

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

## 1.1. Ερευνητικό Πεδίο

Η ενέργεια και οι μεταφορές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της οικονομίας και της κοινωνίας. Οι μεταφορές στο σύνολο τους επιδρούν καταλυτικά στη διαμόρφωση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος καθώς καταναλώνουν περισσότερο από 20% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και ευθύνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό για την ατμοσφαιρική ρύπανση. Είναι ενδεικτικό ότι η οικονομική ανάπτυξη μιας κοινωνίας, η πρόοδος της και η άνοδος του μέσου βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού της, συνδέονται άμεσα με την ενεργειακή χρήση. Η μετάβαση από τη βιομηχανική επανάσταση στην τεχνολογική επανάσταση αναδεικνύει ακόμα περισσότερο το ρόλο της ενέργειας, καθότι το σύνολο των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων εξαρτάται άμεσα από αυτή, δηλαδή η ανάπτυξη ταυτίζεται με μια αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας.

Η ανεξέλεγκτη χρήση των ενεργειακών πόρων, αναδεικνύει πολλά προβλήματα με χαρακτηριστικό το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Η εκπομπή αέριων ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως για παράδειγμα οι μεταφορές αυξάνεται δραματικά τα τελευταία χρόνια οδηγώντας σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Καθώς η δεκαετία του 1990 υπήρξε η θερμότερη που έχει ποτέ καταγραφεί, και λαμβάνοντας υπόψη τα σενάρια της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Μεταβολή [IPCCa] των Ηνωμένων Εθνών, η άνοδος της θερμοκρασίας μέχρι το 2100 εκτιμάται ότι θα κυμανθεί μεταξύ 1,4 και 5,8 °C. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της IPCC η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για το 10% του παγκοσμίου ΑΕΠ, το 22% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης, για το 25% καύσης ορυκτών καυσίμων και για το 30% της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των αερίων του θερμοκηπίου. Σε ότι αφορά την Ελλάδα, με βάση τα στοιχεία από την Εθνική Απογραφή Εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου [EAA, 2007], οι συνολικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, το 2006, ανήλθαν σε 133,11 Mt ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Οι εκπομπές αυτές αντιστοιχούν σε αύξηση κατά 24,6% ως προς το έτος βάσης (1990). Η κατανομή των ισοδύναμων εκπομπών CO<sub>2</sub> αντιστοιχίζεται σε ποσοστό 44% στον κτιριακό τομέα, 21% στις μεταφορές, 28% στη βιομηχανία και 7% στις λοιπές χρήσεις [EAA, 2007].

Οι μεταφορές είναι στενά συνδεδεμένες με την ανάπτυξη σ' έναν κύκλο αλληλεξάρτησης και αλληλεπίδρασης. Ο σημαντικός οικονομικός ρόλος τους έγκειται στο ότι αποδεσμεύουν την κατανάλωση αγαθών από τους γεωγραφικούς περιορισμούς ή ακόμη στο ότι επηρεάζουν την τιμή των προϊόντων στον τόπο της κατανάλωσης. Επιτρέπουν επίσης τη συγκέντρωση της παραγωγής των προϊόντων σε συγκεκριμένες περιοχές, με αποτέλεσμα την εκμετάλλευση οικονομικών κλίμακας στην παραγωγή. Παράλληλα οι μεταφορές αποτελούν καθοριστικό παράγοντα προσδιορισμού των χωρικών κατανομών των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, καθώς μέσω του κόστους και του χρόνου μετακίνησης υπαγορεύουν στην πραγματικότητα το βαθμό συγκέντρωσης του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων του. Οι μετακινήσεις πληθυσμού τόσο από μικρότερα σε μεγαλύτερα αστικά κέντρα όσο και εντός των πόλεων, από τις πυκνοκατοικημένες κεντρικές περιοχές σε αραιότερες περιφερειακές, επηρεάζονται καθοριστικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της δυνατότητας μετακίνησης.

Ειδικότερα για το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών η άνιση ανάπτυξη των διαφορετικών τρόπων μεταφορών, με την κυριαρχία των οδικών μεταφορών έναντι των υπολοίπων, σε συνδυασμό με τη συμφόρηση μεγάλων οδικών και σιδηροδρομικών αξόνων, καθώς και των μεγάλων αστικών κέντρων, έχουν ως αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ποιότητα ζωής. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως καθώς ο τομέας των μεταφορών αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία είναι σημαντικό να είναι ενεργειακά αποδοτικός, να διασφαλίζει και να καλυτερεύει την ποιότητα ζωής, να ενισχύει την οικονομική ανταγωνιστικότητα και να συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος.

Γίνεται αντιληπτό πως οι διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε ενέργεια, οι αστάθμητοι γεωπολιτικοί παράγοντες και η κλιματική αλλαγή, αναδεικνύουν την αναγκαιότητα για την ύπαρξη ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών μακροχρονίου ενεργειακού σχεδιασμού, ο οποίος θα απαντά σε μια σειρά ζητημάτων όπως είναι: (α) η προστασία του περιβάλλοντος και η αντιμετώπιση του φαινόμενου της κλιματικής αλλαγής, (β) η ασφάλεια του ενεργειακού σχεδιασμού και η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών, (γ) η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και η περιφερειακή ανάπτυξη. Η Ε.Ε. έχοντας αντιληφθεί τις εν λόγω προκλήσεις, έχει θέσει ως βασικές αρχές της ενεργειακής της πολιτικής:

- Τη συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο σε ποσοστό 20%
- Τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 20%
- Την εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20% και εν γένει την ορθολογική χρήση της ενέργειας,

- Την προώθηση των επενδύσεων στον τομέα των υποδομών, καθώς εκτιμάται ότι η προσδοκώμενη αύξηση της ζήτησης καθιστά την κατασκευή νέων ενεργειακών υποδομών επιβεβλημένη.

Καθώς οι οδικές μεταφορές αποτελούν τον κυριότερο παράγοντα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, κάθε προσπάθεια μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (climate change mitigation) έχει ως κεντρικό άξονα τις οδικές μεταφορές. Σημειώνεται πως από το 59% της πετρελαϊκής κατανάλωσης στην ΕΕ, το οποίο αποδίδεται στις μεταφορές, το 70% αποδίδεται στις οδικές μεταφορές. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τα μέτρα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνουν μέτρα για την προώθηση καθαρότερων καυσίμων και οχημάτων στις οδικές μεταφορές, η Ε.Ε έχει θέσει ήδη τον στόχο της υποκατάστασης του 20% των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές με εναλλακτικά καύσιμα μέχρι το 2020. Ήδη, μέχρι το 2010, το 5,75% των καυσίμων μεταφορών έπρεπε να αποτελείται από βιοκαύσιμα, (οδηγία 2003/30/ΕΚ), με την ενδεχόμενη προοπτική αύξησης της αναλογίας σε 8% μέχρι το 2015. Στο Χάρτη Πορείας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας προτείνεται ο καθορισμός ενός ελάχιστου δεσμευτικού στόχου για τα βιοκαύσιμα στο 10% όσον αφορά τα καύσιμα οχημάτων μέχρι το 2020. Επιπρόσθετα, προβλέπεται δημιουργία πλαισίου για την μείωση ή απαλλαγή των βιοκαυσίμων ή άλλων εναλλακτικών καυσίμων όπως φυσικό αέριο, υγραέριο από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης στον οποίο υπόκεινται τα συμβατικά υγρά καύσιμα. (Οδηγία 2003/96/ΕΚ). Σύμφωνα με την πρόταση οδηγίας COM(2005) 261, 5.07.2005 για την φορολόγηση επιβατικών οχημάτων ανάλογα με τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, ενθαρρύνεται η αγορά καθαρών και περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων.

Τέλος η πρόταση οδηγίας COM(2005) 634, 21.12.2005 προβλέπει την προώθηση καθαρών οχημάτων οδικής μεταφοράς για τη μείωση των ρύπων με υποχρεωτική ποσόστωση καθαρών οχημάτων "Enhanced environmentally friendly vehicle" ("EEV") (directive 2005/55/EC/20.10.2005) στη προμήθεια βαρέων οχημάτων για φορείς δημόσιας διοίκησης. Οι δημόσιοι οργανισμοί-φορείς θα υπόκειται στην υποχρέωση να διαθέτουν ελάχιστη ποσόστωση 25% των ετήσιων προμηθειών τους (αγορές ή χρηματοοικονομική μίσθωση) οχημάτων άνω των 3,5 τόνων για «βελτιωμένα και σεβόμενα το περιβάλλον οχήματα». Σε ότι αφορά τη στρατηγική της ΕΕ για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στα ελαφρά οχήματα μεταφοράς εμπορευμάτων, θα πρέπει να επιτευχθούν για τα σχετικά καινούργια οχήματα κατά μέσον όρο εκπομπές CO<sub>2</sub> 140 g/km μέχρι το 2008/09 και 120 g/km μέχρι το 2012.

Συνοψίζοντας, οι ενέργειες μετριασμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των οδικών μεταφορών κινούνται προς τις εξής κατευθύνσεις :

- Τεχνικές παρέμβασης σε συμβατικά οχήματα για αύξηση ενεργειακής απόδοσης (π.χ. μείωση βάρους, μείωση αεροδυναμικών απωλειών, αποδοτικά κλιματιστικά, μείωση τριβών

οχήματος και κινητήρα, ανακύκλωση ενέργειας κατά την πέδηση, μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> και καυσαερίων)

- Ανάπτυξη νέων τεχνολογικών και καυσίμων κίνησης (υβριδικά, κυψέλες καυσίμου, ηλεκτρικά)
- Εναλλακτικά καύσιμα (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη κλπ)
- Υλοποίηση μέτρων για βιώσιμη κινητικότητα
- Εκπαίδευση –πληροφόρηση κοινού

Επομένως, η ύπαρξη μιας συγκεκριμένης διαδικασίας βιώσιμου σχεδιασμού ή ενίσχυσης ενός υφιστάμενου Συστήματος Μεταφορών, το οποίο θα λαμβάνει υπόψη την τεχνολογική και, περιβαλλοντική διάσταση, θα συνέβαλλε στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στο σχεδιασμό συστημάτων, τα οποία θα συνδυάζουν την αποδοτική χρήση των ενεργειακών πόρων και την ελεγχόμενη αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον. Η παραπάνω διαδικασία θα μπορεί να ενσωματωθεί στον συμβατικό σχεδιασμό και να εφαρμοστεί τόσο στο στάδιο του αρχικού σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων όσο και σε δεύτερο στάδιο και δεν θα λαμβάνει υπόψη μόνο τα οικονομικά και τα τεχνολογικά/τεχνικά στοιχεία ως τα βασικά δεδομένα για το σχεδιασμό αλλά παράλληλα θα περιλαμβάνει και την περιβαλλοντική παράμετρο. Είναι φανερό πως η ύπαρξη μιας τέτοιας διαδικασίας μπορεί να οδηγήσει σε ένα βιώσιμο σύστημα μεταφορών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η απουσία μιας συνολικής στρατηγικής ανάπτυξης του συστήματος μεταφορών, και η ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου σχεδιασμού και λειτουργίας του συνόλου των μεταφορών στην Ελλάδα, έχει ως αποτέλεσμα την ανεπάρκεια στην υιοθέτηση και εφαρμογή δράσεων καθώς αυτές σχεδιάζονται αποσπασματικά και όχι ολοκληρωμένα. Η παρούσα μελέτη στοχεύει να καλύψει το κενό το οποίο παρουσιάζεται σε αυτό τον τομέα τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό, τοπικό επίπεδο.

Κατά αυτόν τον τρόπο το ερευνητικό πεδίο της παρούσας διατριβής εντοπίζεται στην αναγνώριση ύπαρξης ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο θα υπερβαίνει τις καθιερωμένες τεχνοοικονομικές μεθόδους αξιολόγησης και βελτιστοποίησης των συστημάτων μεταφοράς. Η έννοια του ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου επιδέχεται πλήθος ερμηνειών. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής η έννοια της ολοκληρωμένης αξιολόγησης εντοπίζεται : **(α)** στη διερεύνηση της αποδοτικότητας της χρήσης ενέργειας σε όλου τους υποτομείς που απαρτίζουν τον τομέα των μεταφορών, **(β)** στην επεξήγηση των παραγόντων που ευθύνονται για τη δημιουργία των αερίων του θερμοκηπίου και των αέριων ρύπων στον τομέα των μεταφορών, **(γ)** στην ενσωμάτωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τόσο χρονικά (κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής), όσο και γεωγραφικά (εκπομπές εκτός σημείου λειτουργίας του ενεργειακού συστήματος), **(δ)** στην ανάλυση των μελλοντικών πιθανών καταστάσεων όπως αυτές μπορούν να διαμορφωθούν από την

διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογικών πρόωσης στον τομέα των μεταφορών. Οι παραπάνω άξονες της διατριβής στοχεύουν στη δόμηση και εφαρμογή μιας συνολικής μεθοδολογίας υποστήριξης είτε σχεδιασμού είτε βελτιστοποίησης ενός συστήματος μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την οικονομική βιωσιμότητα, την κοινωνική αποδοχή. Σημειώνεται πως η διερεύνηση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν κατά τη χρήση τόσο συμβατικών όσο και εναλλακτικών καυσίμων στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών, γίνεται σε μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση κύκλου ζωής.

## 1.2. Το Σύστημα Μεταφορών ως Ενεργειακό Σύστημα

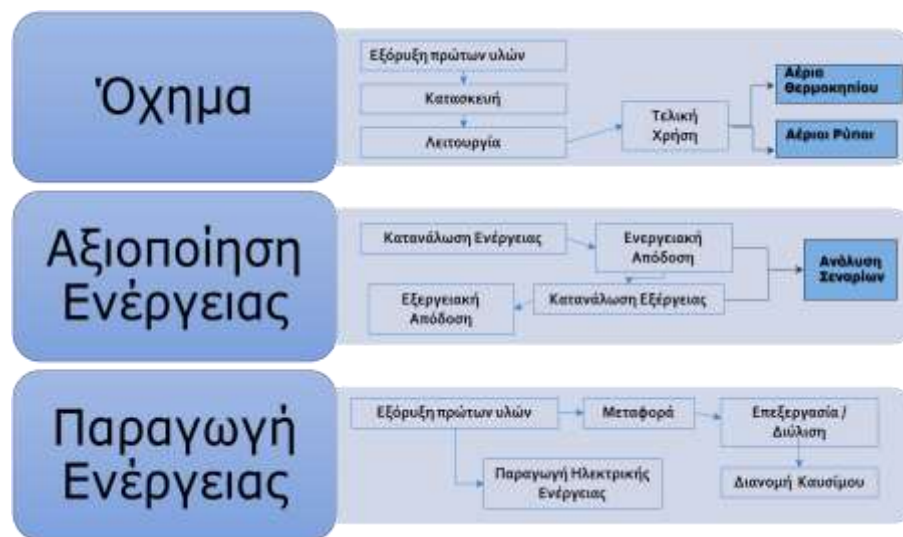
Η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων μορφών ενέργειας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία του κοινωνικού και οικονομικού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα για το μαγείρεμα του φαγητού απαιτείται ενέργεια με μορφή θερμότητας, για την ανάγνωση ενός βιβλίου απαιτείται ενέργεια με μορφή ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος (φως). Η διαθεσιμότητα της κατάλληλης μορφής ενέργειας στον κατάλληλο τόπο και χρόνο επιτυγχάνεται με τα τεχνικά συστήματα, τα οποία εξασφαλίζουν τόσο την μετατροπή της πρωτογενώς διαθέσιμης ενέργειας στην ωφέλιμη μορφή της, όσο και τη μεταφορά και ενδεχομένως την αποθήκευσή της.

Κατά αυτόν τον τρόπο, ως ενεργειακό σύστημα μπορεί να οριστεί η σύνδεση με φυσικό τρόπο των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας σε κάποια συγκεκριμένη μορφή (π.χ. ηλεκτρισμός), των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, των εγκαταστάσεων μεταφοράς και των εγκαταστάσεων διανομής, που λειτουργούν ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Με βάση τα παραπάνω, ο σχεδιασμός ενεργειακών συστημάτων αποτελεί τη διαδικασία επιλογής των απαιτούμενων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών για τη μετατροπή/παραγωγή, μεταφορά και διανομή, με σκοπό την ικανοποίηση συγκεκριμένων ενεργειακών αναγκών [Θεοδοσίου, 2008].

Σημειώνεται πως κατά την μετατροπή μιας διαθέσιμης μορφής ενέργειας σε μια άλλη, δεν προκύπτουν μόνο οι επιθυμητές μορφές αλλά πιθανώς και άλλες ανεπιθύμητες (απώλειες ενέργειας). Οι υπολογισμοί για τις απώλειες ενέργειας βασίζονται στους νόμους της φυσικής, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός, ότι ιδανικές μηχανές και ιδανικά συστήματα μετατροπής ενέργειας δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα, και ότι πάντα συνδέονται με απώλειες. Μια ολοκληρωμένη ανάλυση ενεργειακών συστημάτων χρειάζεται να υπολογίζει τόσο την

ποιότητα της μετατροπής και της μεταφοράς ενέργειας όσο και τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο γίνεται αντιληπτό πως το σύστημα μεταφορών αποτελεί ένα ενεργειακό σύστημα το οποίο έχει σημαντικές επιπτώσεις στο οικονομικό, κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον – τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Το **Διάγραμμα 1.2** παρουσιάζει τους τομείς του ενεργειακού συστήματος, οι οποίοι διερευνώνται, προκειμένου να διαπιστωθούν ελλείψεις, περιθώρια βελτίωσης με στόχο τη χάραξη ενεργειακής πολιτικής, η οποία θα λαμβάνει υπόψη την οικονομική και περιβαλλοντική βελτιστοποίηση και τον μακροχρόνιο σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς και στόχους των οδηγιών της Ε.Ε.



**Διάγραμμα 1.2. Υπό εξέταση ενεργειακό σύστημα μεταφορών**

Έτσι διερευνώνται οι σχέσεις και οι αλληλεπιδράσεις από την παραγωγή της ενέργειας στην αξιοποίηση αυτής καθώς και στην τελική χρήση αυτής από τα οχήματα (**Διάγραμμα 1.2**). Η παραγωγή και η κατανάλωση καυσίμων επηρεάζεται από την τιμή των ενεργειακών πόρων (π.χ. πετρέλαιο), τις γεωπολιτικές αλλαγές, τις διεθνείς εξελίξεις, την πολιτική της αγοράς, την οικονομική ανάπτυξη, τις δομικές οικονομικές αλλαγές και την κοινωνική συμπεριφορά. Επηρεάζεται επίσης και από την ενεργειακή πολιτική, η οποία μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα και την «ποιότητα» (όσον αφορά στη φιλικότητα της προς το περιβάλλον) της παραγωγής και της χρήσης των καυσίμων και να παρέχει οδηγίες σε όλους όσους εμπλέκονται είτε με την παραγωγή ή με τη κατανάλωση τους κατά τη φάση της επιλογής των πηγών ενέργειας.

Το σύστημα μεταφορών αντιμετωπίζεται ως ένα ενεργειακό σύστημα στο οποίο καταγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση, αναγνωρίζονται οι ανάγκες και προτεραιότητες του

επιβατικού κοινού, αξιολογείται η απόδοσή του, παρακολουθείται η διαχρονική εξέλιξη των αέριων ρύπων προκειμένου να ληφθούν μέτρα βελτίωσης, τα οποία θα στοχεύουν στην αποτελεσματικότερη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και στην υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στρατηγικού χαρακτήρα. Η ανάγκη αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής από τον τομέα των μεταφορών και τη χρήση συμβατικών καυσίμων έχει οδηγήσει όλους τους εμπλεκόμενους φορείς στην αναζήτηση τρόπων επίλυσης ή τουλάχιστον περιορισμού της έκτασής του. Γίνεται αντιληπτό πως η πολυπλοκότητα των αποφάσεων ενεργειακού σχεδιασμού εντείνεται με την εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών, οι οποίες χαρακτηρίζονται κατά κανόνα από μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά υψηλά ρίσκα ως προς την τεχνική αποδοτικότητα και την οικονομική τους βιωσιμότητα. Οφείλει επίσης να επισημανθεί η ασάφεια που διακρίνει τα τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά δεδομένα τις μελλοντικές τεχνολογικές και κοινωνικοπολιτικές εξελίξεις, όπως και τις επιμέρους προτεραιότητες ενός μεγάλου αριθμού εμπλεκόμενων μερών. Τα παραπάνω καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή μεθοδολογιών ανάλυσης σεναρίων προκειμένου τα προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού στον τομέα των μεταφορών να επιλυθούν κατά τρόπο βιώσιμο και αμοιβαία αποδεκτό.

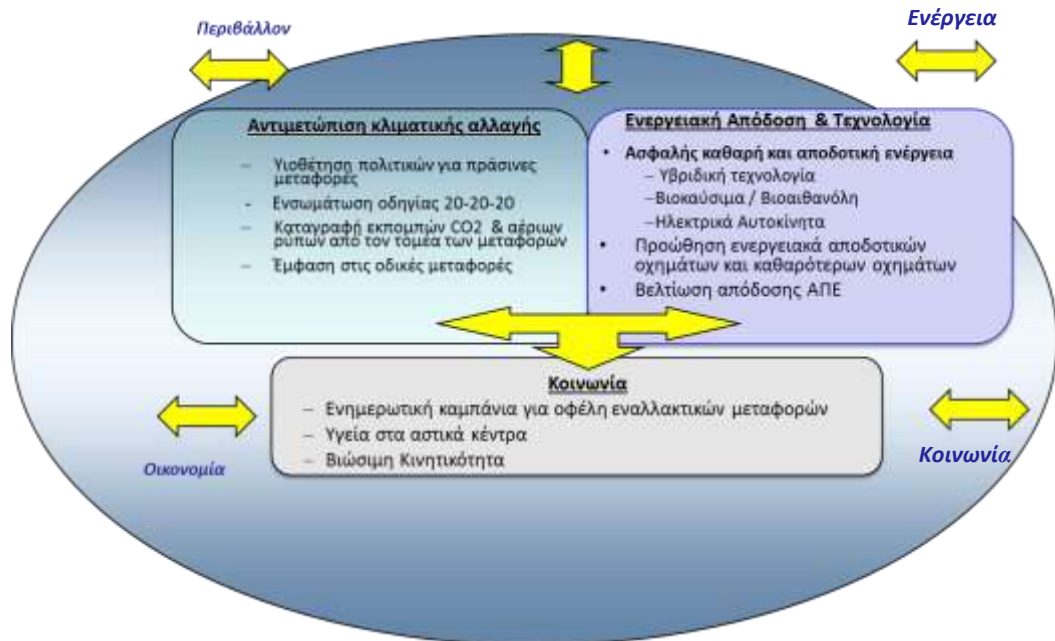
Είναι προφανές ότι η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής και ολοκληρωμένης προσέγγισης στον τομέα των μεταφορών αποτελεί έναν δύσκολο στόχο εξαιτίας της ποικιλίας των σχετικών περιβαλλοντικών προβλημάτων αλλά και της εμπλοκής στις σχετικές διαδικασίες όλων σχεδόν των ομάδων της κοινωνίας, τα συμφέροντα των οποίων δε συμπίπτουν. Για την επίτευξη του στόχου απαιτείται από όλες τις ομάδες αυτές αλλά και από κάθε άτομο χωριστά να εισαγάγουν την περιβαλλοντική διάσταση στις αποφάσεις τους.

### 1.3. Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής

**Σκοπός** της διατριβής είναι η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας για την ολοκληρωμένη περιβαλλοντική αξιολόγηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών με έμφαση στο Σύστημα Οδικών Μεταφορών. Η αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης σε συνδυασμό με την αξιολόγηση τόσο των διαθέσιμων περιβαλλοντικών εργαλείων, όσο και του υπάρχοντος νομοθετικού πλαισίου είναι δύο επιπλέον άξονες στους οποίους εστίασε η διατριβή. Οι παραπάνω άξονες στους οποίους κινείται η παρούσα εργασία αποτυπώνονται στο **Διάγραμμα 1.3**.

Το **αντικείμενο** της προτεινόμενης μεθοδολογίας εντοπίζεται στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τη διαμόρφωση ενός συστήματος μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό

πλαίσιο στοχεύει στην αντιμετώπιση προβλημάτων επιλογής τεχνολογιών κατά τον ενεργειακό σχεδιασμό σε επίπεδο μακροκλίμακας (διαμόρφωση ενεργειακής πολιτικής) και μέσης κλίμακας (διερεύνηση μελλοντικής κατάστασης από την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών).



*Βιώσιμη Ανάπτυξη*

*Βιώσιμη Ανάπτυξη*

**Διάγραμμα 1.3. Άξονες Διδακτορικής Διατριβής**

Ο **κύριος στόχος** της προτεινόμενης προσέγγισης αφορά τη διατύπωση μιας μεθοδολογίας ολοκληρωμένης αξιολόγησης συστημάτων μεταφορών. Η δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου σε οποιοδήποτε σύστημα μεταφορών μπορεί να θεωρηθεί ως μια βιώσιμη λύση για ένα σύστημα μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η γενική στόχευση αναλύεται στις παρακάτω επιμέρους επιδιώξεις (κατά σειρά εφαρμογής μεθοδολογίας):

- Αποσαφήνιση του πλαισίου λειτουργίας του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Συνοπτική καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, καταγραφή μεταφορικού έργου, ιεράρχηση και αξιολόγηση της τρωτότητας των στοιχείων λειτουργίας του.
- Καθορισμός της ενεργειακής απόδοσης των εξεταζόμενων συστημάτων μέσω εξεργειακής ανάλυσης
- Ο εντοπισμός των σημείων στο οποίο το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών χρειάζεται βελτίωση.



- Διερεύνηση των καταλυτικών αλληλεπιδράσεων και αλληλεξαρτήσεων των τομέων που επιδρούν στη δημιουργία ατμοσφαιρικής ρύπανσης και συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου από το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών. Εκτίμηση επιπτώσεων.
- Κάλυψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συνολικού κύκλου ζωής των εξεταζόμενων ενεργειακών πόρων. Ο κύκλος ζωής της χρήσης συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή κινητικής ενέργειας στον τομέα των μεταφορών έχει ως αποτέλεσμα σχετικές και πολλές φορές σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η διεργασία της καύσης οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων και αποβλήτων που απελευθερώνονται στον αέρα, ενώ αντίστοιχη εκπομπή ρύπων και παραγωγή αποβλήτων (διαφορετικού μεγέθους) προκύπτει και από τα υπόλοιπα στάδια του κύκλου ζωής.
- Συνδυασμός των τριών «ροών πληροφορίας» (τεχνική – περιβαλλοντική – οικονομική) μέσω της μεθοδολογίας της ανάλυσης σεναρίων για το μετριασμό των επιπτώσεων (mitigation) των αερίων του θερμοκηπίου και των αερίων ρύπων στον τομέα των μεταφορών. Διερεύνηση της μελλοντικής κατάστασης με την εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών, εναλλακτικών καυσίμων και μέτρων τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών οφελών και ανάδειξη της καλύτερης τεχνολογικής, περιβαλλοντικής και οικονομικής λύσης για την Ελληνική πραγματικότητα με στόχο την από-ανθρακοποίηση (decarbonisation) του συστήματος μεταφορών.

## 1.4. Δομή Διατριβής

Η διδακτορική διατριβή έχει οργανωθεί σε τρία επίπεδα. Σε πρώτο επίπεδο καταγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος και του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών καθώς επίσης και οι δυνατότητες που παρουσιάζουν τα εναλλακτικά καύσιμα και οι καινοτόμες τεχνολογίες πρόωσης. Σε δεύτερο επίπεδο γίνεται ανασκόπηση των ερευνών με πεδίο την εξεργειακή ανάλυση, την ατμοσφαιρική ρύπανση, τη στατιστική ανάλυση, την Ανάλυση Κύκλου Ζωής και την ανάλυση σεναρίων. Σε τρίτο επίπεδο αναπτύσσεται η έρευνα που διεξήχθη στο πλαίσιο της διατριβής. Τα τρία αυτά μέρη αναπτύσσουν σχέσεις συνέργειας μεταξύ τους, τροφοδοτώντας το ένα το άλλο με κρίσιμα στοιχεία και συμπεράσματα **Διάγραμμα 1.4** .



Διάγραμμα 1.4. Πλαίσιο Διαμόρφωσης Διδακτορικής Διατριβής

Αναλυτικότερα, στο εισαγωγικό **πρώτο κεφάλαιο** ορίζεται το ερευνητικό πεδίο που εντάσσεται η παρούσα διατριβή και παρουσιάζονται το αντικείμενο, οι στόχοι και το γενικό πλαίσιο των μεθοδολογιών (Εξεργειακή Ανάλυση- Ανάλυση Κύκλου Ζωής - ΑΚΖ και Ανάλυση Σεναρίων) που συνδέονται άμεσα – με διαφορετικό ωστόσο τρόπο – με την έννοια της ολοκληρωμένης αξιολόγησης ενεργειακών τεχνολογιών. Παρουσιάζονται επίσης οι επιμέρους στόχοι, τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα καθώς και το μεθοδολογικό πλαίσιο προσέγγισης και αναλύονται οι περιορισμοί της κλασικής αξιολόγησης συστημάτων μεταφοράς ενώ παρουσιάζεται συνοπτικά το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης. Ο συνδυασμός των παραπάνω μεθοδολογιών αποτελεί τον κορμό του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για τον σχεδιασμό ενός συστήματος μεταφορών εκπομπών χαμηλού άνθρακα.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το ενεργειακό προφίλ της Ελλάδας και δίνεται έμφαση στους ενεργειακούς πόρους που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα στον τομέα των μεταφορών. Γίνεται καταγραφή των ενεργειακών αναγκών του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρατίθενται στοιχεία που αφορούν όλους τους τομείς του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών (οδικές, σιδηροδρομικές, αέριες και θαλάσσιες) όπου

καταγράφονται οι διαχρονικές τάσεις ζήτησης και εξέλιξης αυτών. Τα κεφάλαια ολοκληρώνονται με τα συμπεράσματα και την βιβλιογραφία (ελληνική και ξενόγλωσση).

Ακολουθεί το **τέταρτο κεφάλαιο** όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα εναλλακτικά καύσιμα καθώς και οι διαθέσιμες τεχνολογίες οχημάτων πρόωσης. Η διάθεση των εναλλακτικών καυσίμων εκτιμάται σε σχέση με τις περαιτέρω βελτιώσεις των συμβατικών καυσίμων που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο εγγύς μέλλον. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι διεργασίες παραγωγής βιοκαυσίμων (από ηλίανθο και ελαιοκράμβη), καθώς και το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο. Παράλληλα γίνεται παρουσίαση των διαθέσιμων τεχνολογιών υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία της εξεργειακής ανάλυσης, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση της μεθόδου και διαπιστώνεται η έλλειψη εφαρμογής της στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών. Μετά από αυτή τη διαπίστωση κρίνεται αναγκαίο να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία, προκειμένου να διερευνηθεί η απόδοση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Η εφαρμογή της μεθόδου ρίχνει φως στους παράγοντες διαμόρφωσης και τις δυναμικές εξέλιξης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, αναδεικνύοντας το σημαντικό ρόλο των οδικών μεταφορών. Ακολουθούν τα συμπεράσματα και η σχετική βιβλιογραφία.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του περιβάλλοντος που προκαλείται από τον κύκλο ζωής των συμβατικών ενεργειακών πόρων κατά τη χρήση τους για παραγωγή κινητικής ενέργειας στα οχήματα. Στις αρχικές παραγράφους παρατίθενται γενικά στοιχεία για την ατμοσφαιρική ρύπανση, τον τρόπο δημιουργίας της και τη συμβολή των οδικών μεταφορών. Γίνεται σύντομη ανασκόπηση της μεθοδολογίας της στατιστικής ανάλυσης και της συμβολής της στη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων της οικονομίας, κοινωνίας και του περιβάλλοντος στη δημιουργία αερίων του θερμοκηπίου και αερίων ρύπων ενώ στο κύριο μέρος του κεφαλαίου εφαρμόζεται η μεθοδολογία της στατιστικής ανάλυσης στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και τη βιβλιογραφία.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι Eco-Indicator 99 και Eco-Indicator 95, με τις οποίες γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογίας AKZ, που χρησιμοποιείται εδώ προσαρμοσμένη στο σύστημα οδικών μεταφορών και επεξηγείται ο λόγος για τον οποίο έγινε η επιλογή για τη χρήση των συγκεκριμένων μεθόδων. Παράλληλα γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση στη μεθοδολογία της AKZ όπου και διαπιστώνεται το κενό αξιοποίησης της μεθόδου σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους για τη βελτιστοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Στο **όγδοο κεφάλαιο** αναφέρονται οι παραδοχές που έγιναν για την διεξαγωγή της AKZ, καθορίζονται τα όρια των συστημάτων που εξετάζονται, τα οποία θα ορίζουν και το εύρος της ανάλυσης και καταγράφεται η εκπομπή ρύπων

ολόκληρου του κύκλου ζωής των ενεργειακών πόρων (τόσο συμβατικών όσο και εναλλακτικών) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κινητικής ενέργειας, με αντιπροσωπευτικά στοιχεία για την Ελλάδα. Γίνεται χρήση και επεξεργασία των στοιχείων που παρατίθενται σε συνδυασμό με αυτά που καταγράφονται στο **κεφάλαιο 7** και διεξάγεται η ΑΚΖ με σκοπό την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής των ενεργειακών πόρων. Συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα και συμπεράσματα και παρατίθεται η σχετική ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία.

Στην εισαγωγική παράγραφο του **ένατου κεφαλαίου** γίνεται αναφορά στην μεθοδολογία της ανάλυσης σεναρίων και παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά, οι τύποι σεναρίων καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου. Στο κύριο μέρος εφαρμόζεται η μεθοδολογία της ανάλυσης σεναρίων στο σύστημα μεταφορών της Ελλάδας και της Αθήνας. Εξετάζονται δυο συστήματα μεταφορών, στη πρώτη περίπτωση διερευνάται η διείσδυση καινοτόμων τεχνολογιών (υβριδικών, ηλεκτρικών οχημάτων) στο σύστημα μεταφορών της Ελλάδας λαμβάνοντας υπόψη οικονομικά, τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται εφαρμογή της μεθόδου προκειμένου να εξετασθεί η διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων στο σύστημα μεταφορών της Αθήνας. Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα και συμπεράσματα. Στο τέλος παρατίθεται η σχετική ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία.

Στο **δέκατο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που συνάγονται από την ολοκλήρωση της μελέτης και την κριτική αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των σχετικών αποτελεσμάτων. Συνοψίζονται τα οφέλη, η συνεισφορά και οι περιορισμοί της μεθοδολογίας καθώς και η πρωτοτυπία και η συνεισφορά της προτεινόμενης μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Η αρχική παράγραφος εστιάζει στις δυο βασικές μεθόδους των οποίων ο συνδυασμός αποτελεί τον πυρήνα της προτεινόμενης προσέγγισης. Ακολουθεί ο σχολιασμός της μεθοδολογίας συνδυασμένης αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα και ευρήματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, τα στοιχεία πρωτοτυπίας καθώς και ενδεικτικές δημοσιεύσεις. Στην κατακλείδα του κεφαλαίου προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

## 1.5. Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός- Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Το γενικό πλαίσιο των μεθοδολογιών (Εξεργειακή Ανάλυση, Στατιστική Ανάλυση, Ανάλυση Κύκλου Ζωής - ΑΚΖ και Ανάλυση Σεναρίων) που συνδέονται άμεσα – με

διαφορετικό ωστόσο τρόπο – διαμορφώνει το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση περιλαμβάνει μακροπρόθεσμα στρατηγικά οράματα και συνδέει διαφορετικές πολιτικές σε διαφορετικά διοικητικά επίπεδα, προκειμένου να διασφαλιστεί η συνοχή. Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός ενός συστήματος μεταφορών συνεπάγεται την κοινή αντιμετώπιση συναφών ζητημάτων, όπως είναι ο ολοκληρωμένος χωροταξικός σχεδιασμός, η οικονομική ευημερία και ανταγωνιστικότητα, η κοινωνική ενσωμάτωση και η περιβαλλοντική προστασία. Για παράδειγμα, η εφαρμογή μιας κοινοτικής νομοθεσίας που αφορά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στις πόλεις έχει αντίκτυπο όχι μόνο στον έλεγχο της ρύπανσης και τη διαχείριση της κυκλοφορίας, αλλά απαιτεί επίσης συνδυασμένες προσπάθειες όσον αφορά τη διαχείριση των μεγάλων και μικρών αστικών κέντρων, τον χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό, τις επιπτώσεις στην υγεία και την κοινωνική δικαιοσύνη (λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες θιγόμενες κοινωνικές ομάδες και τις δυσανάλογες επιβαρύνσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων).

Ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός χαρακτηρίζεται από τη στρατηγική διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όλων των δραστηριοτήτων στο πλαίσιο ενός ολόκληρου τομέα δραστηριοτήτων μιας πολιτικής αρχής και/ή μιας οικοδομημένης πόλης. Η προσέγγιση βασίζεται στη διατμηματική και τομεακή συνεργασία, τη δέσμευση μαζί με όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη και την ολοκλήρωση τοπικών, περιφερειακών και εθνικών πολιτικών. Ο παραπάνω σχεδιασμός απαιτεί μια ολιστική, συγκροτημένη και προσεκτικά μελετημένη προσέγγιση, η οποία θα αναγνωρίζει τις βασικές προκλήσεις, θα εκτιμά την ισχύουσα κατάσταση, θα θέτει στόχους πολιτικής, θα αξιολογεί τις διαθέσιμες επιλογές πολιτικής, θα δεσμεύεται μαζί με τα ενδιαφερόμενα μέρη και θα οδηγεί στην υλοποίηση αποτελεσματικών πολιτικών.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας η έννοια του ολοκληρωμένου σχεδιασμού εντοπίζεται κυρίως στη δόμηση και εφαρμογή ενός συνολικού μεθοδολογικού πλαισίου με στόχο την αξιολόγηση και βελτιστοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, την τεχνική αποδοτικότητα και την οικονομική βιωσιμότητα. Ο συνδυασμός των παραπάνω μεθοδολογιών αποτελεί τον κορμό της προτεινόμενης μεθοδολογίας συνδυασμένης αξιολόγησης που παρουσιάζεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο υιοθετεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη σχέση του συστήματος μεταφορών με το περιβάλλον σε τρία επίπεδα: **(α)** Το σύστημα εξετάζεται συνολικά. Όλα τα στοιχεία που χρειάζεται το σύστημα μεταφορών για να αναπτύξει τη λειτουργία του λαμβάνεται υπόψη (**Διάγραμμα 1.2**), **(β)** εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων (συμβατικά ή εναλλακτικά καύσιμα και καινοτόμες τεχνολογίες) καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν προκύπτουν

μόνο κατά την καύση του ενεργειακού πόρου, αλλά από ολόκληρο τον κύκλο ζωής, ο οποίος περιλαμβάνει την απόκτηση, την επεξεργασία και τη μεταφορά των πρώτων υλών μέχρι και τη διανομή αυτών στα πρατήρια. (γ) ακολουθείται μια προσέγγιση η οποία εξετάζει όλες τις διαφορετικές περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις που μπορούν να δημιουργηθούν στο σύστημα από τη διείσδυση εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών.

Η ορθολογική διαχείριση των ενεργειακών πόρων, η αποδοτική και η σωστή χρήση τους σε ότι αφορά στην αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον, αποτελεί ένα βασικό ζήτημα για τις προσπάθειες μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς η αποδοτικότητα συνδέεται και με την παραγωγή ρύπων και αποτελεί κατά κάποιο τρόπο ένα δείκτη για την περιβαλλοντική απόδοση κάποιου συστήματος. Περισσότερο αποδοτικά Συστήματα Μεταφορών (είτε αυτό σημαίνει καλύτερος σχεδιασμός, είτε συνδυασμός τεχνολογιών ή εφαρμογή καλύτερων τεχνολογιών μείωσης και πρόληψης της ρύπανσης) ή/και χρήση τεχνολογιών με παραγωγή ελάχιστων ή καθόλου ποσοτήτων ρύπων θα συμβάλουν λιγότερο στα διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα [Graedel and Allenby, 1995]. Η έννοια της εξέργειας επιτρέπει να προσδιοριστεί η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για να χρησιμοποιηθεί από ένα σύστημα καθώς αντιπροσωπεύει το διαθέσιμο προς εκμετάλλευση ποσό ενέργειας ενός συστήματος από το περιβάλλον (π.χ. το ποσό του έργου που μπορεί να παράγει ένα μηχανικό σύστημα στο περιβάλλον του). Η εξέργεια ενός συστήματος αντιπροσωπεύει το μέγιστο δυνατό έργο κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας που φέρνει το σύστημα σε «θερμική» ισορροπία με το περιβάλλον. Έτσι η εφαρμογή της **εξεργειακής ανάλυσης** σε συγκεκριμένες διεργασίες του συστήματος μεταφορών βοηθά στον εντοπισμό των μη αποδοτικών διεργασιών και συνεπώς στη λήψη κατάλληλων ενεργειών βελτίωσης ή αντικατάστασης τους.

Η εφαρμογή της **στατιστικής ανάλυσης** παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης των σύνθετων και πολύπλοκων αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων των τομέων που συμβάλλουν στη διαμόρφωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπρόσθετα παρέχει δυνατότητες μελέτης διαφορετικών φαινομένων, που σχετίζονται με τις οδικές μεταφορές, το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία.

Η σύγκριση υλικών και διεργασιών προκειμένου να προσδιοριστεί το βέλτιστο από περιβαλλοντικής άποψης δεν είναι καθόλου εύκολη. Πώς μπορεί κανείς να αποφασίσει για το κατά πόσο μία διεργασία ενός ενεργειακού συστήματος είναι φιλική προς το περιβάλλον αν δεν λάβει υπόψη όλες τις εισροές και εκροές; Απαραίτητο όργανο για μια τέτοια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος αυτού είναι η ΑΚΖ. Η ανάλυση κύκλου ζωής - ΑΚΖ (Life Cycle Analysis) ή LCA όπως επικράτησε στη διεθνή βιβλιογραφία αποτελεί μία σχετικά νέα επιστημονική μέθοδο, η οποία αναπτύχθηκε για να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των οξυμένων, τα τελευταία χρόνια, περιβαλλοντικών προβλημάτων. Σκοπός της είναι να

εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται με μια δεδομένη δραστηριότητα που εξετάζεται (π.χ. προϊόν, διεργασία κ.λπ.) καθ' όλο τον κύκλο που διαγράφει από την γέννηση έως το θάνατό της (από την παραγωγή ως την απόρριψη) [Vigon et al 1993]. Η εφαρμογή της AKZ σε ένα σύστημα βοηθά να αναγνωριστούν τα κρίσιμα σημεία, τα οποία χρειάζονται βελτίωση και επίσης βοηθά να γίνει σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών. Η μεθοδολογία της AKZ έχει αποκτήσει ευρεία αποδοχή ως μια μέθοδος που επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την αποτίμηση και υπολογισμό των επιλογών βελτίωσης, από την αρχή μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής κάποιου ενεργειακού συστήματος. Ιστορικά, η AKZ έχει εφαρμοστεί κυρίως σε προϊόντα και συστήματα προϊόντων. Παρόλα αυτά στη πρόσφατη βιβλιογραφία υπάρχουν εισηγήσεις ότι μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση των πιο βιώσιμων επιλογών στην επιλογή, στο σχεδιασμό και στη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων, στη προκειμένη περίπτωση, συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [Benetto, Rousseaux and Blondin, 2004; Azapagic, 1999; Keoleian, 1993; Azapagic and Clift, 1999; Khan, Sadiq and Husain, 2002; Lombardi, 2002; Alexander, Barton, Petrie and Romagnoli, 2000]. Αναλυτικά η σχετική βιβλιογραφική διερεύνηση της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο **κεφάλαιο 7**.

Η μεθοδολογία της **ανάλυσης σεναρίων** αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την αποτίμηση είτε των μελλοντικών επιπτώσεων που θα έχουν τα τρέχοντα περιβαλλοντικά προβλήματα, ή την μελλοντική εμφάνιση νέων προβλημάτων. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας ανάλυσης σεναρίων στη παρούσα εργασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων καθώς οργανώνει την επικοινωνία μεγάλων ποσοτικά και σύνθετων πληροφοριών. Επιπρόσθετα εντοπίζονται κενά, ασυνέπειες, διλήμματα, αβεβαιότητες και αοριστίες ενώ εξερευνώνται νέες πιθανότητες. Η μεθοδολογία της ανάλυσης σεναρίων αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη νοερή απεικόνιση των διαφορετικών αλληλεπιδράσεων που μπορεί να προκύψουν από τη διερεύνηση ενός περιβαλλοντικού θέματος καθώς επίσης και των μεγάλων χρονικών και χωρικών κλιμάκων που αυτό επηρεάζει. Κατά αυτόν τον τρόπο η μεθοδολογία έχει σημαντική αξία για τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη χάραξη ενεργειακής πολιτικής. Μέσα από την ανάλυση σεναρίων δίνεται μια εικόνα μελλοντικών εναλλακτικών καταστάσεων του περιβάλλοντος κατά την απουσία πρόσθετων περιβαλλοντικών πολιτικών. Με αυτό τον τρόπο τα σενάρια γίνονται το εργαλείο που διευκρινίζει τις επιδράσεις της κοινωνίας και του φυσικού περιβάλλοντος και επισημαίνουν την ανάγκη για την εφαρμογή περιβαλλοντικών πολιτικών προκειμένου να αποφευχθούν αυτές οι επιδράσεις.

Η ανάλυση σεναρίων στη παρούσα μελέτη ενσωματώνει την έννοια της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης, η οποία αποτελεί ένα νέο σχετικά πεδίο στην διαδικασία λήψης αποφάσεων με τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά σενάρια να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για την

εξερεύνηση πολύπλοκων θεμάτων. Η πολυπλοκότητα ουσιαστικά σημαίνει ότι σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα χρειάζεται να ερευνηθούν από πολλές οπτικές γωνίες, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός πως οι διαδικασίες σε παγκόσμιο και διεθνές επίπεδο όλο και περισσότερο παρεμβαίνουν σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Επιπρόσθετα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η τεχνολογική ανάπτυξη. Δύο ακόμη σημαντικά στοιχεία είναι η χρονική επιτάχυνση η οποία προκαλεί βραδύτερη χρονική εναλλαγή σε όλων των ειδών τις διαδικασίες και αύξηση της γνώσης ειδικά σε συσχέτιση με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών διαδικασιών [Rotmans 1998]. Ο κύριος στόχος της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης είναι η υποστήριξη διαδικασιών λήψης απόφασης με την ανάπτυξη αμοιβαίου πλαισίου για την αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών προσδιοριστών και επιδράσεων [Rotmans and de Vries 1997]. Για να συνδυάσουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες αναφορικά με την μελλοντική εξέλιξη ενός περιβαλλοντικού προβλήματος.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο η μεθοδολογία της ανάλυσης σεναρίων στο σύστημα μεταφορών επιδεικνύει την σθεναρότητα των περιβαλλοντικών πολιτικών κάτω από διαφορετικές μελλοντικές καταστάσεις, εγείρει την κοινωνική ενημέρωση σχετικά με την εμφάνιση νέων ή την ένταση των περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσα στις επόμενες δεκαετίες και ενεργεί ως μια σημαντική γέφυρα μεταξύ της περιβαλλοντικής επιστήμης και της πολιτικής.

## 1.6. Στρατηγικό Σχέδιο Εφαρμογής Μεθοδολογικού Πλαισίου

Η διαδικασία του συμβατικού σχεδιασμού μπορεί να προσαρμοστεί στο παραπάνω προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο με την ενσωμάτωση μερικών απλών αλλαγών. Το πλαίσιο αυτό των αλλαγών εξαρτάται από τους στόχους που θέτονται. Η σχέση ανάμεσα στις καινοτόμες πτυχές του σχεδιασμού και της συμβατικής διαδικασίας ανάπτυξης του συστήματος μεταφορών (Διάγραμμα 1.6.α) επεξηγούνται παρακάτω:

- **Αξιολόγηση ενεργειακών απαιτήσεων και ενεργειακής απόδοσης.** Οι ενεργειακές ανάγκες σε συνδυασμό με την ενεργειακή απόδοση του συστήματος μπορούν να αποτυπωθούν με την ενεργειακή και εξεργειακή ανάλυση του συστήματος μεταφορών. παράγοντες-κίνητρα για τη διαδικασία του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου και τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν. Η ενεργειακή και εξεργειακή αξιολόγηση του συστήματος μεταφορών που θα σχεδιαστεί ή θα βελτιστοποιηθεί είναι χρήσιμη για να επιτρέψει την εστίαση στις περιοχές βελτίωσης.

- **Πλαίσιο εφαρμογής ολοκληρωμένου σχεδιασμού.** Η κύρια διαφορά με το πλαίσιο του συμβατικού σχεδιασμού είναι ο συνυπολογισμός της ενεργειακής, οικονομικής και

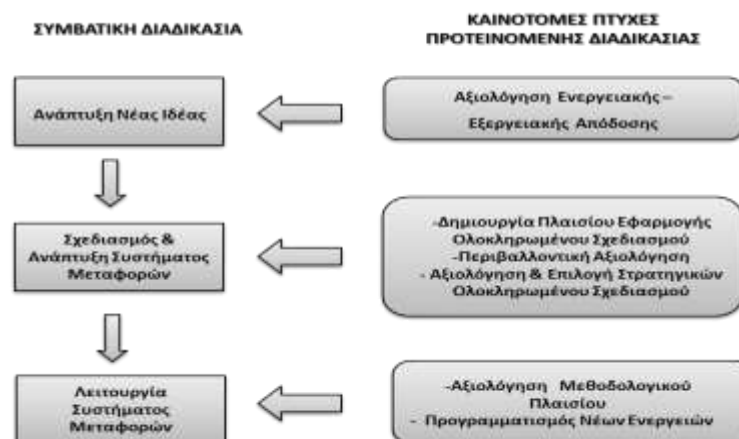


περιβαλλοντικής παραμέτρου. Οι αλληλεξαρτήσεις και οι αλληλεπιδράσεις όλων των τομέων αποτυπώνονται μέσα από τη στατιστική ανάλυση. Τα κύρια στοιχεία του νέου αυτού πλαισίου είναι η αναλυτική περιβαλλοντική αξιολόγηση και η αξιολόγηση κατά την επιλογή των στρατηγικών του σχεδιασμού.

- **Περιβαλλοντική αξιολόγηση.** Κατά την ανάπτυξη του νέου ενεργειακού συστήματος διεξάγονται διάφορες περιβαλλοντικές αξιολογήσεις για να αναγνωριστούν τα κρίσιμα σημεία που χρειάζονται βελτίωση ή να συγκριθούν οι εναλλακτικοί διαθέσιμοι ενεργειακοί και τεχνολογικοί πόροι. Η εφαρμογή της ανάλυσης κύκλου ζωής τροφοδοτεί το σύστημα με τα απαραίτητα κίνητρα για την ενεργοποίηση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.

- **Στρατηγικές ολοκληρωμένου σχεδιασμού.** Στο στάδιο αυτό οι περιβαλλοντικές πτυχές μπαίνουν σε εφαρμογή με σχεδιαστικές ενέργειες. Ανάλογα με τον τύπο του ενεργειακού συστήματος, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις διαθέσιμες τεχνολογίες μερικές συγκεκριμένες στρατηγικές σχεδιασμού μπορεί να είναι καταλληλότερες σε σχέση με κάποιες άλλες.

- **Αξιολόγηση και διερεύνηση μελλοντικών αποτελεσμάτων προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.** Η διερεύνηση των πιθανών αποτελεσμάτων από τη συνολική διαδικασία μπορεί να φανεί χρήσιμη για μελλοντικές βελτιώσεις. Επιπλέον, η αξιολόγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προγραμματιστούν οι μελλοντικές περιβαλλοντικές ενέργειες και η απεικόνιση των μελλοντικών καταστάσεων. Μια τέτοια ανάλυση προσφέρει ένα σύνολο από εναλλακτικές βέλτιστες λύσεις που συνδυάζουν την οικονομική, την τεχνική και τη περιβαλλοντική πτυχή κατά τον αρχικό σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων σε ότι αφορά το σχεδιασμό ενός ενεργειακού συστήματος.

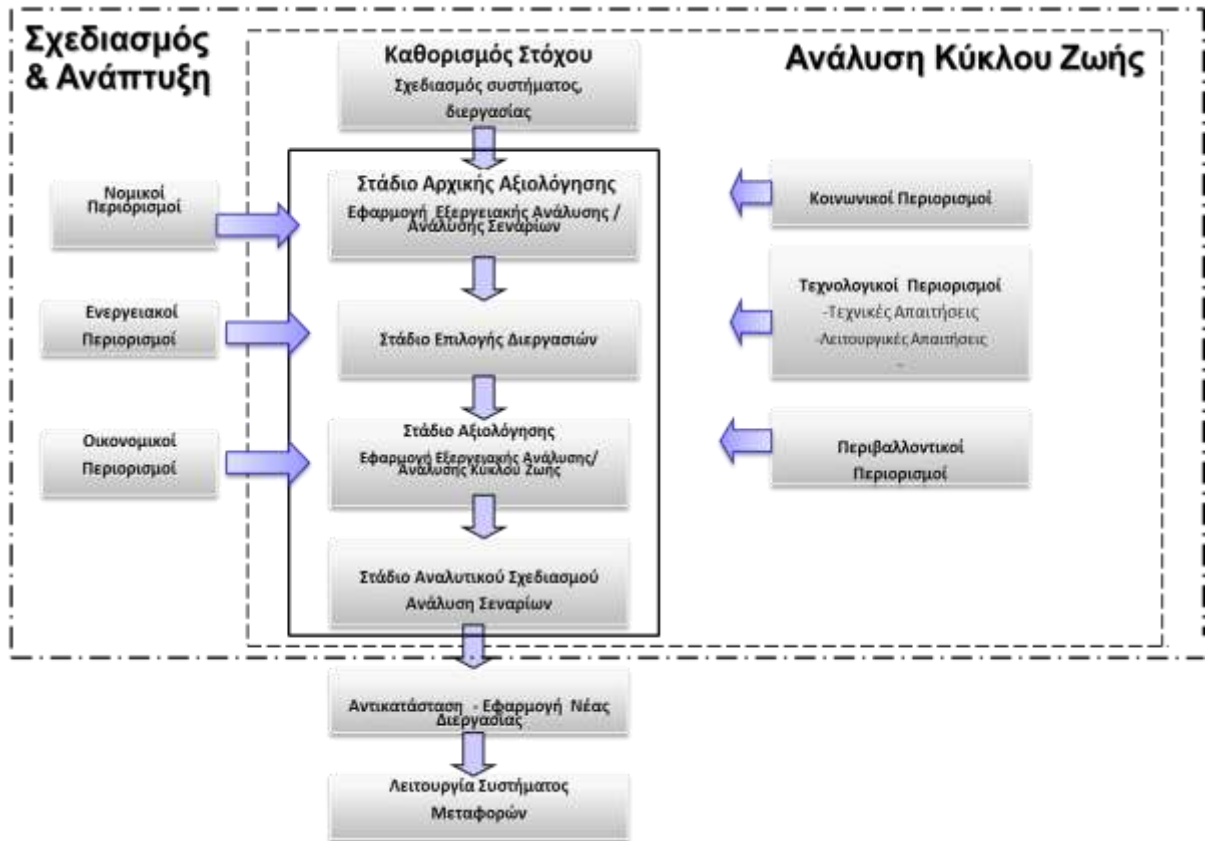


Διάγραμμα 1.6.α. Κύριες πτυχές συμβατικής και προτεινόμενης διαδικασίας σχεδιασμού Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών

Σημειώνεται πως η αποκλειστική χρήση εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών πρόωσης στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών αν και φαίνεται να δίνει απάντηση στο πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των αερίων του θερμοκηπίου εξαιτίας της χαμηλότερης παραγωγής ρύπων, δεν αποτελεί τη λύση στο πρόβλημα, καθώς κάτι τέτοιο (τουλάχιστον μέχρι σήμερα) έχει τεχνολογικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Παρά τα πιθανά οφέλη, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί στην πράξη να αποδειχθεί αρκετά πολύπλοκο ή πολύ δαπανηρό για να εφαρμοστεί. Τα κύρια σημεία που χρειάζονται προσοχή για τη σωστή εφαρμογή του είναι :

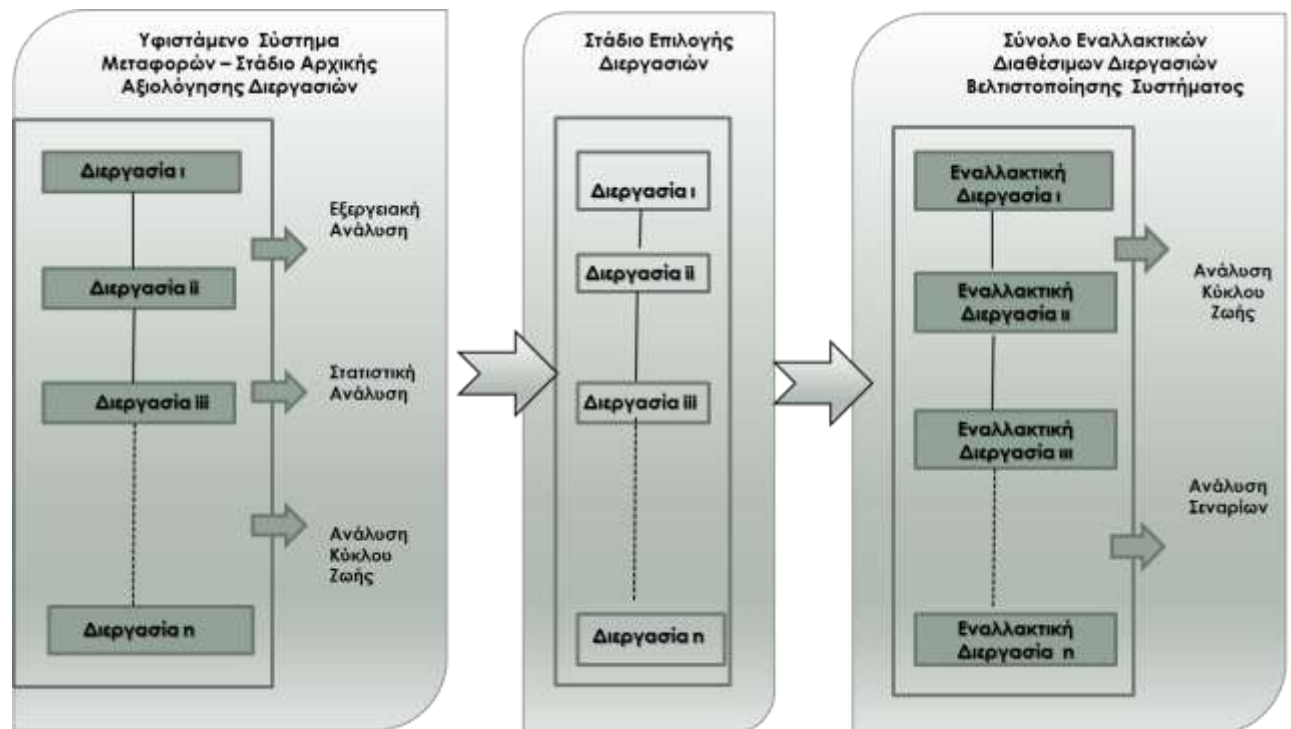
- Θέσπιση ρεαλιστικών στόχων που πρέπει να επιτευχθούν σταδιακά βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα.
- Εξασφάλιση της ενσωμάτωσης των περιβαλλοντικών, τεχνολογικών και οικονομικών παραμέτρων
- Υιοθέτηση της φιλοσοφίας του κύκλου ζωής για τη βελτίωση της γενικής περιβαλλοντικής απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων, μαθαίνοντας για τις συνέπειες των αλλαγών στο σχεδιασμό και αποφεύγοντας την πιθανή μετάθεση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Απόκτηση αξιόπιστων και πρόσφατων πληροφοριών για τον κύκλο ζωής των ενεργειακών συστημάτων για τα οποία θα εφαρμοστεί το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο.

Η ενσωμάτωση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου σε υφιστάμενα συστήματα μεταφορών μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλογα με τις ανάγκες κάθε συστήματος. Για παράδειγμα μπορεί το ζητούμενο να είναι είτε η αξιολόγηση των εναλλακτικών δυνατοτήτων και επιλογών επέκτασης τους ή η αναγνώριση εκείνων των τμημάτων, διαδικασιών ή διεργασιών του ενεργειακού συστήματος που προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε συνδυασμό με την αξιολόγηση της ενεργειακής τους αποδοτικότητας (**Διάγραμμα 1.6.β**). Στην πρώτη περίπτωση ισχύει ότι και στην περίπτωση του αρχικού σχεδιασμού νέων ενεργειακών συστημάτων ενώ σε ότι αφορά τη δεύτερη περίπτωση, πραγματοποιείται αντικατάσταση μιας διεργασίας ή ορισμένων διεργασιών. Κατά αυτόν τον τρόπο το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο διαμορφώνεται κατάλληλα ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στον αρχικό σχεδιασμό ενός νέο συστήματος μεταφορών όσο και για την ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση κάποιου υφιστάμενου. Η εφαρμογή σε υφιστάμενα συστήματα μπορεί να γίνει είτε για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων επέκτασης τους ή για την περιβαλλοντική αξιολόγηση και αντικατάσταση π.χ. μιας διεργασίας.



**Διάγραμμα 1.6.β. Ενσωμάτωση μεθοδολογικού πλαισίου στο υφιστάμενο σύστημα μεταφορών**

Στο **Διάγραμμα 1.6.γ** παρουσιάζεται μια απλοποιημένη διαδικασία βελτιστοποίησης ενός υφιστάμενου συστήματος μεταφορών. Συνοψίζοντας, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο οδηγεί σε ένα σύστημα μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο από διάφορους περιορισμούς όπως: νομικοί – νομοθετικοί – πολιτικοί, τεχνικοί – τεχνολογικοί, οικονομικοί και περιβαλλοντικοί.



**Διάγραμμα 1.6.γ. Απεικόνιση βημάτων εφαρμογής εξεργειακής ανάλυσης, στατιστικής ανάλυσης, ανάλυσης κύκλου ζωής και ανάλυσης σεναρίων για την αντικατάσταση διεργασιών σε ένα υφιστάμενο σύστημα μεταφορών**

## 1.7. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 1

1. Alexander B., Barton G., Petrie J., and Romagnoli J., (2000). Process synthesis and optimization tools for environmental design: methodology and structure. *Computers & Chemical Engineering*, Volume 24, Issues 2-7, Pages 1195-1200.
2. Azapagic A., (1999). Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization. *Chemical Engineering Journal*, 73, 1-21.
3. Azapagic A., and Clift R., (1999). Life cycle assessment and multiobjective optimisation. *Journal of Cleaner Production*, 7, 135-143
4. Benetto E, Rousseaux P., and Blondin J. (2004). Life cycle assessment of coal by-products based electric power production scenarios. *Fuel* 83, Pages 957-970.
5. European Environmental Agency -EAA, (2007). Technical Report: Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2005 and Inventory Report 2007.
6. IPPC, Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/>
7. Keoleian G.A., (1993). The application of life cycle assessment to design. *Journal of Cleaner Production*, Volume 3, Issue 4, 143-149.
8. Khan F.I., Sadiq R., and Husain T. (2002). GreenPro-I: a risk-based life cycle assessment and decision-making methodology for process plant design. *Environmental Modelling & Software*, Volume 17, Issue 8, Pages 669- 692.
9. Lombardi L., (2002). Life cycle assessment comparison of technical solutions for CO<sub>2</sub> emissions reduction in power generation. *Energy Conversion and Management*, Volume 44, Issue 1, Pages 93-108.

10. Rotmans, J. (1998). "Methods for IA : The challenges and opportunities ahead." *Environmental Modelling and Assessment* 3(3): 155-179.
11. Rotmans, J. and H. J. M. de Vries, Eds. (1997). *Perspectives on Global Change: The TARGETS approach*. Cambridge, UK, Cambridge University Press
12. T. E. Graedel and B. R. Allenby (1995). Prentice Hall, New Jersey
13. U.S. Department of Transportation, (2011). *Sustainability Evaluation and Planning Guidance for Transportation Systems (Transportation Planning Cooperative Research Broad Agency Announcement DTFH61-08-R-00011)*
14. Vigon, B. W., Tolle, D. A., Cornary, B. W. (1993). "Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles," US EPA, Document EPA/600/R-92/245, Cincinnati, OH.
15. Θεοδοσίου Γ., (2008). Διδακτορική Διατριβή «Οικολογικός Σχεδιασμός Μονάδων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης