατέθεσαν προσφορά (καθώς και όχημα της Πολωνικής Solaris) είχαν παραχωρηθεί στην ΟΣΥ για δοκιμαστική χρήση (demo) για διάστημα 20-40 ημερών. Η δρομολόγηση αυτή ήταν

καθαρά πιλοτική και μόνο σε μια γραμμή (Τρόλλεϋ 2), παρόλα αυτά ο πάροχος έχει μια πρώτη εικόνα των αναγκών αυτών των οχημάτων. Σε κάθε περίπτωση, οι πάροχοι δεν μπορούν να επηρεάσουν την έκβαση του διαγωνισμού καθώς ανάδοχος κηρύσσεται ο μειοδότης εφόσον ο φάκελος πληροί τις προϋποθέσεις, συνεπώς ακόμα και αν σε αυτό το σύντομο διάστημα πιλοτικής δοκιμής είχαν προκριθεί κάποια οχήματα ως πιο κατάλληλα, αυτό δεν αποτυπώνεται κάπως.

Το παράδοξο του παραπάνω διαγωνισμού που οργανώθηκε από το Υπουργείο Μεταφορών & Υποδομών είναι πως φαίνεται να μην ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο σχεδιασμό ή κάποιες έστω κατευθύνσεις από πλευράς των συγκοινωνιακών παρόχων πέραν της κάλυψης της πάγιας ανάγκης ανανέωσης των οχημάτων & προσαρμογής στις σύγχρονες ανάγκες. Χαρακτηριστική αβελτηρία αποτελεί η πρόθεση προμήθειας 350 πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων αριθμό που αποτελεί λίγο παραπάνω από το 25% του σημερινού ενεργού στόλου της ΟΣΥ (ακόμα και αν δεν διατεθούν όλα σε αυτήν) χωρίς να υπάρχει η παραμικρή πρόβλεψη ή κάποιο δημοσιοποιημένο σχέδιο για την δημιουργία υποδομών υποστήριξης και κυρίως σημείων φόρτισης έστω και πιλοτικής μορφής ειδικά για τις συγκοινωνίες.

Εικάζεται ότι μέχρι των απαιτούμενων σημείων φόρτισης σε μεταγενέστερο χρόνο έχει σιωπηρά επιλεγεί η λύση της νυχτερινής φόρτισης των λεωφορείων στα αμαξοστάσια από τα οποία θα εκτελούν τα δρομολόγια, γεγονός το οποίο καταδεικνύει ότι η πραγματική αυτονομία των ηλεκτρικών λεωφορείων που θα προμηθευτούν εν τέλει είναι στοιχείο «κλειδί» το οποίο θα ορίσει και τις γραμμές που μπορούν να εξυπηρετήσουν, αλλά και ο χώρος που τελικώς θα τα φιλοξενήσει.

Συμπερασματικά, όπως αναλύθηκε και στις ενότητες **2.4.2** και **4.2**, για την ομαλή μετάβαση σε ένα λιγότερο ρυπογόνο αλλά και ενεργοβόρο συγκοινωνιακό σύστημα οδικών μεταφορών, ο εκάστοτε διαχειριστής θα πρέπει να εκπονεί σχέδιο για την αλλαγή του στόλου βάσει του εκτελούμενου έργου και συγκεκριμένων αναγκών που αυτό παρουσιάζει το οποίο θα λαμβάνει υπόψιν και τις απαραίτητες παρεμβάσεις σε υποδομές, καθώς και να διερευνήσει πως μπορεί να περιορίσει στο ελάχιστο τα κενά χιλιόμετρα των οχημάτων (αλλαγές βάρδιας, διαδρομές ανεφοδιασμού, διαδρομές προς αφετηρίες). Χρήσιμα δεδομένα για την δημιουργία και υλοποίηση του σχεδίου αυτού θα προέκυπταν και αν αξιοποιούνταν η δυνατότητα που προσφέρει η τεχνολογία για την έρευνα ικανοποίησης των επιβατών από τις προσφερόμενες υπηρεσίες

Όσον αφορά τα μέσα σταθερής τροχιάς που εξυπηρετούν την πρωτεύουσα η εικόνα είναι σαφώς καλύτερη όμως λόγω του πιο νέου χαρακτήρα του μέσου και τους μεγάλους χρόνους κατασκευής μεγάλο μέρος της πόλης δεν εξυπηρετείται από αυτά. Και στα ΜΣΤ διαφαίνεται ένα κενό στην δυναμικότητα του στόλου που προς το παρόν δεν είναι ιδιαίτερα εμφανές ωστόσο περιορίζει την δυνατότητα μείωσης των χρονοαποστάσεων. Όσον αφορά το μετρό υπάρχει διαλειτουργικότητα και υπάρχουν συρμοί που μπορούν να επιχειρήσουν και στις 3 γραμμές.

Η επικείμενη τελική επέκταση του μετρό στον Πειραιά (προσθήκη 3 σταθμών) και η λειτουργία του τμήματος «Αγία Μαρίνα - Δημοτικό Θέατρο» με πλήρη δρομολόγια (σήμερα λειτουργεί με μειωμένα δρομολόγια το τμήμα Αγία Μαρίνα-Νίκαια λόγω μειωμένου χώρου ελιγμών) αναμένεται να αυξήσει την καθημερινή ανάγκη δρομολόγησης κατά 2-3 συρμούς στην αιχμή. Η απαιτούμενη ποσότητα συρμών καλύπτεται με τα διαθέσιμα οχήματα, υπό τον όρο ότι τα οχήματα σε συντήρηση δεν μένουν παρατεταμένα διαστήματα εκτός δύναμης εν αναμονή ανταλλακτικών.

Στους συρμούς παλαιότερης τεχνολογίας θα πρέπει να διερευνηθεί, η δυνατότητα εκσυγχρονισμού των ηλεκτρονικών τους συστημάτων για καλύτερη διαχείριση των καταναλώσεων καθώς και η πιθανότητα τοποθέτησης συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (π.χ. αναγεννητική πέδη) και μέσου προσωρινής αποθήκευσης αυτής (μπαταρίες). Τέλος, συστήματα περαιτέρω αυτοματοποίησης της λειτουργίας μπορούν να μειώσουν τις καταναλώσεις ενέργειας στις επιταχύνσεις.

5.5. Ενσωμάτωση των διαθέσιμων εναλλακτικών πηγών ενέργειας στις υποδομές

5.5.1. Εισαγωγή

Η βελτίωση των υποδομών και του αστικού εξοπλισμού σε μια πόλη πολλές φορές δεν είναι μονομερές ζήτημα αλλά απαιτεί την συνεννόηση πολλών φορέων τόσο της τοπικής και περιφερειακής αυτοδιοίκησης όσο και κρατικών, αλλά και ιδιωτών. Οι μεγάλες αναπλάσεις και παρεμβάσεις είναι μια διαδικασία που χρειάζεται αρκετό χρόνο σχεδιασμού προκειμένου να διαταράξει με τον ηπιότερο δυνατό τρόπο την καθημερινότητα των πολιτών τόσο κατά την κατασκευή όσο και την λειτουργία.

Στον τομέα των συγκοινωνιών, όπως ήδη αναφέρθηκε στην ενότητα 3 όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια και τον βαθμό απόδοσης των φωτοβολταϊκών, μπορεί αυτή να μην είναι η βέλτιστη συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΑΠΕ, ωστόσο έχει την ιδιαιτερότητα ότι είναι η μόνη που μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμα και σε ένα στενό αστικό περιβάλλον.

Στην συνέχεια εξετάζονται τρεις διαφορετικής κλίμακας παρεμβάσεις που μπορούν να κάνουν οι συγκοινωνιακοί πάροχοι στην Αθήνα με αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

5.5.2. Εγκατάσταση έξυπνων στάσεων

Η αναδυόμενη τάση της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για την εγκατάσταση έξυπνων στάσεων παρουσιάστηκε στην **ενότητα 4.1**.

Η προτεινόμενη παρέμβαση αξιοποιεί την συγκεκριμένη συγκοινωνιακή υποδομή με ένα βραχυπρόθεσμο ορίζοντα υλοποίησης. Προτείνεται η τοποθέτηση ενός ικανού αριθμού τέτοιων στάσεων (~100) σε στρατηγικά σημεία του δικτύου με μια ίση κατανομή μεταξύ κεντρικών σημείων στο κέντρο της Αθήνας αλλά και σε κατάλληλα σημεία μεγάλης επιβατικής κίνησης στα κέντρα των γειτονιών.

Τα κριτήρια χωροθέτησης που προτείνεται να επιλεγούν είναι :

- Ανοιχτός χώρος με χαμηλή δόμηση (πλατείες, όρια πάρκων κ.α.)
- Κατάλληλος προσανατολισμός για εξασφάλιση ηλιοφάνειας όλο το χρόνο
- Χώρος διέλευσης ενός ΜΣΤ (υπέργειου ή υπόγειου) ή τουλάχιστον 3 διαφορετικών λεωφορειακών γραμμών
- Κοντά σε πολιτιστικούς χώρους ιδιαίτερης αξίας
- Στο παραλιακό μέτωπο
- Έξω από σχολεία

- Σε κομβικές στάσεις των αρτηριακών γραμμών «κορμού»
- Σε σημεία που εξυπηρετούνται πανεπιστημιακά ιδρύματα
- Σε χώρους άθλησης

Η διασύνδεση των παραπάνω στάσεων στο δίκτυο δεν είναι απαραίτητη εκτός ίσως για τον σκοπό της αδιάλειπτης λειτουργίας των οθονών πληροφόρησης. Η δράση αυτή δεν θα έχει κάποιο αξιόλογο ενεργειακό όφελος για τον φορέα αλλά ενισχύει την εικόνα των συγκοινωνιών, αποτελεί μια θετική οπτική παρέμβαση σε σχέση με τον υφιστάμενο εξοπλισμό και βελτιώνει την ποιότητα του αστικού χώρου.

5.5.3. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε χώρους στάθμευσης ΜΣΤ

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε ανοιχτούς χώρους στάθμευσης που βρίσκονται περιμετρικά των σταθμών μέσων σταθερής τροχιάς (Μετρό, Τραμ, Προαστιακός σιδηρόδρομος) είναι μια μεσοπρόθεσμη παρέμβαση που θα μπορούσε να γίνει στο πλαίσιο της εξοικονόμησης ενέργειας αφενός, αλλά και αφετέρου της ικανοποίησης του επιβατικού κοινού που μετεπιβιβάζεται.

Τα στέγαστρα με Φ/Β πλαίσια που παρουσιάστηκαν στην **ενότητα 4.1** μπορούν να εγκατασταθούν σε μεγάλο μέρος αυτών των χώρων παρέχοντας αυξημένη σκίαση ενώ ταυτόχρονα θα παράγουν κάποιο ποσό ενέργειας την ημέρα που είτε μπορεί να τροφοδοτεί μέρος των ενεργειακών αναγκών του σταθμού ή να αποθηκεύεται για χρήση στις υποδομές των συγκοινωνιών επιφανείας όπως πχ μια θέση φόρτισης ηλεκτρικού λεωφορείου ή η πώληση της μέσω εγκατάστασης σταθμού φόρτισης για ηλεκτρικά ΙΧ οχήματα.

Σίγουρα το ιδιοκτησιακό καθεστώς τέτοιων χώρων και κατά πόσο μπορεί να τα εκμεταλλευτεί ο φορέας θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, αποτελεί ωστόσο μια δράση χωρίς αρνητικό αποτύπωμα.

Κάνοντας μια σειρά απλών υπολογισμών στην συνέχεια, με βάση κάποια δειγματοληπτικά στοιχεία όσον αφορά την μέση έκταση ενός τέτοιου χώρου στάθμευσης, καθώς και βιλιογραφικά τις ώρες ηλιοφάνειας ετησίως για την Ελλάδα αλλά και την χωρητικότητα της μπαταρίας ενός ΙΧ ηλεκτρικού οχήματος και ενός λεωφορείου μπορούμε να αποτιμήσουμε το ενεργειακό κέρδος της παρέμβασης αυτής για διαφορετικά μεγέθη τέτοιων χώρων.

Το οικονομικό κόστος ενός Φ/Β πλαισίου είναι στην τάξη μεγέθους των 200-300 €/τεμάχιο με τα σημερινά δεδομένα. Περαιτέρω εξειδίκευση και οικονομική εκτίμηση της παρέμβασης δεν μπορεί να γίνει σε τέτοιο στάδιο καθώς τα κόστη πέφτουν αρκετά εάν πρόκειται για μεγαλύτερες προμήθειες ενώ δεν έχουν υπολογιστεί τα πρόσθετα κόστη για την τοποθέτηση (βάσεις/στέγαστρα) και τον λοιπό ηλεκτρομηχανολογικό απαιτούμενο εξοπλισμό.

Για τους παρακάτω υπολογισμούς έχουν χρησιμοποιηθεί τα παρακάτω δεδομένα (τιμές) αναφοράς:

- Χωρητικότητα μπαταρίας ηλεκτρικού ΙΧ οχήματος: 50-100 kWh → Λαμβάνεται τιμή 75 kWh ως αντιπροσωπευτική
- Χωρητικότητα μπαταρίας ηλεκτρικού λεωφορείου: ~400 kWh

- Φ/Β πλαίσιο: Ισχύς 460 W , Εμβαδό 2.20 m^2

Πίνακας 5.5.3-1. Εφαρμογή σε χώρο στάθμευσης

Χωρητικότητα (θέσεις σταθ.)	50	200	300	400
Εμβαδό κάλυψης (m^2)	750	3000	4500	6000
Ν πλαισίων για την κάλυψη των σειρών στάθμευσης	340	1361	2042	2722
Ωριαία ισχύς αιχμής (kWp)	156.5	626.1	939.2	1252.2
Μέγιστη δυνατή ισχύς (kW/έτος)	391328	1565310	2347965	3130620
Μέγιστη δυνατή ισχύς (MW/έτος)	391.3	1565.3	2348.0	3130.6
Δυνατότητα φόρτισης EV οχήματος (ωριαία) - 75 kWh	2.2	8.9	13.4	17.9
Δυνατότητα φόρτισης EV οχήματος (ωριαία) - 75 kWh | 40%	5.6	22.4	33.5	44.7
Δυνατότητα φόρτισης EV-Bus	39%	157%	235%	313%
Συλλεγόμενη ενέργεια σε 8 ώρες χωρίς καταναλώσεις (kWh)	1252	5009	7513	10018

Το παραπάνω σενάριο είναι υποθετικό ωστόσο μπορούμε να εξάγουμε αμέσως κάποια συμπεράσματα:

- Η εφαρμογή αυτής της εναλλακτικής σε χώρες με επαρκή ηλιοφάνεια δεν είναι καθόλου αμελητέα όσον αφορά την δυνατότητα παραγωγής.
- Η εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε μικρούς χώρους μπορεί να γίνει και αυτόνομα με χρήση διάταξης μπαταριών κατάλληλης χωρητικότητας (ώστε να εξασφαλίζει την αποθήκευση της ενέργειας μιας ημέρας σε περίπτωση που δεν καταναλώνεται άμεσα). Στους χώρους αυτούς αναλόγως την επιθυμία του φορέα λειτουργίας μπορούν να διασυνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο ή όχι με ένα μικρό ρίσκο απώλειας.

- Σε μεγαλύτερους χώρους η διασύνδεση στο δίκτυο αποτελεί εν τέλει μονόδρομο γιατί η παραγόμενη ενέργεια είναι εξαιρετικά μεγάλη για να αποθηκευτεί χωρίς το πρόσθετο κόστος μεγάλων μπαταριών ή άλλου αντίστοιχης χωρητικότητας συστήματος ενώ το net metering της προσφερόμενης ενέργειας θα προσφέρει και πάλι στον πάροχο μείωση το κόστους και ταυτόχρονα μείωση των εκπομπών CO_2 σε ανώτερο επίπεδο.
- Ακόμα και στο σενάριο του μικρότερου χώρου υπάρχει η δυνατότητα μερικής φόρτισης ενός οχήματος συγκοινωνίας/ώρα ενώ στα σενάρια κάλυψης χώρου 200 θέσεων και άνω η απόδοση αυτή βελτιώνεται καθώς μπορούν να φορτιστούν παραπάνω οχήματα πλήρως ή αν υποθέσουμε μέρος της φόρτισης ακόμα περισσότερα.
- Η κάλυψη ενός μεγάλου χώρου ~300 θέσεων (~4500 m^2) επαρκεί για να συνεισφέρει σε μεγάλο ποσοστό στις ωριαίες λειτουργικές ανάγκες ενός σιδηροδρομικού σταθμού (π.χ. μετρό) για τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια (φωτισμός, ανελκυστήρες, κλιματισμός/θέρμανση, οθόνες πληροφοριών, κυλιόμενες σκάλες).

5.5.4. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε κτίρια & σταθμούς

Η τρίτη παρέμβαση αφορά την προσπάθεια μείωσης των ενεργειακών καταναλώσεων από τις υποστηρικτικές υποδομές. Υλοποιείται ένα σενάριο εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων στις κτιριακές υποδομές τόσο της ΟΣΥ όσο και της ΣΤΑΣΥ σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα. Για την εκτίμηση του διαθέσιμου χώρου αποτυπώθηκαν μέσω ορθοφωτογραφιών οι εγκαταστάσεις των χώρων και έγινε εμβαδομέτρηση των κάτωθι στοιχείων. Χαρακτηριστικά της διαδικασίας εμφανίζονται στο **Σχήμα 5.5.4-1** στη συνέχεια.

- Αμαξοστάσια λεωφορείων : Χώροι συντήρησης – Γραφεία – Συνεργεία – Στέγαστρα
- Αμαξοστάσια τρόλλεϋ : Χώροι συντήρησης – Γραφεία – Συνεργεία – Στέγαστρα
- Αμαξοστάσιο ΜΕΤΡΟ: Χώροι συντήρησης συρμών – Γραφεία –Στέγαστρα
- Σταθμοί: Σταθμοί του δικτύου ΣΤΑΣΥ που έχουν μεγάλη στεγασμένη επιφάνεια (δειγματοληπτικά) και βοηθητικοί χώροι

Σχήμα 5.5.4-1. Εμβαδομέτρηση χώρων κτιριακών υποδομών συγκοινωνιακών φορέων μέσω ορθοφωτοχάρτη (ίδια επεξεργασία)

Η δυνατότητα ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ 3583/ Β΄/31.12.2014) και αφορά στην εγκατάσταση σταθερών φωτοβολταϊκών συστημάτων για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού (Net Metering). Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργειας με την καταναλισκόμενη στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε ετήσια βάση. Στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη.

Η πρόβλεψη για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (ηπειρωτική χώρα και διασυνδεδεμένα με αυτήν νησιά) και ειδικότερα *για «νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλου δημοσίου συμφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και στο 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης.»*

Επισημαίνεται ότι και στις περιπτώσεις αυτές ισχύει το γενικό όριο σύνδεσης ισχύος παραγωγής στο δίκτυο χαμηλής τάσης, επομένως για συμφωνημένη ισχύ κατανάλωσης 1135 kVA ή 250 kVA (τυποποιημένη παροχή Νο 6 ή Νο 7 αντιστοίχως) η μέγιστη ισχύς ΦΒ περιορίζεται στα 100 kWp.

Τέλος σημειώνεται ότι «Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη ισχύς ενός ΦΒ συστήματος που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο της Υπουργικής Απόφασης δεν μπορεί να υπερβαίνει το όριο των 500 kWp».

Στην συνέχεια επιλέχθηκαν από δειγματοληπτική έρευνα πέντε (5) διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων κατασκευής 2018-2022 που είναι διαθέσιμοι στην αγορά για τους οποίους συγκεντρώθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους όπως παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.5.4-1** που ακολουθεί:

Πίνακας 5.5.4-1. Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων μελέτης

Στοιχείο	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5
Τύπος	PS365M4H-20/UHB	EVPV410H	CS3W-440MS	LR4-72HPH-450M	JAM72D30
Ονομαστική ισχύς STC (Watt)	365	410	440	450	540
Διαστάσεις πλαισίου:	1764 x 1040 x 35mm	1821 x 1016 x 30 mm	2108 x 1048 x 40 mm	2094 x 1038 x 35 mm	2278 x 1134 x 35 mm
Εμβαδό πλαισίου (m^2):	1.64	1.83	1.85	2.21	2.17
Βάρος (kg):	19.5	20.0	24.9	23.5	31.8
Συντελεστής μέγιστης από-δοσης	19.9 %	22.2 %	19.9 %	20.7 %	20.9 %
Υλικό κυψέ-λης	Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο				

Βάσει των διαθέσιμων τετραγωνικών που υπολογίστηκαν για όλες τις εγκαταστάσεις εκτιμήθηκε ένας συντελεστής χωροθέτησης, αφενός γιατί ακόμα και να ήταν τεχνικά εφικτό δεν θα θέλαμε να καλύψουμε το σύνολο αυτών των επιφανειών λόγω του μεγάλου κόστους αλλά και άλλων παραγόντων που δεν εξετάζονται όπως η τυχόν επιρροή στην στατική επάρκεια. Το σενάριο βασίζεται στην υπόθεση πως οι πάροχοι δύνανται να διαθέσουν το 40% της επιφάνειας των στεγάστρων και των οροφών των παραπάνω κτιρίων για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Λόγω των απαραίτητων τεχνικών προδιαγραφών απόστασης μεταξύ πλαισίων, πιθανού προσανατολισμού που δεν είναι ιδανικός και άλλων τεχνικών σχετικά με την στήριξη και εγκατάσταση θεωρείται ότι το 50% της παραπάνω έκτασης θα καλυφθεί με φωτοβολταϊκά πλαίσια συνεπώς ο τελικός συντελεστής χωροθέτησης για τον υπολογισμό του πλήθους που θα απαιτηθεί διαμορφώνεται σε 20 % της διαθέσιμης έκτασης.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας σε ετήσια βάση λαμβάνεται μέση ετήσια τιμή κλιματικών δεδομένων 20-ετίας για τις ώρες ηλιοφάνειας 2500 hrs (Εθνικό Αστεροσκοπείο).

Οι υπολογισμοί που έγιναν με βάση τις παραπάνω παραδοχές, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.5.4-2** στην συνέχεια. Οι αριθμοί σε παρένθεση στην κάθε εγκατάσταση αναφέρονται στα διαφορετικά στοιχεία (στέγαστρα/οροφές) που εμβαδομετρήθηκαν.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη αυτή είναι:

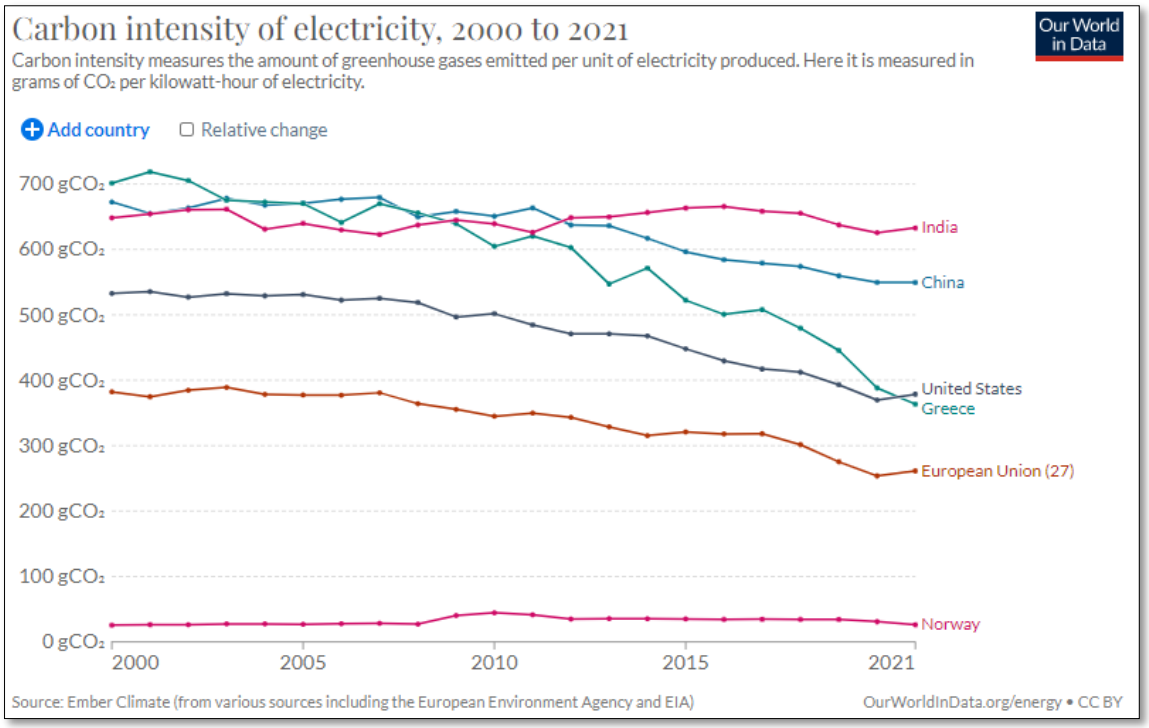
- Η συνολική ισχύς που μπορεί να εγκατασταθεί στα παραπάνω σημεία βλέπουμε πως κυμαίνεται μεταξύ 4.100 kWp και 4.600 kWp ενώ με εξαίρεση τα ΑΣ Πέτρου Ράλλη (κεντρικά

ΟΣΥ) και το ΑΣ Ελαιώνα & Σεπολίων της ΣΤΑΣΥ (Μετρό) που η ισχύς θα μπορούσε να ξεπεράσει το επιτρεπόμενο όριο των 500 kWp εν γένει οι υπόλοιπες εγκαταστάσεις θα είναι εντός ορίων.

- Όσον αφορά την εξοικονόμηση που θα προκύψει σε εκπομπές CO^2 από την συγκεκριμένη παρέμβαση αυτές εκτιμώνται μεταξύ 4 και 4.6 χιλ. τόνων ετησίως αναλόγως τον τύπο Φ/Β πλαισίου που θα επιλεγεί βάσει των τιμών εκπομπών για το ελληνικό ενεργειακό μείγμα (~400 g CO_2/kWh -2020) όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 5.5.4-2.**

- Ο αριθμός των απαιτούμενων πλαισίων μειώνεται σημαντικά λόγω της κλίμακας της παρέμβασης από τύπο σε τύπο καθώς αυξάνεται σταδιακά η ονομαστική ισχύς τους.

- Η κλίμακα των επιμέρους παρεμβάσεων δεν είναι απαγορευτική καθώς παρόμοιες παρεμβάσεις έχουν ήδη υλοποιηθεί εκτός Ελλάδας σε ίδιο η μεγαλύτερο μέγεθος στο εξωτερικό ακόμα και σε βορειότερες χώρες με πιο περιορισμένη ηλιοφάνεια (ενότητα **4.1**)



Σχήμα 5.5.4-2. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα βάσει του ενεργειακού μείγματος
[Πηγή : Our World in Data.org]

Πίνακας 5.5.4-2. Σενάρια εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων σε οροφές κτιρίων και στέγαστρα αμαξοστασίων συγκοινωνιών

Α/Α	Θέση	Πάροχος	Εμβαδόν (m^2)	Έκταση εφαρμογής (m^2)	PV1 365 KW	PV2 410 KW	PV3 440 KW	PV4 450 KW	PV5 540 KW
1	ΑΣ Ρέντη (5)	ΟΣΥ	26062.13	5212.43	2841	2817	2359	2398	2018
				Συνολική ισχύς σε kWp	1037	1155	1038	1079	1090
2	ΑΣ Βοτανικού (3)	ΟΣΥ	7529.59	1505.92	821	814	682	693	583
				Συνολική ισχύς σε kWp	300	334	300	312	315
3	ΑΣ Μετρό Σεπόλια (4)	ΣΤΑΣΥ	23439.26	4687.85	2555	2534	2122	2157	1815
				Συνολική ισχύς σε kWp	933	1039	934	971	980
4	ΑΣ Τρόλλεϋ (3) & Σταθμός Η-ΣΑΠ Αττικής	ΟΣΥ/ΣΤΑΣΥ	6555.26	1311.05	715	709	593	603	508
				Συνολική ισχύς σε kWp	261	291	261	271	274
5	ΑΣ Τρόλλεϋ Κοκκ Μύλος	ΟΣΥ	832.75	166.55	91	90	75	77	64
				Συνολική ισχύς σε kWp	33	37	33	34	35
6	ΑΣ Πέτρου Ράλλη (2)	ΟΣΥ	3507.65	701.53	382	379	318	323	272

	Συνολική ισχύς σε kWp				140	155	140	145	147
7	ΑΣ Τρόλλεϋ Ρουφ (1)	ΟΣΥ	3500.13	700.03	382	378	317	322	271
	Συνολική ισχύς σε kWp				139	155	139	145	146
8	ΑΣ Αγίου Δημητρίου (1)	ΟΣΥ	2026.89	405.38	221	219	183	187	157
	Συνολική ισχύς σε kWp				81	90	81	84	85
9	ΑΣ Μετρό (1) & Σταθ. Δου-κίσσης Πλακεντίας (1)	ΟΣΥ	575.54	115.11	63	62	52	53	45
	Συνολική ισχύς σε kWp				23	26	23	24	24
10	Σταθμός Χαλάνδρι Γ3 (2)	ΣΤΑΣΥ	1615.93	323.19	176	175	146	149	125
	Συνολική ισχύς σε kWp				64	72	64	67	68
11	ΑΣ Ανω Λιόσια (2)	ΟΣΥ	3854.32	770.86	420	417	349	355	298
	Συνολική ισχύς σε kWp				153	171	154	160	161
12	ΑΣ Ανθούσας (2)	ΟΣΥ	5390.34	1078.07	588	583	488	496	417
	Συνολική ισχύς σε kWp				214	239	215	223	225
13	ΑΣ Τράμ Ελληνικού (2)	ΣΤΑΣΥ	2398.39	479.68	261	259	217	221	186
	Συνολική ισχύς σε kWp				95	106	96	99	100
14	ΑΣ Μετρό Ελαιώνα (2)	ΣΤΑΣΥ	16006.06	3201.21	1745	1730	1449	1473	1239

	Συνολική ισχύς σε kWp				637	709	638	663	669
	Σύνολο		103294.24	20658.75	4110	4578	4115	4277	4319
Ετήσια παραγόμενη ισχύς σε MWh					10276	11445	10286	10693	10796
Ν πλαισίων συνολικά					11261	11166	9351	9505	7997
Συντελεστής απόδοσης Φ/Β					17%				
Συντελεστής χωροθέτησης					20%				

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Στην παρούσα μελέτη παρουσιάστηκαν αφενός τα οφέλη και αφετέρου τα πιθανά σημεία που θα προκαλέσουν καθυστέρηση στην ιδιαίτερα συζητημένη και προωθούμενη ενεργειακή μετάβαση σε πλήρη ηλεκτροκίνηση για τον τομέα των μεταφορών τις επόμενες δεκαετίες.

Τα σχέδια αυτά σίγουρα θα αποφορτίσουν τοπικά το αστικό περιβάλλον όπου με την συνεχή αύξηση του πληθυσμού που διαμένει σε πόλεις αλλά και την συνεχή χρήση των αυτοκινήτων είναι ιδιαίτερα επιβαρυμένα τόσο ατμοσφαιρικά όσο και από άποψη θορύβου αλλά και αισθητικής όχλησης, παρόλα αυτά θα μετατοπίσουν μεγάλο βάρος στην ηλεκτροπαραγωγή, στην ήδη επιβαρυμένη αγορά ενέργειας, με αρκετές προεκτάσεις που ακόμα δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε.

Η υιοθέτηση αυτής της μετάβασης και στον τομέα του συγκοινωνιακού σχεδιασμού εάν γίνει εν μια νυκτί με στόχο την εκπλήρωση ενός ακόμα «πράσινου» στόχου όπως η απανθρακοποίηση μπορεί να μην έχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Σίγουρα οι νέες τεχνολογίες είναι πάντα θελκτικές για ένα άτομο ή μια ομάδα αλλά σε ανώτερο επίπεδο χρειάζεται σταδιακή μετάβαση και προσεκτικό σχεδιασμό από το εθνικό έως το τοπικό επίπεδο με καθορισμένο τρόπο παρακολούθησης της απόδοσης και ανασχεδιασμού των δράσεων σε κυκλικό σχήμα.

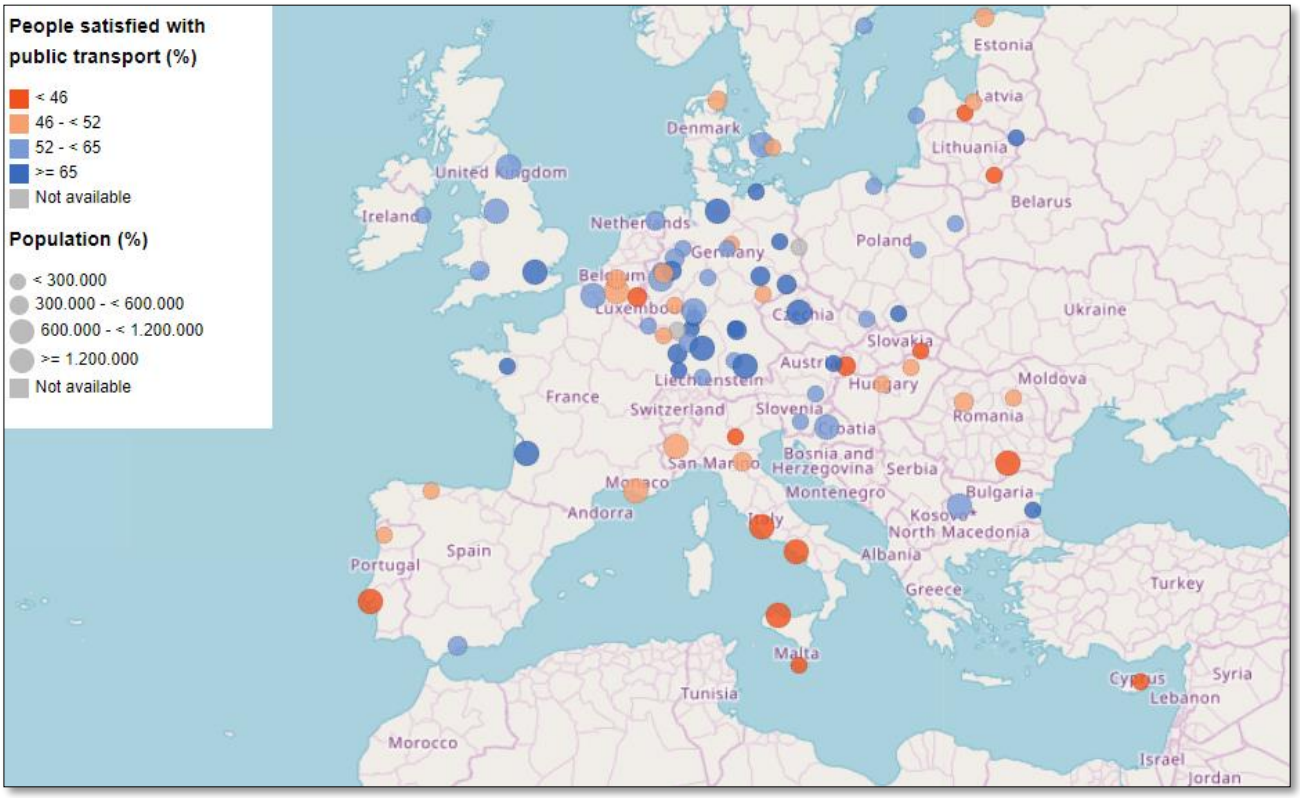
6.1. Διαμόρφωση εθνικών και τοπικών στρατηγικών

Ο ρόλος των εθνικών στρατηγικών που θα πρέπει να καθοριστούν είναι τέτοιος ώστε να προβλέψουν την συλλογική ανάγκη αναβάθμισης των απαραίτητων υποδομών και να θέσουν το συνολικό όραμα για τα δίκτυα, τις αστικές μεταφορές στο εγγύς και εγγύτερο μέλλον και τον χρονικό ορίζοντα της μετάβασης. Προκειμένου ο σχεδιασμός να προχωρήσει στο επόμενο επίπεδο θα πρέπει να καθοριστεί ένα θεσμικό πλαίσιο που θα επανακαθορίζει με σύγχρονους όρους μια σειρά παραμέτρων που επηρεάζουν την ζωή μας όπως οι κλιματικές, οι ενεργειακές, η ορθή χρήση των πρώτων υλών, η μείωση των αποβλήτων, οι καλές πρακτικές κ.ο.κ.

Κατεβαίνοντας προς το τοπικό επίπεδο το στοίχημα είναι ακόμα μεγαλύτερο καθώς θα χρειαστούν διεπιστημονικές ομάδες με πολύ καλή αντίληψη ώστε να καταγραφούν οι συνθήκες, οι αλληλεπιδράσεις και οι χρόνιες ασθένειες στο μελετώμενο σύστημα, προκειμένου οι λύσεις που θα σχεδιαστούν σε τοπικό επίπεδο να είναι όχι απλά μια εφαρμογή μιας σειράς καλών πρακτικών, αλλά ένα πλέγμα δράσεων σε πολλαπλά επίπεδα που θα επιτρέψει τον μετασχηματισμό του χώρου παράλληλα με το μετασχηματισμό των συνηθειών και των πρακτικών των πολιτών που δυσχεραίνουν την κυκλοφορία στην πόλη (κίνηση σε λεωφορειολωρίδες, παράνομη στάθμευση, επικίνδυνοι ελιγμοί κ.α.).

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που είναι ιδιαίτερα σημαντικό είναι κατά πόσον έχει γίνει αρκετά εύληπτη και κατανοητή η πληροφορία από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς ώστε να είναι διαθέσιμοι με διάφορες μεθόδους οι τρόποι μετακίνησης από στρατηγικά σημεία, το κέντρο της πόλης αλλά και περιφερειακά κέντρα σε διάφορους προορισμούς. Οι πόλεις που το συγκοινωνιακό τους δίκτυο με όλες τις προεκτάσεις του έχει ενταχθεί σε κοινό πληροφοριακό οδηγό για επισκέπτες με επαρκείς πληροφορίες είναι η εξαίρεση παρά ο κανόνας όπως θα περίμενε κανείς.

Τέλος στην διαδικασία του σχεδιασμού σημαντικό ρόλο έχει η γνώμη των πολιτών και ιδίως των τακτικών επιβατών. Θα πρέπει να γίνονται τακτικά έρευνες ικανοποίησης αλλά στοχευμένα και όχι σε τυχαίο δείγμα και με μέθοδο που θα ταξινομεί τις προτάσεις αυτές ανά τύπο μέσου και εξυπηρετούμενη γραμμή ώστε να είναι πιο εύκολη η επεξεργασία από την ομάδα παρακολούθησης και σχεδιασμού του δικτύου.



Σχήμα 6.1-1. - Ποσοστό του πληθυσμού που είναι ευχαριστημένο με τις δημόσιες συγκοινωνίες στην πόλη του

[Πηγή: EUROSTAT, 2016]

6.2. Προς μια βιώσιμη αστική κινητικότητα στην πόλη της Αθήνας

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας εργασίας έγινε μια εκτενής μελέτη του συγκοινωνιακού συστήματος της Αθήνας. Η Αθήνα λόγω των συνεχών αλλαγών απόψεων και σχεδιασμών ως προς την ανάπτυξή της θα μπορούσαμε να πούμε ότι μόνο τις τελευταίες δύο δεκαετίες ακολουθεί ένα δομημένο και συνεχόμενο σχεδιασμό σχετικά με το συγκοινωνιακό της δίκτυο το οποίο όμως ακολουθεί την εξέλιξη της πόλης και δεν έχει καταφέρει να προπορεύεται σε επίπεδο πρόβλεψης της εξάπλωσής της.

Οι διαθέσιμες επιλογές για την εξέλιξη του δικτύου είναι πολλές, ενώ υπάρχει διεθνής τεχνογνωσία σε ένα ώριμο επίπεδο ως προς τα μέτρα και τις δράσεις που αποδίδουν καρπούς στην:

- Ενθάρρυνση του πολίτη για χρήση των συγκοινωνιών
- Βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος
- Βελτίωση της εικόνας των συγκοινωνιών
- Ευαισθητοποίηση των πολιτών για την προστασία του περιβάλλοντος

Η ενσωμάτωση νέων μέσων αλλά και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί ιδανική ευκαιρία να αναστραφεί η κακή εικόνα που έχουν δημιουργήσει οι δημόσιες συγκοινωνίες ιδιαίτερα στα χρόνια που ακολούθησαν την οικονομική κρίση όπου η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών έπεσε κατακόρυφα δημιουργόντας και την έντονη στροφή του πληθυσμού σε ιδιωτικά μέσα μεταφοράς.

Ένας στόχος ανανέωσης του στόλου δημόσιας συγκοινωνίας σε ποσοστό 10 % εκτιμάται πως θα είχε άμεση επίδραση στην εικόνα των συγκοινωνιών ενώ θα επέτρεπε την περαιτέρω μελέτη των ιδιαιτεροτήτων τους και της αυτονομίας κατά την απαιτητική λειτουργία σε θερινή περίοδο με υψηλές καταναλώσεις ενέργειας για τον κλιματισμό του εσωτερικού. Το επόμενο βήμα θα ήταν 30% του σημερινού στόλου και το τρίτο αλλαγή της τάξης του 50%. Σε συμμόρφωση με τις Ευρωπαϊκές προβλέψεις για συγκοινωνιακά οχήματα μηδενικών ρύπων οι στόχοι αυτοί συνεπάγονται την άφιξη ηλεκτρικών κυρίως οχημάτων.

Η εκμετάλλευση των μη προσβάσιμων από επιβάτες υποδομών για ηλεκτροπαραγωγή από ηλιακή ενέργεια θα βελτίωνε την ενεργειακή απόδοση των ίδιων των κτιρίων αλλά θα έδινε και ένα καλό παράδειγμα για την υιοθέτηση καλών πρακτικών και την περαιτέρω βελτίωση της εικόνας των συγκοινωνιών στο ευρύ κοινό.

Η άφιξη των πρώτων ηλεκτρικών οχημάτων, καλώς εχόντων των πραγμάτων, στις αρχές του επόμενου έτους αναμένεται να δώσει ένα μήνυμα μετασχηματισμού της πόλης. Είναι όμως απαραίτητο προκειμένου αυτά να εκμεταλλευτούν στο έπακρο την δυνατότητα κίνησης με μηδενικούς ρύπους τοπικά, να υποστηριχθούν με την εγκατάσταση κατάλληλων σημείων φόρτισης σε στρατηγικά σημεία-αφετηρίες τόσο στο κέντρο όσο και στους περιφερειακούς πόλους.

Ακόμα, υπάρχει ένα μεγάλο κενό ως προς τις υποδομές που θα ενθαρρύνουν την συμπληρωματική προς τα ΜΜΜ χρήση των μη-μηχανοκίνητων μέσων και ιδίως των Ε.Π.Η.Ο. (ελαφρών ηλεκτρικών οχημάτων), αν όχι σε καθημερινή βάση όταν ο καιρός το επιτρέπει. Οι ποδηλατόδρομοι που υπάρχουν είναι μικρής έκτασης και κυρίως σε επίπεδο γειτονιάς και αναψυχής (π.χ. παραλιακό μέτωπο). Κρίνεται ότι θα πρέπει να μετασχηματιστούν ή να δημιουργηθούν και να καλύπτουν και κεντρικές αρτηρίες παράλληλα με ένα σύστημα BRT.

Τέλος, πρέπει με την χρήση όλων των διαθέσιμων εποπτικών μέσων να τηρούνται οι υπολογισμένες χρονοαποστάσεις μεταξύ των μέσων δημόσιας συγκοινωνίας αλλά και η ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για να αποφεύγεται ο υπερβολικός συνωστισμός και η δυσφορία που προκαλεί σε πολλούς επιβάτες τόσο το φαινόμενο όσο και η ίδια η καθυστέρηση της μετάβασής τους στον επιθυμητό προορισμό.

Συγκεντρωτικά οι προτεινόμενες δράσεις που θα οδηγήσουν στην μείωση των εκπομπών και την ενεργειακή διασύνδεση και εξοικονόμηση πόρων στο σύστημα των συγκοινωνιών της Αθήνας

παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με μια εκτίμηση του χρόνου υλοποίησης από 1 έως 10 έτη.

Πίνακας 6.2-1. Συγκεντρωτική προβολή προτεινόμενων δράσεων και παρεμβάσεων για την βιώσιμη αστική κινητικότητα

Προτεινόμενη Δράση	**Χρόνος Υλοποίησης**		
	Βραχυπρόθεσμα (≤1 έτος)	Μεσοπρόθεσμα (1-5 έτη)	Μακροπρόθεσμα (5-10 έτη)
Προμήθεια νέων οχημάτων -10%	X		
Προμήθεια νέων οχημάτων -30%		X	
Εγκατάσταση υποδομών φόρτισης σε επιλεγμένες αφετηρίες/τέρματα		X	
Προμήθεια νέων οχημάτων -50%			X
Ολοκλήρωση επεκτάσεων μετρό (υφιστάμενες γραμμές) & τραμ		X	
Δημιουργία Γραμμής 4 μετρό			X
Περιορισμός αλληλοκάλυψης Οδικών μέσων και ΜΣΤ	X		
Μείωση θέσεων στάθμευσης σε πόλους που έχουν εγγύτητα σε σταθμούς ΜΣΤ	X	X	
Διερεύνηση μετατροπής γραμμών κορμών σε BRT με ηλεκτρικά οχήματα		X	
Εγκατάσταση φωτοβολταικών σε χώρους στάθμευσης (στέγαστρα)	X		
Εγκατάσταση Φ/Β σε σταθμούς ΜΣΤ και υποδομές συντήρησης (Αμαξοστάσια)		X	
Εγκατάσταση μικρών αυτόνομων Φ/Β και έξυπνων στάσεων	X		
Πύκνωση χρονοαποστάσεων μεταξύ μέσων μεγάλης προτίμησης και τήρηση των ωραρίων	X	X	
Δημιουργία δικτύου ποδηλατοδρόμων που θα εξυπηρετεί μετακινήσεις στο		X	

κέντρο και παράλληλα με διακεντρικές αρτηρίες			

Σίγουρα η εφαρμογή των παραπάνω δεν εξασφαλίζει αυτόματα την εξίσωση του Αθηναϊκού συστήματος με ένα αντίστοιχο μιας ευρωπαϊκής ή διεθνούς πόλης που το υλοποιεί και επεκτείνει με σταθερούς ρυθμούς επί δεκαετίες, όμως δίνεται μια ευκαιρία για αλλαγή της αντίληψης του αστικού χώρου στους πολίτες και δημιουργίας ενός αισθήματος συνύπαρξης με την πόλη που κατοικούν και αποτελούν μέλη της και όχι αναγκαστικής

Εν κατακλείδι, ακόμα και αν η ενσωμάτωση ηλεκτρικών οχημάτων ή οχημάτων υδρογόνου ή σε δεύτερο χρόνο η εγκατάσταση συστημάτων ηλιακής ενέργειας, δεν φτάσει στο επίπεδο του στόχου που θα οριστεί ή σε επίπεδα εξοικονόμησης άλλων πόλεων, εάν έχει επιτευχθεί η σταδιακή αλλαγή της «κουλτούρας» του υποψήφιου κοινού, θα είναι το πρώτο σταθερό βήμα για την συνολική αλλαγή του κοινωνικού συνόλου στα όρια της πόλης.

Βιβλιογραφία

Alstom. (2022, 03 10). The innovative and sustainable bus system from the Van Hool - Kiepe Electric - Alstom consortium, chosen by Île-de-France Mobilités. Retrieved from https://www.alstom.com/press-releases-news/2022/3/innovative-and-sustainable-bus-system-van-hool-kiepe-electric-alstom

Bellochi, S., Manno, M., Noussan, M., Prina, M. G., & Velini, M. (2020). Electrification of transport and residential heating sectors in support of renewable penetration: Scenarios for the Italian energy system. *Energy, 196*, 117062. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117062

Burlig, F. (2021, 02 16). Electrifying Transportation May Be Harder Than We Think. Ανάκτηση 05 11, 2022, από https://www.forbes.com/sites/ucenergy/2021/02/16/electrifying-transportation-may-be-harder-than-we-think

Clinton, B. C., Knittel, C. R., & Metaxoglou, K. (2020). Electrifying Transportation: Issues and Opportunities. MIT Climate Portal. Ανάκτηση 04 18, 2022

European Commision. (2015). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. (COM/2015/614).

European Commission. (2019). The European Green Deal. Ανάκτηση από https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640

European Commission. (n.d.). EU Mission: Climate-Neutral and Smart Cities. Ανάκτηση 05 10, 2022, από https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities_en

Fuel Cell Electric Buses EU. (2022, 04 11). RVK receives grant for 108 hydrogen-powered fuel cell hybrid buses. Ανάκτηση από https://www.fuelcellbuses.eu/public-transport-hydrogen/rvk-receives-grant-108-hydrogen-powered-fuel-cell-hybrid-buses

IEA. (2019). World Energy Outlook 2019. doi:http://dx.doi.org/10.1787/caf32f3b-en

Interreg Europe. (2021, 03 01). "Nemo" the electric bus and the adaptation of its operating system. Ανάκτηση 04 05, 2022, από https://www.interregeurope.eu/good-practices/nemo-the-electric-bus-and-the-adaptation-of-its-operating-system

Johnson Victor, D., & Ponnuswamy, S. (2012). *Urban Transportation.* New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited.

Mira-Bonnardel, S., Antonialli, F., & Attias, D. (Επιμ.). (2021). *The Robomobility Revolution of Urban Public Transport.* New York: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-72976-9

Ning, F., Ji, L., Ma, J., Jia, L., & Yu, Z. (2021). Research and analysis of a flexible integrated development model of railway system and photovoltaic in China. *Renewable Energy, 175*, 853-867. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.119

Poli, C. (2011). *Mobility and Environment.* Springer Dordrecht Heidelberg London New York. doi:10.1007/978-94-007-1220-1

Pucher, J., & Buechler, R. (Επιμ.). (2012). *City Cycling (Urban and Industrial Environments).* The MIT Press.

Pyrgidis, C. N. (2022). *Railway transportation systems : design, construction and operation* (Second εκδ.). CRC Press. doi:10.1201/9781003046073

SmartCitiesWorld. (2019, 05 17). Electric buses roll out in Northern France. Ανάκτηση 03 20, 2022, από https://www.smartcitiesworld.net/news/news/electric-buses-roll-out-in-northern-france-4188

SmartCitiesWorld. (2019, 09 27). Netherlands to roll out Europe's largest electric bus fleet. Ανάκτηση 5 18, 2021, από https://www.smartcitiesworld.net/news/news/netherlands-to-roll-out-europes-largest-electric-bus-fleet-4629

Sustainable-Bus.com. (2019, 06 13). ATM Milano and the renewal of the trolleybus fleets. The first Solaris Trollino IMC 'lands' in Milan. (S. Alfano, Επιμ.) Ανάκτηση 03 12, 2022, από https://www.sustainable-bus.com/trolleybus-tramway/atm-milano-and-the-renewal-of-the-trolleybus-fleets-the-first-solaris-trollino-imc-lands-in-milan/

Sustainable-Bus.com. (2020, 12 28). The Netherlands have more than 1,000 electric buses in operation. Ανάκτηση από https://www.sustainable-bus.com/news/the-netherlands-have-more-than-1000-electric-buses-in-operation/

Sustainable-Bus.com. (2022, 04 28). Solaris in Milan, again. New batch of 75 e-buses headed to Italy (with 140 units already on the road). Ανάκτηση από https://www.sustainable-bus.com/news/solaris-another-electric-bus-order-milan-atm/

Teske, S., Pregger, T., Simon, S., & Naegler, T. (2018). High renewable energy penetration scenarios and their implications for urban energy and transport systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability, 30*, 89-102. doi:https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.007.

The City of Copenhagen, Technical and Environmental Administration. (2011). GOOD, BETTER, BEST: The city of Copenhagen's bicycle strategy 2011-2025. Copenhagen. Ανάκτηση 05 2022, από https://www.eltis.org/sites/default/files/case-studies/documents/copenhagens_cycling_strategy.pdf

Varga, B. O., Iclodean, C., & Mariasiu, F. (2016). *Electric and Hybrid Buses for Urban Transport.* Springer International Publishing Switzerland. doi:10.1007/978-3-319-41249-8

Wołek, M., & Wyszomirski, O. (Επιμ.). (2013). *The Trolleybus as an Urban Means of Transport in the Light of the Trolley Project.* Uniwersytet Gdański.

Βλαστός, Θ., & Μηλάκης, Δ. (2006). *Πολεοδομία vs Μεταφορές: Απο την απόκλιση στην σύγκλιση.* Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Καλλιβρετάκης, Λ. (2015). Σχεδιάζοντας την Αθήνα τον 19ο αιώνα. Ανάκτηση 5 12, 2022

Μαμάσης, Ν., & Κατσουλάκος, Ν. (2019). *Ενέργεια & Περιβάλλον: Ηλιακή Ενέργεια.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μαντάς, Α. (2009). Προς ενα συνδυασμένο σχεδιασμό του αστικού χώρου και των αστικών μεταφορών. Η περίπτωση της Κοπεγχάγης. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης.

Μονάδα Βιώσιμης Κινητικότητας ΕΜΠ. (n.d.). Τι είναι ένα Σχέδιο Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας (ΣΒΑΚ). Ανάκτηση από https://www.svak.gr/sbak

Μπακογιάννης, Ε. (2018). *Καλές πρακτικές για την προώθηση της Βιώσιμης Αστικής Κινητικότητας.* Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.

Νάθενας, Γ., Κουρμπέλης, Α., Βλαστός, Θ., Κουρουζίδης, Σ., Κατσαρέας, Β., Καραμάνης, Π., . . . Κόκκινος, Ν. (2007). *Απο τα Παμφορεία στο Μετρό : 170 χρόνια Δημόσιες Συγκοινωνίες Αθηνών - Πειραιώς - Περιχώρων.* Αθήνα: Εκδόσεις Μίλητος.

Νόμος Ν.4277. (2014). Νέο Ρυθμιστικό Σχέδιο Αθήνας-Αττικής και άλλες διατάξεις. *ΦΕΚ 156/Α΄/1.08.2014.*

Νόμος Ν.4685. (2020). Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις. *ΦΕΚ 92/Α'/09.5.2020.*

Νόμος Ν.4784. (2021). Η Ελλάδα σε κίνηση: Βιώσιμη Αστική Κινητικότητα Μικροκινητικότητα Ρυθμίσεις για τον εκσυγχρονισμό, την απλούστευση και την ψηφιοποίηση διαδικασιών του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών και άλλες διατάξεις. *ΦΕΚ 40/Α'/16.3.2021.*

Νόμος Ν.4936. (2022). Εθνικός Κλιματικός Νόμος Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος. *ΦΕΚ 105/Α'/27.05.2022.*

Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνινών Αθηνών Α.Ε. (2021). *Έκθεση Πεπραγμένων Διοικητικού Συμβουλίου 2020.* Αθήνα.

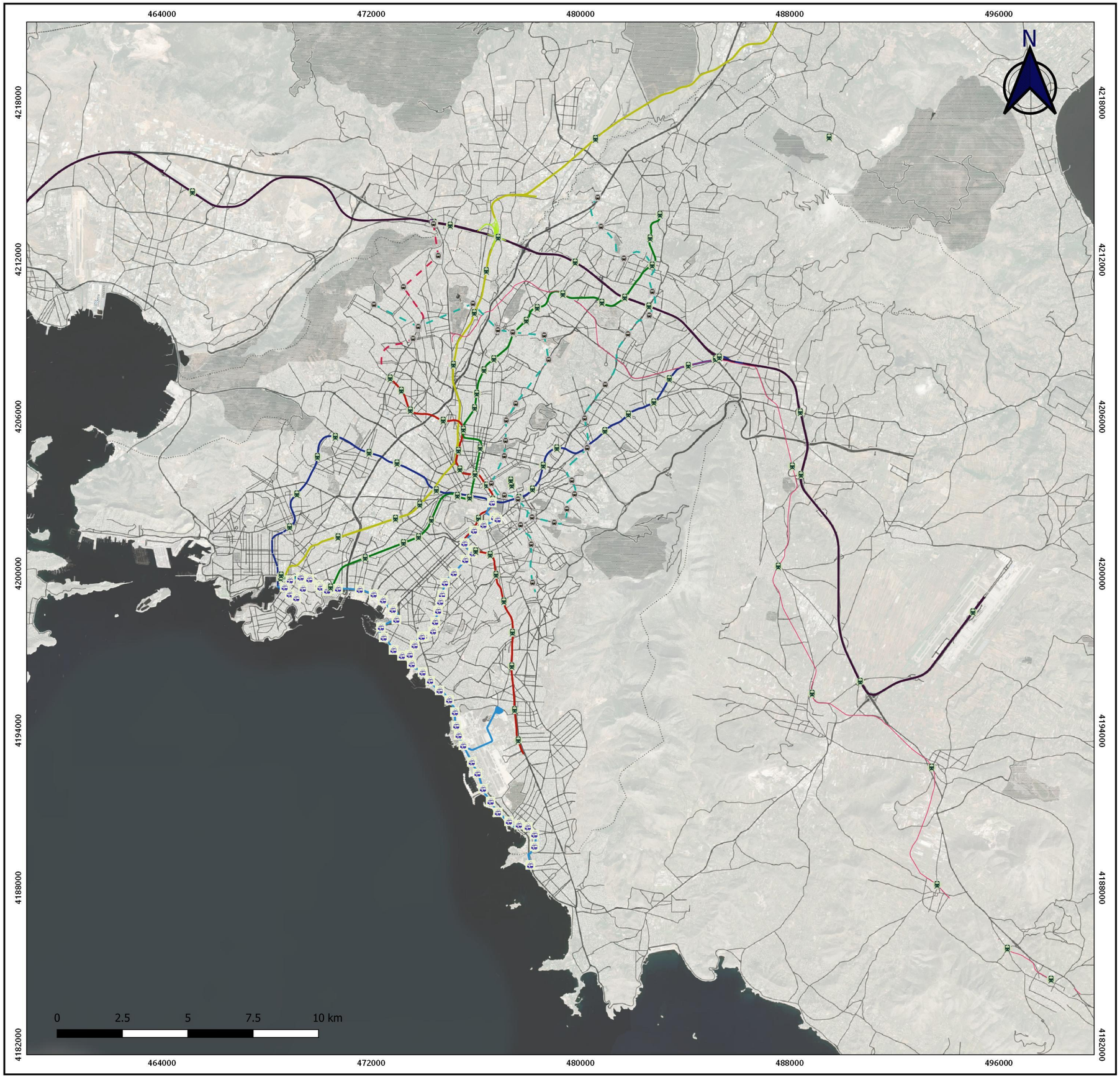
Σαρηγιάννης, Γ. (2000). *Αθήνα 1830-2000: Εξέλιξη – Πολεοδομία – Μεταφορές.* Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Σιόλας, Ά., Βάσση, Α., Βλαστός, Θ., Κυριακίδης, Χ., Μπακογιάννης, Ε., & Σίτη, Μ. (2015). *Μέθοδοι, εφαρμογές και Εργαλεία Πολεοδομικού Σχεδιασμού.* Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Retrieved from www.kallipos.gr

Σίσκας, Σ. (2015). Γεωγραφική ανάλυση και διαχείριση δικτύου δημόσιων αστικών συγκοινωνιών σε περιβάλλον GIS. Η περίπτωση των ηλεκτροκίνητων λεωφορείων (τρόλλεϋ) Αθηνών – Πειραιώς. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών.

Παράρτημα Α

Χάρτης Δικτύων ΜΣΤ της Αθήνας



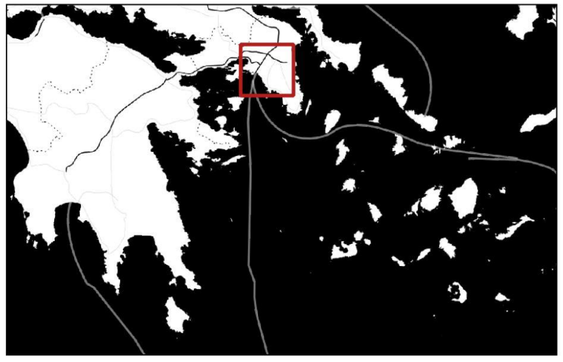
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών
Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λιακόπουλος Παύλος

"Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον αστικό συγκοινωνιακό σχεδιασμό. Η περίπτωση της Αθήνας"

ΧΑΡΤΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΩΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ



Υπόμνημα

Γραμμές δικτύου ΜΣΤ Αττικής

- Μετρό Γραμμή 1 (ΗΣΑΠ)
- Μετρό Γραμμή 2
- Μετρό Γραμμή 3
- Επέκταση Γραμμής 3 (Υπό κατασκευή)
- Μετρό Επέκταση Γραμμής 2 (Υπο μελέτη)
- Μετρό Γραμμή 4
  (Α΄ φάση: δημοπράτηση)
  (Β΄ φάση: μελέτη)
- Διακλάδωση πρώην Τερματικού Σταθμού Ομονοίας (ΣΑΠ)
- Εγκαταλελειμμένη γραμμή Λαυρίου - Αγίων Αναργύρων
- Σιδηροδρομική γραμμή Πειραιά - Θεσσαλονίκης ΟΣΕ
- Σιδηροδρόμων Αεροδρομιο Αθηνων ΟΣΕ
- Σιδηροδρομικό Κέντρο Αχαρνών
- Τραμ Αθήνας

Σταθμοί

- Σταθμός Τραίνου/Μετρό
- Στάση Τραμ
- Προτεινόμενοι σταθμοί νέου δικτύου (υπο μελέτη-δημοπρ/ση)

Κλίμακα 1:100.000 @ A2