



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

## Διδακτορική Διατριβή

Ευανθία Αντωνίου  
Νανάκη

Σύστημα Μέσων Μεταφοράς Ελλάδας- Ανάλυση Κύκλου Ζωής-  
Εξεργειακή Ανάλυση και Ανάλυση Σεναρίων για Βιώσιμες  
Μεταφορές Χαμηλών Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα



Κοζάνη 2014



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ- ΑΝΑΛΥΣΗ  
ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ- ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ  
ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΧΑΜΗΛΩΝ  
ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΕΥΑΝΘΙΑ Α. ΝΑΝΑΚΗ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Ε. Κωνσταντινίδης , Επ. Καθ. ΠΔΜ  
(Επιβλέπων)
2. Ι. Μπάρτζης, Καθ. ΠΔΜ
3. Γ. Μαρνέλλο, Αν. Καθ. ΠΔΜ

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Ε. Κωνσταντινίδης , Επ. Καθ. ΠΔΜ
2. Ι. Μπάρτζης, Καθ. ΠΔΜ
3. Γ. Μαρνέλλο, Αν. Καθ. ΠΔΜ
4. Α. Τομπουλίδη, Καθ. ΠΔΜ
5. Μ. Κροκίδα, Αν.Καθ. Ε.Μ.Π.
6. Α. Ζαμπανιώτου , Καθ. Α.Π.Θ
7. Γ. Τσατσαρώνης, Professor Technische  
Universität Berlin

*Στους γονείς μου*

*Αντώνη και Λευκή*

*“An expert is a man who has made all the mistakes which can be made”*

*Niels Bohr*

# Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί το επιστέγασμα μιας μεγάλης προσωπικής προσπάθειας και ταυτόχρονα μιας αδιάκοπης συμπαράστασης πολλών ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά για την ηθική και πνευματική τους υποστήριξη και να τους εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την αρωγή τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της Διδακτορικής Διατριβής κ. Ευστάθιο Κωνσταντινίδη, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, ο οποίος μου έδειξε εμπιστοσύνη. Οι υψηλές απαιτήσεις του και οι καίριες παρατηρήσεις του αποτέλεσαν σημαντικό κίνητρο για τη βελτίωση του τρόπου συγγραφής της παρούσας διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κ. Ιωάννη Μπάρτζη για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή καθώς οι υποδείξεις του υπήρξαν καθοριστικές για την ποιοτική αναβάθμιση της διατριβής. Ευχαριστώ επίσης και τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κ. Γεώργιο Μαρνέλλο για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του, οι οποίες αναβάθμισαν σημαντικά τη παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας και του Columbia University, κ. Χριστοφή Κορωναίο, η γνωριμία με τον οποίο αποτέλεσε σημείο σταθμό για την επίτευξη αυτού του μεγάλου στόχου. Τον ευχαριστώ θερμά για τη δυνατότητα που μου έδωσε να συνεργάζομαι μαζί του τα τελευταία 10 χρόνια. Ο γόνιμος και δημιουργικός χώρος ζύμωσης ιδεών μέσα από το μάθημα «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» με διδάσκοντα τον Χριστοφή, στο Μεταπτυχιακό «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου αποτέλεσαν το έναυσμα για να ξεκινήσω το δικό μου ταξίδι στο μαγευτικό κόσμο της έρευνας. Θέλω να τον ευχαριστήσω από βάθους καρδιάς για την αμέριστη συμπαράσταση, καθοδήγηση, ενθάρρυνση και υποστήριξη τόσο επιστημονική όσο και ηθική καθώς και προσωπική που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια των επιστημονικών αναζητήσεων. Η παρότρυνση του για τη συμμετοχή μου σε ευρωπαϊκές επιστημονικές δράσεις (COST ACTIONS) αποτέλεσε κομβικό σημείο για την διεύρυνση των επιστημονικών μου οριζόντων. Θέλω επίσης να τον ευχαριστήσω γιατί μέσα από τη συνεργασία μας και τη διεξαγωγή διεθνών συνεδρίων στη Νίσυρο, γνώρισα αυτό το πανέμορφο νησί των Δωδεκανήσων. Η μεγάλη αγάπη του για το νησί όμως δεν έμεινε μόνο στη διοργάνωση συνεδρίων, μέσα από τον προεκλογικό αγώνα που έδωσε, διεκδίκησε και κέρδισε τη Δημαρχία της Νισύρου. Θέλω να του ευχηθώ καλή επιτυχία στην ανάληψη των νέων καθηκόντων του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους φίλους και συνεργάτες, συνοδοιπόρους σε αυτό το ταξίδι γνώσης τον Δρ. Γεώργιο Ξύδη και τον Υποψ. Διδάκτορα ΑΠΘ Δημήτρη Ρόβα για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες ανήκουν και στα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής, στον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κ. Α. Τομπουλίδη, στον Professor of Energy Engineering and Environmental Protection, Institute for Energy Engineering Technische Universität Berlin, κ. Γ.Τσατσαρώνη στην καθηγήτρια του Τμημ. Χημικών

Μηχανικών, ΑΠΘ κα Α. Ζαμπανιώτου, στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, κα Μ.Κροκίδα.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στα μέλη της οικογένειας μου, στα οποία αφιερώνεται η παρούσα διατριβή. Πρώτα από όλα στη μητέρα μου Λευκή και στον πατέρα μου Αντώνη, οι οποίοι στάθηκαν στο πλευρό μου πραγματικοί συνοδοιπόροι και συμπαραστάτες καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς επίσης και για την υποστήριξη και την ανοχή που έδειξαν στις προτεραιότητες που επέβαλε αυτή η προσπάθεια όλα αυτά τα χρόνια. Το «ευχαριστώ» είναι πολύ λίγο για να μπορέσει να αποδώσει την ευγνωμοσύνη για όλα όσα μου έδωσαν σε υλικό, πνευματικό και ηθικό επίπεδο. Ευχαριστώ και τον πολυαγαπημένο μου αδερφό Γιώργο. Ευχαριστώ τέλος τον Γιάννη για την κατανόησή και για την πολύπλευρη συμπαράσταση του, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών κατά την ολοκλήρωση της παρούσας προσπάθειας.

# Περίληψη

Η αύξηση των ανησυχιών που σχετίζονται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος, η οποία προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η χρήση συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή κινητικής ενέργειας, έχει στρέψει το ενδιαφέρον πολλών εμπλεκόμενων φορέων στην αναζήτηση διαφόρων εναλλακτικών επιλογών, όπως στην χρήση πιο «καθαρών» καυσίμων καθώς και στη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών. Συνεπώς, η όλη διαδικασία του σχεδιασμού των μεταφορικών συστημάτων χρειάζεται να γίνεται σε ένα πιο ολοκληρωμένο επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής της χρήσης του κάθε ενεργειακού πόρου σε κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία, παράλληλα με τις άλλες παραμέτρους που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό ενός συστήματος μεταφορών.

Μέσα στο παραπάνω πλαίσιο το 2009 η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε μια δέσμη νομοθετικών πράξεων (γνωστή ως «Δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια»), η οποία θέτει ένα σύνολο βασικών στόχων για το 2020 στον τομέα της ενέργειας με υποχρεωτικές δεσμεύσεις από πλευράς κρατών μελών όσον αφορά: τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 20%, ή έως 30%, εάν συντρέχουν οι προϋποθέσεις την αύξηση του μεριδίου της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε ποσοστό 20%• και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20%. Η εν λόγω ενεργειακή πολιτική συμβάλλει καίρια στην επίτευξη του στόχου της στρατηγικής «Ευρώπη 2020» για έξυπνη, βιώσιμη και χωρίς αποκλεισμούς ανάπτυξη.

Με βάση τις παραπάνω ανάγκες, το ερευνητικό πεδίο, στο οποίο αναπτύσσεται η παρούσα διατριβή με τίτλο «Σύστημα μέσων μεταφοράς Ελλάδας – Ανάλυση κύκλου ζωής – Εξεργειακή ανάλυση και Ανάλυση σεναρίων για βιώσιμες μεταφορές χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα» εντοπίζεται στην αναγκαιότητα καταγραφής, αξιολόγησης, βελτιστοποίησης και ανάλυσης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών.

Το αντικείμενο της διατριβής αφορά στην ενσωμάτωση της ενεργειακής παραμέτρου (σε ότι αφορά την ενεργειακή απόδοση) μέσω της εξεργειακής ανάλυσης και της περιβαλλοντικής παραμέτρου μέσω της μεθοδολογίας της ανάλυσης κύκλου ζωής στο συμβατικό σχεδιασμό συστημάτων μεταφοράς. Το πρόβλημα που διαμορφώνεται κατά το σχεδιασμό των συστημάτων μεταφοράς είναι πολύ- παραμετρικό και εμπλέκει την κοινωνία και την πολιτεία. Η καταλληλότερη προσέγγιση για την επίλυση τέτοιων ζητημάτων είναι η ανάλυση σεναρίων, η οποία διερευνά τις επιπτώσεις από τη χρήση των βέλτιστων

διαθέσιμων επιλογών χρήσης ενεργειακών πόρων και τεχνολογίας, με βάση τις οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές και τεχνολογικές παραμέτρους.

Η διατριβή προτείνει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση και βελτιστοποίηση συστημάτων μεταφορών, το οποίο βασίζεται στον συνδυασμό των παρακάτω καθιερωμένων μεθοδολογιών : Εξεργειακής Ανάλυσης, Στατιστικής Ανάλυσης, Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και Ανάλυσης Σεναρίων . Το μεθοδολογικό πλαίσιο ενσωματώνει διάφορα διεπιστημονικά εργαλείων (ανάλυση ενεργειακών συστημάτων σύμφωνα με τον 1ο και 2ο θερμοδυναμικό νόμο, στατιστική ανάλυση, περιβαλλοντική ανάλυση κύκλου ζωής, ανάλυση σεναρίων) και υπερβαίνει τα όρια μιας επέκτασης συγκεκριμένης υπάρχουσας μεθοδολογίας. Μετά τον καθορισμό του γενικού πλαισίου ολοκληρωμένης αξιολόγησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, όπου τίθεται ο σκοπός και η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου, επεξεργάζονται δεδομένα που αφορούν τις συνιστώσες του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών.

Μέσα από την εκτεταμένη βιβλιογραφική διερεύνηση, προκύπτει η αναγκαιότητα διερεύνησης της συνολικής αποδοτικότητας από τη χρήση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, καθώς μέχρι σήμερα δεν είχε πραγματοποιηθεί κάτι ανάλογο. Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται αντιληπτό πως ο τομέας ο οποίος χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση είναι ο τομέας των οδικών μεταφορών. Ακολουθεί η διερεύνηση σχέσης αίτιου και αιτιατού στις διεργασίες, οι οποίες εμπλέκονται στην δημιουργία ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα, η οποία πραγματοποιείται με τη στατιστική ανάλυση. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αναδεικνύει επίσης τις ελλείψεις στον υπολογισμό της περιβαλλοντικής παραμέτρου τόσο κατά τον σχεδιασμό όσο και κατά τη βελτιστοποίηση υφιστάμενων συστημάτων, τα οποία είτε δεν περιλαμβάνουν καθόλου την περιβαλλοντική παράμετρο, είτε την περιλαμβάνουν αποσπασματικά. Για παράδειγμα στις οδικές μεταφορές, από τη μια δεν εξετάζεται ολόκληρος ο κύκλος ζωής κάποιου ενεργειακού πόρου που περιλαμβάνει και τη φάση της παραγωγής, και από την άλλη δε συνδέεται η εκπομπή ρύπων (διαφόρων τύπων) με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω κάποιου κατάλληλου εργαλείου. Επίσης, στις περισσότερες μεθοδολογικές προσεγγίσεις δεν εξετάζονται παράλληλα και τα συμβατικά συστήματα και τα εναλλακτικά συστήματα.

Η εφαρμογή της ανάλυσης κύκλου ζωής στην παρούσα εργασία γίνεται με βάση τα δεδομένα αυτά και μέσω της μεθόδου Eco-Indicator 99 και Eco- Indicator 95 και του λογισμικού SimaPro 5.0, συσχετίζεται η εκπομπή ρύπων του κύκλου ζωής των ενεργειακών πόρων (τόσο συμβατικών όσο και εναλλακτικών όπως βιοντίζελ από ηλίανθο και ελαιοκράμβη) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κινητικής ενέργειας στα οχήματα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στοχεύει επίσης στη παράλληλη ελαχιστοποίηση του κόστους, των περιβαλλοντικών και τεχνολογικών επιπτώσεων. Συνεπώς, παρουσιάζεται μια συγκριτική περιβαλλοντική, οικονομική και



τεχνολογική ανάλυση που αφορά στη παραγωγή και χρήση διαφορετικών τεχνολογιών οχημάτων (συμβατική, υβριδική και ηλεκτρική). Η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων καθώς και η επιλογή της βέλτιστου ενεργειακού σεναρίου από την εφαρμογή των προτεινόμενων εθνικών στόχων εξετάζεται με την ανάλυση σεναρίων, όπου λαμβάνονται υπόψη οι σχετικές οικονομικές και τεχνολογικές παράμετροι που επιδρούν στο εθνικό δυναμικό επίτευξής τους.

Με βάση τα παραπάνω, δημιουργείται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση και βελτιστοποίηση των μεταφορικών συστημάτων, το οποίο, λόγω της διαμόρφωσής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μικρής όσο και σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές και να εξετάζει τόσο τα συμβατικά καύσιμα όσο και τα εναλλακτικά καύσιμα καθώς και τις καινοτόμες τεχνολογίες οχημάτων. Το παραπάνω μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης, εκτός από τον αρχικό σχεδιασμό νέων μεταφορικών συστημάτων, και για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση και την εύρεση βέλτιστων εναλλακτικών επιλογών σε υφιστάμενα συστήματα μεταφορών.

## Abstract

The transport sector is a major contributor to CO<sub>2</sub> emissions because of its dependency on fossil fuels in all modes. Statistics indicate that the transport sector contributes 23% of all CO<sub>2</sub> emissions in the 27 EU Member States. Despite significant efforts to reduce emissions, transport has not achieved its decarbonising targets. If this trend continues, transport is expected to contribute 50% of all CO<sub>2</sub> emissions in the EU by 2050, if not within the next two decades. Thus, this PhD thesis has emphasized the importance of transport sector and urban areas and has a strategic objective dedicated to the sector aimed at “Energy efficient and low-carbon transport and urban systems”.

Emission reductions have to be achieved by increasing efficiency in the transport sector, improving vehicle energy efficiency and extending the use of alternative fuels and propulsion technologies. Therefore, the whole process of designing transportation systems needs to take into account the technological and environmental impacts associated with the life cycle of each energy resource along with all other parameters involved in designing a low carbon transportation system. Within this scope, in 2009 the European Union adopted a package of legislation raising a number of key objectives for 2020 in the energy sector with binding commitments by Member States, such as : a 20% reduction in EU greenhouse gas emissions from 1990 levels; raising the share of EU energy consumption produced from renewable resources to 20%; a 20% improvement in the EU's energy efficiency.

In recognition of this need, the research field of this PhD Thesis entitled "**The Greek Transportation System - Life Cycle Analysis - Exergy Analysis and Scenario Analysis for Sustainable Low Carbon Transportation System**" focuses on the creation of an integrated methodological framework, taking into consideration the energy parameter (in terms of energy efficiency and exergy analysis) as well as the environmental considerations (statistical analysis and life cycle assessment). Scenario analysis investigates the impacts from the use of different alternative technologies in the transportation sector based on the economic, social, environmental and technological parameters. The literature review throws light on the necessity to investigate the overall efficiency of the Greek transport system. From the above analysis it is deduced that the area which needs further investigation is this of this of road transport. The literature review also highlights the deficiencies in the calculation of the environmental parameter both in transportation design as well as in optimizing existing systems, which either do not include any environmental parameter, or include them partially.

The methodologies of Exergy Analysis, Statistical Analysis, Life Cycle Analysis (LCA) and Scenario Analysis are directly related – in a different sense – with the general concept of integrated assessment of energy technologies. Their potential incorporation in a holistic assessment methodology can combine the individual benefits they contribute to an energy planning problem, such as this of the creation of a Low Carbon Transportation System. The output of Exergy Analysis, Statistical Analysis and LCA can be utilized as energy and environmental indicators and the Scenario Analysis can combine the economic and technical information. The thesis suggests a methodological framework for the evaluation and optimization of integrated transport systems, based on a combination of these methods: Exergy Analysis, Statistical Analysis, Life Cycle Analysis and Scenario Analysis. The methodological framework integrates various interdisciplinary tools (analysis of energy systems in accordance with the 1st and 2nd law of thermodynamics, statistical analysis, environmental life cycle analysis, scenario analysis) and exceeds the boundaries of an existing methodology.

The main objective of the proposed methodology lies on the formulation of an integrated assessment methodology aiming to support the selection of Low Carbon energy technologies in the design of sustainable transportation systems. The cornerstone of the integrated approach proposed is the combination of the abovementioned tools. The concept of integrated assessment is herewith located in two focal issues: (a) the integration of the total environmental impact of the systems examined, in terms of time, throughout their total life cycle (b) the formulation and implementation of a holistic methodology, in order to support the selection of a low carbon technology in the transportation sector, taking into account – apart from the environmental impact – the technical performance and the economic viability.

In parallel, the integrated assessment concept – as defined in the framework of the present thesis – encompasses the capability of modelling the subjective decision making priorities, which inevitably affect the technology selection.

The implementation of the suggested methodological framework can lead to both local and regional benefits in terms of CO<sub>2</sub> emission reductions. In addition, environmental benefits are derived from more effective use of the existing network capacity and from optimizing the use of each mode by removing legislative, technological and operational barriers. The suggested integrated methodological framework for the creation of a Low Carbon Transportation system can be implemented in the transportation sectors of different transportation systems.

## Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	iv
Περίληψη	vi
Abstract	viii
Περιεχόμενα	xi
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1. Ερευνητικό Πεδίο	1
1.2. Το Σύστημα Μεταφορών ως Ενεργειακό Σύστημα	5
1.3. Αντικείμενο και Στόχος Διατριβής	7
1.4. Δομή Διατριβής	9
1.5. Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός- Μεθοδολογικό Πλαίσιο	12
1.6. Στρατηγικό Σχέδιο Εφαρμογής Μεθοδολογικού Πλαισίου	16
1.7. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 1	20
<b>2. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΕΛΛΑΔΑΣ</b>	<b>22</b>
2.1. Εισαγωγή	22
2.2. Πετρέλαιο	25
2.2.1. Εμπορία	27
2.2.2. Συμβατικά Υγρά Καύσιμα	28
2.3. Στερεά Καύσιμα	30
2.4. Φυσικό Αέριο	32
2.5. Ηλεκτρική Ενέργεια	35
2.6. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	38
2.7. Ενεργειακές Ανάγκες Μεταφορών	40
2.8. Συμπεράσματα	41
2.9. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 2	44
<b>3. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ</b>	<b>44</b>
3.1. Εισαγωγή	44
3.2. Οδικές Μεταφορές	45
3.2.1. Οδικές Εμπορευματικές Μεταφορές	47
3.2.2. Οδικές Επιβατικές Μεταφορές	49
3.2.3. Αστικές Μεταφορές	51
3.3. Σιδηροδρομικές Μεταφορές	55
3.4. Αεροπορικές Μεταφορές	58
3.5. Θαλάσσιες Μεταφορές	63
3.5. Θαλάσσιες Μεταφορές	68
3.7. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 3	68
<b>4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ</b>	<b>70</b>
4.1. Εισαγωγή	70
4.2. Βιοκαύσιμα	72
4.2.1. Βιοντίζελ	74
4.2.1.1. Παραγωγή βιοντίζελ	75
4.2.1.2. Προεπεξεργασία κατάλυσης με οξέα	77
4.2.1.3. Βιομηχανική Παραγωγή Βιοντίζελ	78
4.2.1.4. Ποιότητα παραγόμενου καυσίμου	80
4.2.1.5. Κόστος παραγωγής βιοντίζελ	82
4.2.1.6. Νομοθετικό πλαίσιο για το βιοντίζελ στην Ελλάδα	83
4.2.2. Βιοαιθανόλη	86
4.2.2.1. Παραγωγή βιοαιθανόλης	88
4.2.2.2. Παραγωγή βιοαιθανόλης από σακχαρούχες ουσίες	88
4.2.2.3. Παραγωγή βιοαιθανόλης από αμυλούχες ουσίες	89

4.2.2.4. Παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες ουσίες	90
4.2.2.4.α. Προεπεξεργασία	90
4.2.2.4.β. Υδρόλυση	91
4.2.2.4.γ. Ζύμωση	94
4.2.2.4.δ. Διαχωρισμός προϊόντος / απόσταξη	94
4.2.2.5. Παραγωγικές διαδικασίες βιοαιθανόλης	94
4.2.2.6. Η βιοαιθανόλη ως καύσιμο μεταφοράς ή πρόσθετο καυσίμου	96
4.2.2.7. Καύση και εκπομπές ρύπων	98
4.2.2.8. Κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης	100
4.2.3. Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς	101
4.3. LPG	105
4.4. Φυσικό Αέριο (CNG, LNG)	107
4.4.1. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)	111
4.5. Μεθανόλη, αιθανόλη, αλκοόλες	113
4.6. Υδρογόνο	114
4.6.1. Τεχνολογίες κυψελών καυσίμου	116
4.7. Ηλεκτρισμός	119
4.7.1. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEV)	120
4.7.2. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles - FCEV) V)	121
4.7.3. Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEV)	122
4.7.4. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV)	126
4.7.5. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended Range Electric Vehicles – E-REV)	127
4.8. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 4	128
5. ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	131
5.1. Εισαγωγή	131
5.2. Γενικές Έννοιες Εξέργειας	133
5.3. Εξεργειακό Περιεχόμενο Υλικών	136
5.4. Εξεργειακή Ανάλυση	137
5.5. Εξεργειακός Βαθμός Απόδοσης	139
5.6. Μελέτη Περίπτωσης- Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών	140
5.7. Ενεργειακή και Εξεργειακή Ανάλυση	141
5.8. Εφαρμογή Εξεργειακής Ανάλυσης	143
5.8.1. Υπολογισμός Εξεργειακού Συντελεστή για το Βιοντίζελ	144
5.9. Αποτελέσματα Εξεργειακής Ανάλυσης	146
5.10. Συμπεράσματα	150
5.11. Ορολογία Κεφαλαίου 5	152
5.12. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 5	152
6. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ & ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	155
6.1. Εισαγωγή	155
6.2. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι	157
6.3. Τα αέρια του θερμοκηπίου	161
6.4. Ρύποι Εμβολοφόρων Κινητήρων	163
6.5. Πρότυπα εκπομπών οχημάτων	165
6.5.1. Επιβατικά οχήματα και ελαφρά οχήματα	165
6.5.2 Βαρέως τύπου οχήματα	168
6.6. Ενέργεια, Περιβάλλον και Μεταφορές	169
6.7. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	173
6.7.1. Αέριοι Ρύποι	173

6.7.2. Αέρια του Θερμοκηπίου	176
6.8. Στατιστική Ανάλυση	179
6.8.1. Πολλαπλό Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης	183
6.9. Στατιστικό Μοντέλο Ελληνικού Συστήματος Οδικών Μεταφορών	183
6.10. Συμπεράσματα	188
6.11. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 6	191
7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	193
7.1. Εισαγωγή	193
7.2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	194
7.3. Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	197
7.4. Ανάλυση Κύκλου Ζωής και ISO 14000	200
7.5. Μεθοδολογία της ΑΚΖ	202
7.5.1. Καθορισμός Στόχου και Σκοπού	203
7.5.2. Ανάλυση Καταλόγου Απογραφής	204
7.5.3. Αποτίμηση- Εκτίμηση Επιπτώσεων	206
7.5.4. Ερμηνεία – Εκτίμηση Βελτιώσεων	209
7.6. Μέθοδοι Αποτίμησης Επιπτώσεων	210
7.6.1 CML 1992	210
7.6.1.1. Χαρακτηρισμός	210
7.6.1.2.Κανονικοποίηση	212
7.6.1.3.Αξιολόγηση	213
7.6.2 ECO - INDICATOR 95	213
7.6.2.1. Χαρακτηρισμός	213
7.6.2.2. Κανονικοποίηση	214
7.6.2.3. Αξιολόγηση	214
7.6.3. ECOPOINTS 97 (CH)	217
7.6.4. ECO- INDICATOR 99	218
7.6.4.1. Χαρακτηρισμός	219
7.6.4.2. Χρήση γης	220
7.6.4.3 .Αβεβαιότητες	221
7.6.4.4 Αξιολόγηση	224
7.6.6. ReciPle	224
7.6.6.1 Χαρακτηρισμός	224
7.7. Εργαλεία για εφαρμογή της ΑΚΖ	226
7. 8. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 7	227
8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	231
8.1. Εισαγωγή	231
8.2. Γενικές Παραδοχές εφαρμογής ΑΚΖ στα καύσιμα	233
8.3. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής – Καταγραφή εκπομπής ρύπων του κύκλου ζωής καυσίμων	239
8.3.1 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Πετρελαίου Ντίζελ	240
8.3.2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση του πετρελαίου ντίζελ	246
8.3.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Βιοντίζελ από Ηλίανθο	249
8.3.3.1 Παραγωγή ηλιέλαιου	251
8.3.3.2. Σύνολο εισροών και εκροών στην εγκατάσταση επεξεργασίας	257
8.3.3.3. Εκπομπές καυσαερίων βιοντίζελ	259
8.3.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη παραγωγή και χρήση βιοντίζελ	261
8.4. Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Βιοντίζελ – Ντίζελ	263
8.4.1. Ενεργειακή απόδοση	265
8.5. Συγκριτική ΑΚΖ Ντίζελ- Βενζίνης – Βιοντίζελ	267
8.5.1. Κατάλογος απογραφής κύκλου ζωής	268

8.5.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Ντίζελ, Βενζίνης και Βιοντίζελ	270
8.6. Συμπεράσματα	273
8.7. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 8	275
9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	279
9.1. Εισαγωγή	279
9.2. Χαρακτηριστικά Σεναρίων	281
9.3. Διαμόρφωση Σεναρίων	282
9.4. Στάδια Διαμόρφωσης Σεναρίων	283
9.5. Τύποι Σεναρίων	285
9.6. Εφαρμογή Σεναρίων	288
9.7. Διείδυση Εναλλακτικών Καυσίμων και Καινοτόμων Τεχνολογιών στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών	289
9.8. Ενεργειακό Μοντέλο Βελτιστοποίησης Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών	292
9.9. Εφαρμογή Μεθοδολογίας Ανάλυσης Σεναρίων για το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών	293
9.9.1. Σχεδιασμός Βιώσιμου Συστήματος Μεταφορών	295
9.10. Διείδυση Καινοτόμων Τεχνολογιών στην Ελλάδα	296
9.10.1. Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Κριτήρια	296
9.10.2. Στατιστικά Δεδομένα	300
9.10.3. Περιγραφή Σεναρίων	301
9.10.3.1. Σενάρια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	304
9.10.4. Αποτελέσματα Ανάλυσης Σεναρίων	305
9.11. Διείδυση Εναλλακτικών Καυσίμων στην Αθήνα	310
9.11.1. Στατιστικά Δεδομένα	310
9.11.2. Διαμόρφωση σεναρίων	312
9.11.3. Περιγραφή Σεναρίων	315
9.11.4. Αποτελέσματα Ανάλυσης Σεναρίων	321
9.12. Συμπεράσματα	324
9.13. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 9	325
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	329
10.1. Συμπεράσματα ως προς τη μεθοδολογία	334
10.2. Συμπεράσματα ως προς τις εφαρμογές	336
10.3. Στοιχεία Πρωτοτυπίας	336
10.4. Δημοσιεύσεις	337
10.5. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	339