

# Κεφάλαιο 10. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω Έρευνα

Η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών καθώς και η διερεύνηση των βέλτιστων εναλλακτικών σεναρίων λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια δεν αποτελεί απλώς νεωτερισμό αλλά αναγκαιότητα. Προς αυτή την κατεύθυνση η Ευρώπη νομοθετεί και εισάγει νέο πρότυπο ζωής με γνώμονα τη βιωσιμότητα στον τομέα των Μεταφορών αλλά και γενικότερα σε όλους τους τομείς ανάπτυξης. Με αυτή τη τάση συμμορφώνεται και η Ελλάδα, υιοθετώντας πρακτικές για βιώσιμες μεταφορές.

Στη λογική αυτή οργανώθηκε η διατριβή και διαμορφώθηκε έτσι, ώστε να αποτυπώσει με σαφήνεια το ζήτημα που σχετίζεται με τις μεταφορές ( οδικές, σιδηροδρομικές, εναέριες, θαλάσσιες) στην Ελλάδα, να προσδιορίσει τα βασικά εκείνα στοιχεία που συνθέτουν το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών δίνοντας έμφαση στη χρήση ενέργειας, να μελετήσει τις διαθέσιμες μεθοδολογίες, τα εργαλεία ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής διαχείρισης και να διατυπώσει συγκεκριμένη μεθοδολογία για την περιβαλλοντική αξιολόγηση και βελτιστοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών. Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε διαπιστώνονται τα παρακάτω:

- Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στον τομέα των μεταφορών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο χρειάζεται να αντιμετωπιστεί σε πολλά επίπεδα και με ολοκληρωμένες προσεγγίσεις (**κεφάλαιο 2 & κεφάλαιο 3**). Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι εντονότερο στον τομέα των οδικών μεταφορών, λόγω της εκτεταμένης χρήσης συμβατικών καυσίμων ιδίως σε αστικά κέντρα, όπως επίσης και λόγω ελλιπούς αξιοποίησης (που συνδέεται με παράγοντες όπως το κόστος ή διαθέσιμη τεχνογνωσία) εναλλακτικών διαθέσιμων πόρων (βιοκαύσιμα) που είναι πιο φιλικό για το περιβάλλον.
- Η συμβατική προσέγγιση που ακολουθείται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προέρχεται από τον τομέα των οδικών μεταφορών (μέτρα

εξοικονόμησης ενέργειας, επιβολή φόρων κλπ) εστιάζεται κυρίως σε λύσεις αντιμετώπισης κατά πρώτο λόγο και πρόληψης κατά δεύτερο.

- Οι συμβατικές αυτές προσεγγίσεις αντιμετώπισης και πρόληψης δεν εξετάζουν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη ρίζα του, καθώς η περιβαλλοντική απόδοση και η συνεισφορά ενός συστήματος μεταφορών στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθορίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό κατά το σχεδιασμό του.
- Τα τελευταία χρόνια και έχει γίνει στροφή προς την κατεύθυνση αυτή με τη θέσπιση νέων περιβαλλοντικών πολιτικών και στρατηγικών όπως π.χ. η προώθηση της χρήσης αφενός πιο αποδοτικών τεχνολογιών και αφετέρου, τεχνολογιών φιλικότερων προς το περιβάλλον (**κεφάλαιο 4**). Στις κατηγορίες αυτές εντάσσονται τα εναλλακτικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός. Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη κατεύθυνση διαδραματίζει η εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας 20-20-20 και η υλοποίηση υποχρεωτικών στόχων σύμφωνα με τους οποίους κάθε κράτος μέλος πρέπει να επιτύχει τουλάχιστον μερίδιο 10% ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (πρωτίστως βιοκαύσιμα) στον τομέα των μεταφορών έως το 2020. Σημειώνεται πως η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας στον τομέα των Μεταφορών παρά το γεγονός πως συνδέεται με πολύ χαμηλότερη εκπομπή ρύπων, εξαιτίας οικονομικών περιορισμών δε μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τα συμβατικά καύσιμα.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα μιας ολοκληρωμένη προσέγγισης, η οποία θα εξετάζει και θα βελτιστοποιεί το συνδυασμό των διαθέσιμων τεχνολογιών (συμβατικών και εναλλακτικών) με στόχο την ορθολογική διαχείριση των ενεργειακών πόρων σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος, το οικονομικό κόστος και την κοινωνική ευημερία. Η προσέγγιση αυτή θα πρέπει να επικεντρώνεται στην προσπάθεια μείωσης του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο κατά τη δημιουργία της όσο και στην αντιμετώπιση της. Σε ότι αφορά το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών, η παραπάνω προσέγγιση χρειάζεται να εστιάζεται στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του συστήματος μεταφορών, λαμβάνοντας υπόψη τις Ευρωπαϊκές οδηγίες, το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο καθώς και τη χρήση των ενεργειακών πόρων που χρησιμοποιούνται στον άξονα το αποδεκτό οικονομικό κόστος, τις μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την κοινωνική αποδοχή.

Η φάση του σχεδιασμού των ενεργειακών συστημάτων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μετέπειτα περιβαλλοντική απόδοσή τους. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση κατά το σχεδιασμό των ενεργειακών συστημάτων πρέπει να λαμβάνει υπόψη πέρα από τις παραδοσιακές παραμέτρους (κόστος, τεχνολογία, διαθεσιμότητα, κ.τ.λ.) και την περιβαλλοντική παράμετρο. Ο στόχος της διατριβής ήταν να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την βελτιστοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών σε σχέση με τις παραμέτρους που το ορίζουν. Η διατριβή κινήθηκε σε αυτή την κατεύθυνση, στη δημιουργία μιας

διαδικασίας ολοκληρωμένου σχεδιασμού, η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα Συστήματα Μεταφορών. Η παραπάνω διαδικασία αξιολογεί το πόσο αποδοτικά χρησιμοποιείται η ενέργεια σε όλους τους τομείς του Συστήματος Μεταφορών μέσω της μεθοδολογίας της εξεργειακής ανάλυσης (**κεφάλαιο 5**), διερευνά τις αιτίες δημιουργίας ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω της μεθοδολογίας στατιστικής ανάλυσης (**κεφάλαιο 6**), ενσωματώνει την περιβαλλοντική παράμετρο μέσω της μεθοδολογίας ανάλυσης κύκλου ζωής (**κεφάλαιο 8**) στο συμβατικό σχεδιασμό και τέλος αναπτύσσει ένα μοντέλο για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του Συστήματος Μεταφορών και τη χρήση ενεργειακών πόρων μέσω της μεθοδολογίας της ανάλυσης σεναρίων (**κεφάλαιο 9**).

Από τη βιβλιογραφική διερεύνηση προκύπτει ότι οι προσπάθειες βελτιστοποίησης των συστημάτων Μεταφορών κατά το παρελθόν έχουν κινηθεί μονομερώς βασιζόμενοι είτε στην εξεργειακή ανάλυση, είτε στην ανάλυση κύκλου ζωής στοχεύοντας στη κατεύθυνση υποστήριξης αποφάσεων για τη θέσπιση ενεργειακής πολιτικής όσο και για τη μελέτη συστημάτων μικρότερης κλίμακας που θα καλύψουν συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Σημειώνεται πως η βιβλιογραφική έρευνα εστιάστηκε στον εντοπισμό των κατάλληλων εργαλείων για την επίλυση επιμέρους προβλημάτων και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η έλλειψη ενός ενιαίου μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει όλες τις παραμέτρους που συνθέτουν το περίπλοκο ζήτημα του στρατηγικού σχεδιασμού ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών και μάλιστα προσαρμοσμένο στην ελληνική πραγματικότητα κατέδειξε την ανάγκη για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για τη βελτιστοποίηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, το οποίο λαμβάνει υπόψη οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές και τεχνολογικές παραμέτρους.

Η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα τα τελευταία 34 χρόνια δείχνει πως ο τομέας αυτός έχει αρκετή ζήτηση. Η ανάλυση τόσο της ενέργειας όσο και της εξέργειας που χρησιμοποιείται στις μεταφορές βοηθά στην αποτίμηση της αποδοτικότητας του κλάδου και στην διεξαγωγή συμπερασμάτων σε ότι αφορά στον τρόπο μείωσης των πλέον ενεργοβόρων διεργασιών. Ο τομέας των μεταφορών στην Ελλάδα καταναλώνει σχετικά υψηλά ποσά ενέργειας τα οποία καλύπτονταν μέχρι και το 2006 με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, ενώ από το 2006 και μετά γίνεται εισαγωγή στο σύστημα μεταφορών εναλλακτικών καυσίμων (βιοκαύσιμα). Η εξεργειακή ανάλυση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών (**κεφάλαιο 5**) αποδεικνύει τη μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση, λόγω αυξημένης εξέργειας, του υποσυστήματος των οδικών μεταφορών. Το αποτέλεσμα αυτό προσφέρει γόνιμο έδαφος για την αξιολόγηση εποικοδομητικών προτάσεων με σκοπό τη βελτίωση του συστήματος οδικών μεταφορών. Έτσι η εξεργειακή ανάλυση χρησιμοποιείται ως εργαλείο ελέγχου συστημάτων μεταφορών κατά τον σχεδιασμό ενός

βιώσιμου συστήματος μεταφορών. Η μεταβολή της εξεργειακής κατανάλωσης κατά τη περίοδο 1980- 2011, αντικατοπτρίζει δομικές αλλαγές στη χρήση της ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών, το οποίο επηρεάστηκε από κοινωνικό-οικονομικούς παράγοντες, την υιοθέτηση και εφαρμογή πολιτικών, τις συμπεριφορές κατοίκων καθώς και από τα ίδια τα οχήματα. Αναλυτικότερα όπως γίνεται εμφανές από τη στατιστική ανάλυση (**κεφάλαιο 6**) η αύξηση του ΑΕΠ μέχρι και το 2007 οδήγησε σε μια αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στις μεταφορές, αντικατοπτρίζοντας αυξήσεις στην κίνηση και οδηγώντας σε αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, οι διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων επηρεάζουν όχι μόνο το κόστος οδήγησης, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την κατανάλωση, αλλά και όλους τους τομείς της οικονομίας.

Η διαμόρφωση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου βιώσιμων μεταφορών έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται αφορούν τόσο σε συνολικές ποσότητες ρύπων όσο και σε περιβαλλοντικούς δείκτες αξιολόγησης ενεργειακών πόρων που συνδέουν την εκπομπή ρύπων με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διερεύνηση των μεταβλητών που αλληλεπιδρούν στη δημιουργία ατμοσφαιρικής ρύπανσης (**κεφάλαιο 6**) σε συνδυασμό με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές (**κεφάλαιο 8**) οδηγεί στο συμπέρασμα πως η εξέταση και η προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων για το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών μπορεί να γίνει:

- Στην κατεύθυνση μείωσης των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής του συστήματος μεταφορών ή των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από συγκεκριμένα στάδια του κύκλου ζωής.
- Στην κατεύθυνση μείωσης εκπομπής συγκεκριμένων ρύπων είτε για ολόκληρο τον κύκλο ζωής ή για συγκεκριμένα στάδια του κύκλου ζωής του συστήματος μεταφορών.
- Οι περιβαλλοντικοί δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο αντιστοιχούν σε όλο τον κύκλο ζωής του ενεργειακού πόρου που χρησιμοποιείται (βενζίνη, ντίζελ, βιοντίζελ κλπ).

Η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει ένα μεγάλο πεδίο εφαρμογής, είτε σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές (π.χ. σχεδιασμός συστημάτων μεταφορών σε εθνικό επίπεδο) είτε σε μικρής κλίμακας εφαρμογές (π.χ. σχεδιασμός αστικών μεταφορών). Επιπλέον, η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εξετάζει και να αξιολογεί τη χρήση είτε συμβατικών καυσίμων και οχημάτων είτε εναλλακτικών καυσίμων (π.χ. βιοντίζελ από ελαιοκράμβη ή ηλίανθο) είτε καινοτόμων τεχνολογιών (π.χ. ηλεκτρικά οχήματα) ή ακόμα και συνδυασμό συμβατικών συστημάτων και συστημάτων ΑΠΕ στις μεταφορές.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας ανάλυσης κύκλου ζωής, το οποίο βρίσκει κατάλληλη εφαρμογή στη φιλοσοφία του προτεινόμενου μεθοδολογικού εργαλείου, είναι ότι εξετάζει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του ενεργειακού πόρου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας στο σύστημα μεταφορών και συσχετίζει την εκπομπή ρύπων με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία δεικτών που αξιολογούν την περιβαλλοντική απόδοση του συστήματος. Η μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής, όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφική διερεύνηση (**κεφάλαιο 7**), αν και έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για προϊόντα, υπάρχουν αναφορές για την καταλληλότητα της εφαρμογής τους σε μελέτες περιβαλλοντικής αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων και συγκεκριμένα σε συστήματα μεταφορών, τόσο για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής τους απόδοσης όσο και για τη σύγκριση δύο ή περισσότερων συστημάτων.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας ανάλυσης κύκλου ζωής στην παρούσα εργασία (**κεφάλαιο 8**) είχε ως αποτέλεσμα τη διεξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων:

- Η ανάλυση κύκλου ζωής εφαρμόστηκε σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων (ηλίανθος και ελαιοκράμβη) που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για την παραγωγή βιοντίζελ. Για τα συμβατικά καύσιμα (ντίζελ, βενζίνη) το στάδιο του κύκλου ζωής που σχετίζεται με την παραγωγή των μεγαλύτερων ποσοτήτων ρύπων και συνεπώς και με τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι το στάδιο της χρήσης των οχημάτων (διαδικασία καύσης). Για τα εναλλακτικά καύσιμα τα στάδια από τα οποία προκύπτουν οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αυτά που σχετίζονται με την καλλιέργεια των πρώτων υλών και την επεξεργασία αυτών για την παραγωγή των βιοκαυσίμων.
- Οι ενεργειακοί πόροι με τη χειρότερη περιβαλλοντική απόδοση είναι η βενζίνη και το ντίζελ. Η χρήση συμβατικών καυσίμων στα οχήματα επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον και ότι από τα δυο συμβατικά καύσιμα που εξετάζονται τη χειρότερη σχέση με το περιβάλλον την έχει η βενζίνη, και μετά το ντίζελ. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων (βιοκαύσιμα από ηλίανθο και ελαιοκράμβη) στον επιβατικό στόλο συνδέεται με πολύ μικρότερου μεγέθους περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Οι ρύποι CO<sub>2</sub> που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του βιοντίζελ συμβάλλουν λιγότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συγκριτικά με τους ρύπους που εκπέμπονται κατά τον κύκλο ζωής του ντίζελ. Το παραπάνω αποδίδεται στο γεγονός ότι τόσο ο ηλίανθος όσο και η ελαιοκράμβη απορροφούν κατά την καλλιέργεια τους μεγάλο μέρος του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής.
- Σημαντική συνεισφορά στις κατηγορίες επίπτωσης όξινης βροχής και ευτροφισμού από τα συστήματα παραγωγής βιοντίζελ που εξετάστηκαν έχουν οι εκπομπές SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>. Γίνεται αντιληπτό πως ο σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων χρειάζεται

να επικεντρωθεί και στη μείωση των πιο επικίνδυνων ρύπων, από άποψη βαρύτητας και ζημιάς που επιφέρουν.

Η αναγκαιότητα σχεδιασμού και εφαρμογής μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής για τη βιώσιμη κινητικότητα επιβάλλει την διερεύνηση διείσδυσης των εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών στο σύστημα μεταφορών, τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στη μελλοντική διαμόρφωση του τομέα των μεταφορών, όπου εκτός της σημαντικής διείσδυσης βιοκαυσίμων σε όλες τις μεταφορικές δραστηριότητες, προβλέπεται για τα σενάρια των υπό εξέταση ενεργειακών πολιτικών ανάπτυξη μεγάλου μεριδίου του ηλεκτρισμού τόσο στις επιβατικές όσο και εμπορευματικές μεταφορές (**κεφάλαιο 9**).

Στην ανάπτυξη των επιμέρους σεναρίων λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι του τομέα των μεταφορών όπως η διαθεσιμότητα καινοτόμων τεχνολογιών, το περιβάλλον και το κόστος αυτών. Σημαντική είναι και η διαφοροποίηση από την υφιστάμενη κατάσταση, που προβλέπεται εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων και ανάπτυξης του κατάλληλου δικτύου υποδομών στα μέσα σταθερής τροχιάς όπου θα επιτευχθεί τόσο ο εξηλεκτρισμός τους όσο και η σημαντική αύξηση του μεριδίου τους στο επιβατικό και εμπορικό μεταφορικό έργο. Η αύξηση αυτή θα επιτύχει συνολικά σημαντική μείωση τόσο του κόστους των μετακινήσεων όσο και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας καθοριστικά στην επίτευξη των κεντρικών ενεργειακών στόχων. Η ανάλυση σεναρίων εξετάζει παράλληλα την περιβαλλοντική και την οικονομική παράμετρο καθώς βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα που αφορούν στο κόστος παραγωγής καυσίμων, οχημάτων, από διάφορες τεχνολογίες και ενεργειακούς πόρους που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Γίνεται αντιληπτό πως η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στις μεταφορές είναι περιβαλλοντικά ωφέλιμη όταν το μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ.

## 10.1. Συμπεράσματα ως προς τη μεθοδολογία

Η εργασία ασχολήθηκε με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών στο σύνολό του ενώ ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο υποσύστημα των οδικών μεταφορών. Επιχειρήθηκε να αναλυθεί και να γίνει σύνθεση του πολύπλοκου ζητήματος της δημιουργίας ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού εργαλείου για τον βιώσιμο σχεδιασμό μεταφορικών συστημάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαμορφώνει ένα συνολικό πλαίσιο ολοκληρωμένης αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων. Αποτελεί μια σύνθεση προσεγγίσεων από διαφορετικά επιστημονικά πεδία (ανάλυση ενεργειακών συστημάτων



σύμφωνα με τον 1ο και 2ο Θερμοδυναμικό νόμο, στατιστική ανάλυση, περιβαλλοντική ανάλυση κύκλου ζωής, ανάλυση σεναρίων), προκειμένου να επιτύχει τους στόχους που καθορίστηκαν στο εισαγωγικό κεφάλαιο (**κεφάλαιο 1**).

Η προσέγγιση που διατυπώθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επέκταση των καθιερωμένων μεθόδων τεχνοοικονομικής αξιολόγησης, καθώς αντιμετωπίζει με επιτυχία βασικούς περιορισμούς που τις χαρακτηρίζουν. Βασικοί στόχοι και ειδικότερα συμπεράσματα από την ανάπτυξη και εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου αποτελούν:

- Η συγκριτική ενεργειακή και εξεργειακή ανάλυση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών.
- Η διερεύνηση των μεταβλητών και η δημιουργία επεξηγηματικού μοντέλου για τη δημιουργία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Η δημιουργία μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας αξιολόγησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, στο οποίο ενσωματώνονται οι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνιστώσες της ανάπτυξης.
- Η αποφυγή μονομερούς αξιολόγησης, μέσω του συνδυασμού της τεχνικής, της οικονομικής και της περιβαλλοντικής πληροφορίας του εξεταζόμενου συστήματος μεταφορών.
- Ο προσδιορισμός της περιβαλλοντικής επίδοσης των διαθέσιμων εναλλακτικών ενεργειακών πόρων στο Σύστημα Μεταφορών.
- Ο εντοπισμός των σημείων που χρειάζονται βελτίωση.
- Ο μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών σε συνδυασμό με την διερεύνηση διεξόδους εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών στο σύστημα.

Σημειώνεται πως το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δρα συμπληρωματικά στις προσεγγίσεις βελτιστοποίησης των μεταφορικών συστημάτων. Στη παρούσα εργασία, δόθηκε περισσότερο βάρος στην ενεργειακή, περιβαλλοντική και τεχνολογική συνιστώσα του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, καθώς η ενσωμάτωση μιας μεθοδολογίας στοχευμένης αποκλειστικά στην οικονομική βελτιστοποίησης κρίθηκε ότι υπερβαίνει το σκοπό της παρούσας διατριβής. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό εργαλείο αποτελεί ένα ευέλικτο, περιγραφικό πλαίσιο, το οποίο διαμορφώνει ένα περιβάλλον ολοκληρωμένης προσέγγισης του προβλήματος της αξιολόγησης της ενεργειακής απόδοσης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, σε συνδυασμό με την αξιολόγηση χρήσης εναλλακτικών καυσίμων και σύγχρονων ενεργειακών τεχνολογιών και συμβάλλει στη συνολική τεκμηρίωση και δικαιολόγηση της ανάδειξης της καταλληλότερης τεχνολογίας.

## 10.2. Συμπεράσματα ως προς τις εφαρμογές

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, αναγνωρίζονται πλέον, αν όχι ο κυριότερος, τουλάχιστον ως ένας από τους σημαντικότερους επιβαρυντικούς παράγοντες σε παγκόσμιο επίπεδο. Ένα σχέδιο βιώσιμου ενεργειακού σχεδιασμού είναι απαραίτητο να περιλαμβάνει την ποσοτικοποίηση των σημαντικότερων επιπτώσεων, η οποία χρειάζεται να συμπεριλαμβάνει το σύνολο των σταδίων του κύκλου ζωής όλων των εναλλακτικών επιλογών.

Στον αντίποδα δεν είναι δυνατόν να τίθεται υπό διαπραγμάτευση η διατήρηση της ποιότητας των αντίστοιχων προσφερόμενων υπηρεσιών σε αποδεκτό επίπεδο. Οι εμπλεκόμενες πλευρές (ρυθμιστικοί φορείς ενέργειας, εθνικοί ενεργειακοί φορείς, τοπικές αρχές) οφείλουν να λάβουν υπόψη αντικρουόμενα και ανομοιογενή (τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά) κριτήρια αξιολόγησης των εναλλακτικών επιλογών ενεργειακού σχεδιασμού, σε διάφορα επίπεδα απόφασης (από τα άμεσο λειτουργικό μέχρι το μακροπρόθεσμο αναπτυξιακό) για τη δημιουργία ενός συστήματος μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Τα παραπάνω αναδεικνύουν ότι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός συστημάτων μεταφορών αποτελεί ιδανικό χώρο εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου. Η ενσωμάτωσή των εργαλείων της εξεργειακής ανάλυσης, της στατιστικής ανάλυσης, της ανάλυσης κύκλου ζωής και της ανάλυσης σεναρίων σε μια συνολική μεθοδολογία συνδυασμένης αξιολόγησης είναι σε θέση να συνθέσει τα επιμέρους οφέλη που είναι δυνατόν να συνεισφέρουν σε ένα πρόβλημα σχεδιασμού ενός συστήματος μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά επίπεδα (π.χ. αστικές συγκοινωνίες, συστήματα μεταφορών σε εθνικό επίπεδο, κλπ).

## 10.3. Στοιχεία Πρωτοτυπίας

Η απουσία μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας βιώσιμου σχεδιασμού και βελτιστοποίησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών καθιστά το ήδη πολύπλοκο ζήτημα δημιουργίας ενός συστήματος Μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα ακόμη πιο δύσκολο, καθώς στην προσπάθεια για την οποιαδήποτε επεξεργασία και αξιολόγηση υπάρχει σημαντική έλλειψη πρωτογενών δεδομένων. Τα στοιχεία πρωτοτυπίας της διατριβής σχετίζονται με τη γενικότερη αντιμετώπιση του ζητήματος της διαμόρφωσης ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού εργαλείου τόσο για τον σχεδιασμό όσο και για την ενίσχυση του υπάρχοντος



Συστήματος Μεταφορών. Με δεδομένη την αδυναμία του υφιστάμενου πλαισίου διαχείρισης των μεταφορών στην Ελλάδα η παρούσα διατριβή παραθέτει μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία περιβαλλοντικής αξιολόγησης τόσο των υφιστάμενων συστημάτων μεταφορών όσο και των νέων ενώ παράλληλα αποτυπώνει την υφιστάμενη κατάσταση, παρουσιάζοντας και αναλύοντας τη χρήση εργαλείων για την ολοκληρωμένη διαχείριση συστημάτων μεταφορών.

Σημειώνεται πως για πρώτη φορά πραγματοποιείται εξεργειακή ανάλυση στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών. Για πρώτη φορά συσχετίζονται οι μεταβλητές της οικονομίας, κοινωνίας και περιβάλλοντος με την ατμοσφαιρική ρύπανση μέσα από μαθηματικές εξισώσεις. Για πρώτη φορά αναλύονται βασισμένοι σε πραγματικά δεδομένα πιθανά μελλοντικά σενάρια για τη διεύθυνση εναλλακτικών καυσίμων και καινοτόμων τεχνολογιών στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών.

## 10. 4. Δημοσιεύσεις

Κατά τη διεξαγωγή της Διδακτορικής Διατριβής πραγματοποιήθηκαν αρκετές δημοσιεύσεις τόσο σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά όσο και σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια. Οι Πίνακες 10.4.α και 10.4.β συνοψίζουν μερικές μερικές από τις δημοσιεύσεις.

---

1. **Koroneos, C and Nanaki, E., 2007 «Environmental Assessment of the Greek Transport Sector», Journal of Energy Policy, Elsevier, Vol. 35, Issue 11, pp. 5422-5432**

---

2. **Koroneos, C. and Nanaki, E., 2008 «Energy and Exergy Utilization Assessment of the Greek Transport Sector», Journal of Resources, Conservation and Recycling, Elsevier, Vol. 52, Issue 5, pp. 700-706**

3. **Nanaki, E., 2009 «Environmental Comparison of the use of Biodiesel and Gasoline for Transportation- the case study of Athens», International Journal Indoor and Built Environment, special edition “Strategies for a low carbon urban built environment”, vol. 18 no. 5 416-423 (doi: 10.1177/1420326X09346131).**

4. **E.A.Nanaki and C.J. Koroneos, 2011 «Comparative Life Cycle Assessment of the use of Biodiesel, Diesel and Gasoline for Transportation», International Journal of Cleaner Production, vol. 20(2012), 14-19, (doi:10.1016/j.jclepro.2011.07.026).**

5. **Evanthia A. Nanaki and Christopher J. Koroneos, 2013 “Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles – the case study of Greece”, Int. J. of Journal of Cleaner Production, Elsevier, Volume 53, issue (August 15, 2013), p. 261-266.ISSN: 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.04.010**

6. **E. A. Nanaki , C. J. Koroneos, G.A.Xydis , D. Rovas « Comparative Environmental Assessment of Athens Urban Buses- Diesel, CNG and Biofuel Powered», Journal of Transport Policy, 01/2014, DOI:**

---

- 10.1016/j.tranpol.2014.04.001
7. Koroneos, Christopher J.; **Nanaki, Evanthia A.**; Xydis, George A. 2012. "Sustainability Indicators for the Use of Resources—The Exergy Approach." *Sustainability* 4, no. 8: 1867-1878:  
<http://www.mdpi.com/2071-1050/4/8/1867>
  8. Koroneos, C, **Nanaki, E.** and Xydis, G., 2011 «Exergy analysis of the energy use in Greece», *Journal of Energy Policy*, Elsevier Publishes, 39(2011), pp. 2475- 2481.
  9. Koroneos, C and **Nanaki, E.**, 2007 «Electric Energy Sustainability in Balkans», *Journal of Energy Policy*, Elsevier, Vol.35, No. 7, pp. 3826-3842

**Πίνακας 10.4.α. Ενδεικτικές δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά με κρίση πλήρους κειμένου**

- PROCEEDINGS OF COST ACTION 23, LOW CARBON URBAN BUILT ENVIRONMENT : Vienna, E. A. Nanaki:**
1. **«Environmental comparison of the use of biodiesel and gasoline for transportation – the case study of Athens», 16-18 Απριλίου 2007.**
- EET – 2007, Second European Ele –Drive Transportation Conference: Brussels , C.Koroneos and E.Nanaki**
2. **«Energy and Exergy Assessment of the Greek Transport Sector», 30 Μαΐου – 1<sup>η</sup> Ιουνίου 2007.**
  3. **WSEAS – 2007, 3<sup>RD</sup> WSEAS /IASME International Conference on Energy, Environment Ecosystems and Sustainable Development: Agios Nikolaos, Crete, Greece, C.Koroneos and E.Nanaki, «Environmental comparison of the use of biodiesel and gasoline for transportation – the case study of Athens », 24– 26 Ιουλίου 2007.**
  4. **1<sup>st</sup> International Exergy, Life Cycle Assessment and Sustainability Workshop and Symposium (ELCAS): Nisyros, Greece, Evanthia A. Nanaki and Christopher J.Koroneos, “Comparative LCA of the use of Biodiesel, Diesel and Gasoline for Transportation”, 4-6 Ιουνίου 2009.**
  5. **2<sup>nd</sup> International Exergy, Life Cycle Assessment and Sustainability Workshop and Symposium Proceedings (ELCAS 2): Nisyros, Greece, E. A. Nanaki, C J.Koroneos & G. Xydis “Environmental Impact Assessment of Public Transportation- The Case study of Athens”, 19-21 Ιουνίου 2011.**
  6. **TUD ACTION, TU0902, Proceedings: Evanthia A. Nanaki “Creating a Sustainable Public Transportation Atlas for Europe”, Riga, Latvia, November 9<sup>th</sup>-10<sup>th</sup>.**
  7. **3d International Exergy, Life Cycle Assessment and Sustainability Workshop and Symposium Proceedings (ELCAS 3): Nisyros, Greece, Evanthia A. Nanaki, C.J.Koroneos and E. Konstantinidis “Environmental Assessment of Urban Buses- Diesel, CNG and Biofuel Powered”, 07-09 July 2013.**
  8. **Proceedings of SETAC Europe 18th LCA Case Study Symposium and 4th NorLCA Symposium: Copenhagen, Denmark, Koroneos, J.; Xydis, G; Nanaki, E.; Rovas, D. “Comparative life cycle assessment of three battery types” , Book of abstracts - SETAC 18th LCA Case Study Symposium and 4th NorLCA Symposium: Sustainability Assessment in the 21st century - Tools, Trends and Applications. 2012. p. 54-54, 26-28 November 2012.**

- 
9. **3rd World Sustainability Forum (WSF-3), 2013:** Christopher J.Koroneos, **Evanthia A. Nanaki**, D.Rovas and M.Krokida, «Life Cycle Assessment: A Strategic Tool for Sustainable Development Decisions», Νοέμβριος 1st-30th, <http://www.sciforum.net>
  10. **Urban 2014 Integration, 2014 :** **E. A. Nanaki** , C. J. Koroneos , D.Rovas & G.Xydis , “**Exergy Analysis and Life Cycle Analysis used as Climate Change Mitigation Tools**”, Sheffield, **06-07 Μαρτίου 2014.**
  11. **Proceedings of ENER ,2014: E.A.Nanaki**, C.J.Koroneos & A.Foley , “Life Cycle Assessment and Exergy Analysis – Support Tools for Sustainable Transportation”, London , 24-25 Ιουνίου 2014
- 

#### **Πίνακας 10.4.β. Ενδεικτικές δημοσιεύσεις σε επιστημονικά συνέδρια με κρίση πλήρους κειμένου**

Τέλος μέσα από τη συμμετοχή σε ευρωπαϊκές επιστημονικές δράσεις της Ε.Ε. (cost actions) δόθηκε χώρος ώστε να επικοινωνηθούν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Ο Πίνακας 10.4.γ. συνοψίζει τη συμμετοχή στις επιστημονικές δράσεις.

---

1. **COST Action C23 “Strategies for a Low Carbon Built Environment”** 2005-2009.
  2. **COST Action C24 “Analysis and Design of innovative systems for low-exergy in the built environment”:** “costexergy”, 2005-2009.
  3. **COST ACTION TU0902: “Integrated assessment technologies to support the sustainable development of urban areas”**, 2009-2013.
  4. **COST ACTION TU1104 “Smart Energy Regions”**, member of the management committee (MC), 2012-2016 [http://www.cost.eu/domains\\_actions/tud/actions/tu1104](http://www.cost.eu/domains_actions/tud/actions/tu1104)
  5. **TU1205 “Building Integration of Solar Thermal Systems (BISTS)”**, 2013 - 2017
- 

#### **Πίνακας 10.4.γ. Συμμετοχή σε ευρωπαϊκές επιστημονικές δράσεις**

## **10.5. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Οι κατευθύνσεις προς τις οποίες είναι δυνατό να εξελιχθεί το μεθοδολογικό πλαίσιο βελτιστοποίησης του Συστήματος Μεταφορών συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Ανάπτυξη λογισμικού, το οποίο θα υπολογίζει την ενεργειακή και εξεργειακή απόδοση διαφορετικών μεταφορικών συστημάτων θα διερευνά και θα ποσοτικοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις συστημάτων μεταφορών. Δημιουργία mobile application.
- Δημιουργία πλατφόρμας δεδομένων και ανάπτυξη λογισμικού για την βελτιστοποίηση των μεταφορικών συστημάτων ανάλογα με το ενεργειακό μίγμα που αντιστοιχεί σε

κάθε σύστημα. Το παραπάνω προϋποθέτει την ανάπτυξη και διαχείριση βάσης τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών δεδομένων (πλατφόρμα) για κάθε σύστημα μεταφορών. Η συλλογή, αποθήκευση και ανανέωση των αντίστοιχων δεδομένων θα συμβάλλει θετικά στην εισαγωγή αξιόπιστων στοιχείων για τη συγκριτική ανάλυση των μεταφορικών συστημάτων. Διερεύνηση δυνατότητας παρακολούθησης της τεχνολογικής εξέλιξης, ειδικά των καινοτόμων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η βάση δεδομένων θα μπορούσε επίσης να συμπεριλάβει εναλλακτικές υποστηρικτικές νομοθεσίες για νέες τεχνολογίες ώστε να ενσωματωθεί η αντίστοιχη επίδραση οικονομικών παραμέτρων. Το παραπάνω μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός παγκόσμιου άτλαντα αξιολόγησης συστημάτων μεταφορών. Σημειώνεται πως η εισαγωγή δεδομένων υψηλής ποιότητας αποτελεί ζήτημα θεμελιώδους σημασίας για την επιτυχή εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.

- Περαιτέρω διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο διαφορετικοί τύποι βιοντίζελ (B10, B20, B80, B100) μεταβάλλουν την ενεργειακή και εξεργειακή απόδοση του συστήματος οδικών μεταφορών τόσο κατά το στάδιο της τελικής χρήσης των οχημάτων όσο και σε όλα τα στάδια κύκλου ζωής του μεταφορικού συστήματος οδικών μεταφορών.
- Εφαρμογή AKZ σε διαφορετικούς τύπους βιοκαυσίμων. Ειδικότερα η συγκριτική ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διαφορετικών τύπων βιοντίζελ (ελαιοκράμβη, ηλιέλαιο, ζαχαρότευτλα, αραβόστιος) θα έχει διαφορετικές επιπτώσεις στο σύστημα μεταφορών.
- Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε μικρής κλίμακας εφαρμογές. συνδυασμό της χρήσης της ενεργειακής και της εξεργειακής ανάλυσης και της περιβαλλοντικής αξιολόγησης στο μοντέλο, θα μπορούσε να γίνει διερεύνηση του τρόπου τροποποίησης και χρησιμοποίησης του μοντέλου βελτιστοποίησης σε εφαρμογές πολύ μικρής κλίμακας, όπως π.χ. σε επίπεδο διεργασίας εντός του συστήματος μεταφορών.
- Περαιτέρω διερεύνηση πιθανών μελλοντικών καταστάσεων με τη δημιουργία μεγαλύτερου αριθμού σεναρίων τα οποία θα εκφράζουν μια ευρύτερη εικόνα των μελλοντικών τάσεων του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα.

- Αύξηση των παραμέτρων ανά σενάριο σε περισσότερους τομείς ώστε να παρουσιάζεται με τον πλέον αντιπροσωπευτικό τρόπο, κάθε φορά, η παρούσα κατάσταση. Επίσης με την αύξηση των παραμέτρων επιτυγχάνεται η εκπροσώπηση περισσότερο πολύπλοκων σεναρίων.
- Επιλογή περισσότερων καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών για αξιολόγηση ανά πηγή ενέργειας. Αυξάνοντας τον αριθμό των υπό εξέταση τεχνολογιών επιδιώκεται η καλλίτερη τεχνολογική πρόβλεψη για το μέλλον της χώρας.

Τέλος σημειώνεται πως για την επιτυχημένη εφαρμογή του μεθοδολογικού εργαλείου είναι απαραίτητη η συστηματική και ποσοτικοποιημένη παρακολούθηση της προόδου υλοποίησης και της αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων δράσεων, σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, με χρήση κατάλληλων πληροφοριακών συστημάτων συλλογής, επεξεργασίας και δημοσίευσης αξιόπιστων στοιχείων.