

# «Ο κλάδος των μεταφορών και η ενεργειακή και περιβαλλοντική του επίπτωση σε Παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο».

**Αθανάσιος Ν. Σαφάκας, Καθηγητής Δρ. Μηχανικός**

*Διευθυντής του Εργαστηρίου Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών  
Πρόεδρος του ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ  
(ΕΛ.ΙΝ.Η.Ο.)*

## Περίληψη

Σ' αυτήν την εργασία κατ' αρχήν γίνεται μια σύντομη αναφορά στη σημασία και στην εξέλιξη των μεταφορών και μεταφορικών συστημάτων για την ανάπτυξη της κοινωνίας. Επειδή οι μεταφορές συνδέονται άμεσα με τη μετατροπή – κατανάλωση ενέργειας, γίνεται μια ανασκόπηση των τεχνικών δυνατοτήτων παροχής της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μεταφορικού έργου. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις προερχόμενες από τις μεταφορές και εξετάζονται λύσεις για την εκμετάλλευση των φυσικών ενεργειακών πηγών κατά τον πλέον ενεργειακά αποδοτικό τρόπο και φιλικό προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Στην εποχή μας οι εξελίξεις στην τεχνολογία των οδικών μεταφορικών μέσων χαρακτηρίζονται από τη ραγδαία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, υβριδικής ή αμιγούς ηλεκτρικής, η οποία αποτελεί ριζική λύση των προβλημάτων της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

## 1. Εισαγωγή

«Με τον όρο μεταφορές νοούνται το σύνολο των διαφόρων τρόπων διακίνησης προσώπων ή πραγμάτων από τόπο σε τόπο. Η ανάπτυξη των μεταφορών αποτέλεσε θεμελιώδη παράγοντα για την πρόοδο του πολιτισμού και βασικό συντελεστή για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών και την ανάπτυξη της παραγωγής» [1].

«Οι συνθήκες ζωής του ανθρώπου επηρεάζονταν ανέκαθεν δραματικά από την ευκολία και την ταχύτητα, με τις οποίες μπορούσε να μεταφέρει τον εαυτόν του και τα αγαθά του από κάποιο σημείο της γήινης επιφάνειας σε άλλο. Τα κύρια ορόσημα στην ιστορία των μεταφορών – τον τροχό, το ιστίο, την ατμομηχανή, τον κινητήρα εσωτερικής καύσεως, τον ηλεκτροκινητήρα και το μεγάλο τεχνολογικό επίτευγμα της πτήσης – υπόσχεται στην αυγή του 21<sup>ου</sup> αιώνα να επισκιάσει ο πυραυλοκινητήρας, που καταργεί την εξάρτηση του ανθρώπου από τη γήινη ατμόσφαιρα και του επιτρέπει να οραματίζεται ταξίδια σε άλλους πλανήτες» [1].

Οι δύο παραπάνω επισημάνσεις, που αναφέρονται στη σημαντική βιβλιογραφική πηγή [1], προσφέρουν με τον πλέον σαφή, σύντομο και εύγλωττο τρόπο το περίγραμμα, εντός του οποίου πρέπει να κινείται, κατ' αρχάς, κάθε μελέτη σχετική με τις μεταφορές σε παγκόσμιο επίπεδο. Όμως, πέρα από την οπτική της διαχρονικής αξίας των μεταφορών ως προς τη χρησιμότητα και τα οράματα, στην εποχή μας εμφανίσθηκαν σε έντονο βαθμό τα αρνητικά φαινόμενα αυτής της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η επίτευξη των στόχων στις μεταφορές είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που οδηγεί, ανάλογα με την ενεργειακή πηγή προέλευσης, στην παραγωγή ουσιών βλαπτικών για τον άνθρωπο και γενικά για τη ζωή επάνω στη γη. Η κύρια αιτία για την παραγωγή αυτών των ουσιών είναι η χρήση των υγρών ορυκτών καυσίμων στις μηχανές εσωτερικής καύσεως.

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση του πετρελαίου στα διάφορα μεταφορικά μέσα αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς ακολουθώντας τη μεγάλη αύξηση του αριθμού των πάσης φύσεως οχημάτων. Ήδη υπήρξαν άμεσες συνέπειες στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με τα συνακόλουθα φαινόμενα κλιματικών αλλαγών.

Η λήψη δραστικών μέτρων για την αναστροφή της κατάστασης κατέστη αναγκαία όσο ποτέ άλλοτε. Τα μέτρα αυτά πρέπει να κινούνται ταυτόχρονα σε δύο κατευθύνσεις, τόσο σε θεσμικό επίπεδο όσο και στο επίπεδο της τεχνολογίας. Κάθε βελτίωση της υφιστάμενης τεχνολογίας των συστημάτων κίνησης των μέσων μεταφοράς είναι επιβεβλημένη, αλλά κυρίως απαιτείται απεξάρτηση από το πετρέλαιο και χρήση καθαρών πηγών ενέργειας, όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος, οι υδατοπτώσεις, το υδρογόνο κ.λ.π. Η άντληση ενέργειας από κάθε «καθαρή» πηγή ενέργειας και η μετατροπή της σε κινητική ενέργεια με σκοπό την κίνηση των μεταφορικών μέσων επιτυγχάνεται, σύμφωνα με τις δυνατότητες της σημερινής τεχνολογίας, κατά το βέλτιστο τρόπο μέσω της ηλεκτροκίνησης. Βεβαίως είναι πρόδηλο το ερώτημα: Πώς και πού μπορεί ν' αποθηκευτεί η ηλεκτρική ενέργεια, με την οποία τροφοδοτείται η ηλεκτρική κινητήρια μηχανή; Θετικές απαντήσεις σ' αυτό το καίριο ερώτημα υπάρχουν και οι βελτιώσεις των τεχνικών μέσων με την παρέλευση του χρόνου γίνονται εντυπωσιακές. Απομένει η λήψη λογικών, καλά μελετημένων αλλά όχι χρονοκαθυστερημένων αποφάσεων από τους ασκούντες θεσμική και οικονομική εξουσία. Ο σημερινός άνθρωπος έχει υπέρμετρο καθήκον να θεσπίσει κάθε απαραίτητο μέτρο για το σταμάτημα των περιβαλλοντικών επιδεινώσεων, ώστε να παραδοθεί ο πλανήτης στις επόμενες γενιές τουλάχιστον στην κατάσταση που ήταν στα μέσα του εικοστού αιώνα.

## 2. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση [1,2,3]

Ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε τη δοκό επί των ώμων ενός ή δυο ατόμων για τη μεταφορά φορτίων. Αργότερα περί το 5000 π.χ. εμφανίστηκε το έλκηθρο, το οποίο συρόμενο από ανθρώπους ή ζώα μπορούσε να μεταφέρει σημαντικά φορτία. Οι Αιγύπτιοι και οι Ασσύριοι μετέφεραν με το έλκηθρο τα υλικά για την κατασκευή πυραμίδων, γιγαντιαίων παραποτάμιων αγαλμάτων κ.λ.π. χρησιμοποιώντας ειδικούς δρόμους για την εκμετάλλευση της μεταφορικής ικανότητας αυτού του μέσου [1]. Επίσης, τα χιονοπέδιλα χρησιμοποιήθηκαν σε μέρη όπου επικρατούσαν χιονοπτώσεις, εκμεταλλευόμενοι την ολίσθηση για ατομική μετακίνηση.

Τα ζώα χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα μέρη του πλανήτη από τους αρχαίους χρόνους ως μεταφορικά μέσα (καμήλες, άλογα, βόδια, τάρανδοι, ελέφαντες κ.λ.π.). Αλλά ακόμη και στις μέρες μας χρησιμοποιούνται τα μεταφορικά ζώα, προσφέροντας πολύτιμο μεταφορικό έργο π.χ. σε δύσβατα μέρη.

Ένα άλλο μεταφορικό μέσο ήταν οι σχεδίες, οι δερμάτινοι πλωτήρες (ασκοί φουσκωμένοι με αέρα) και διάφορα άλλα σκάφη, τα οποία θεμελίωσαν την τεχνολογία των πλωτών μεταφορικών μέσων. Ακολούθησε μία μακρόχρονη τεχνολογική εξέλιξη και έτσι περνώντας από το μονόξυλο (κορμός ξύλου σκαμμένος για τη δημιουργία κύτους), ήρθε η εποχή των σύγχρονων εμπορικών και επιβατικών πλοίων.

Η εφεύρεση του τροχού (κατ' εκτίμηση περί το 3500 π.χ.) και η κατασκευή διαφόρων μορφών τροχών, όπως αρχικά οι συμπαγείς τροχοί για οχήματα ελκόμενα από ζεύγη ζώων και αργότερα οι ακτινωτοί τροχοί (περί το 1500 π.χ.), αποτέλεσε σταθμό για την εξέλιξη των τροχοφόρων οχημάτων.

Η χρήση τροχοφόρων οχημάτων απαιτούσε την ύπαρξη δρόμων και έτσι δημιουργήθηκαν οι δρόμοι του αρχαίου και μεσαιωνικού κόσμου. Στην αρχαία Ελλάδα και στη Μικρά Ασία

καθώς και σε άλλες χώρες της Μεσογείου υπήρξαν έργα οδοποιίας, όπως ήταν οι πλακόστρωτοι δρόμοι με τροχιές για την οδήγηση των τροχοφόρων εκείνης της εποχής. Τέτοιοι δρόμοι κατασκευάστηκαν αργότερα στην Ευρώπη για τη μεταλλευτική βιομηχανία παρουσιάζοντας κάποια συγγένεια προς τους σύγχρονους σιδηροδρόμους. Στην Κίνα αναπτύχθηκε το αρχαιότερο γνωστό οδικό δίκτυο γενικής χρήσεως, θεσπίζοντας κανονισμούς ρύθμισης και ασφάλειας της κυκλοφορίας καθώς και κανόνες τυποποίησης διαστάσεων των τροχοφόρων οχημάτων.

Αργότερα αναπτύχθηκαν οι δρόμοι της Περσικής Αυτοκρατορίας. Είναι γνωστή η σύνδεση των Σάρδεων στην ακτή του Αιγαίου με την πρωτεύουσα Σούσα σε απόσταση 2.600 χιλιομέτρων. Επίσης αξιόλογο ήταν το Ρωμαϊκό οδικό σύστημα, επισημαίνοντας μάλιστα ότι οι Ρωμαίοι οδήγησαν την τέχνη της οδοποιίας του αρχαίου κόσμου στο αποκορύφωμά της. Το 312 π.χ. άρχισε η κατασκευή της πρώτης μεγάλης ρωμαϊκής οδού, της Αππίας Οδού, από τον Άππιο Κλαύδιο. Το ρωμαϊκό οδικό δίκτυο ήταν εκτεταμένο και συνένδεε τη Ρώμη με πολλές επαρχιακές πρωτεύουσες. Μετά ήρθε η περίοδος των μεσαιωνικών δρόμων και η ιππήλατη έλξη βαρέων φορτίων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, στη Νότια Αμερική κατά τον πολιτισμό των Ίνκα, κυρίως την περίοδο 1438-1493, υπήρξε μία περίοδος με μεγάλη ανάπτυξη της οδοποιίας.

Κατά τον δέκατο έβδομο μ.Χ. αιώνα άρχισε να εδραιώνεται η σύγχρονη οδοποιία, κυρίως στην Ευρώπη, για την εξυπηρέτηση των αναγκών εξ αιτίας της Βιομηχανικής Επανάστασης. Το 1776 η Γαλλία διέθετε άνω των 40.000 χιλιομέτρων εθνικού οδικού δικτύου. Ομοίως στην Αγγλία καθώς και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες υπήρξε τεχνική πρόοδος. Αυτές οι τεχνικές επιτυχίες υπήρξαν η απαρχή της μεγάλης έκρηξης στην οδοποιία, η οποία συνεχίζεται και στις μέρες μας.

Σε μεταγενέστερη περίοδο, παράλληλα με τις οδικές μεταφορές, αναπτύχθηκαν οι θαλάσσιες μεταφορές. Σ' αυτόν τον τομέα υπήρξε, επίσης, μεγάλη πρόοδος ξεκινώντας από τα πρωτόγονα μονόξυλα και λοιπά πλωτά μέσα, περνώντας από την ακμή της ιστιοφορίας κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και φθάνοντας στους μεγάλους ωκεάνιους δρόμους με τα σύγχρονα τεράστια πλοία και τις λιμενικές εγκαταστάσεις.

Η ναυσιπλοΐα γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη στις παραθαλάσσιες χώρες, όπως είναι και η Ελλάδα. Η χρήση της μαγνητικής πυξίδας περί το έτος 1000 μ.Χ. και του γωνιομέτρου (αστρολάβου) διευρύναν τις δυνατότητες εξερευνήσεων των ωκεανών, όπως ήταν οι θαλάσσιοι δρόμοι από Ευρώπη προς Κίνα και Ινδία μέσω της δυτικής ακτής της Αφρικής. Την ίδια εποχή ο Κολόμβος απέπλευσε από την Ισπανία και ανακάλυψε τυχαία το Νέο Κόσμο και ο Μαγγελάνος βρήκε την έκταση του Ειρηνικού Ωκεανού. Προϋπόθεση για την ανάπτυξη των θαλασσιών μεταφορών ήταν η δημιουργία τεχνικών λιμανιών εκτός από τη χρήση των φυσικών λιμανιών. Το λιμάνι της Αλεξάνδρειας ήταν από τα πλέον γνωστά της εποχής του. Αργότερα κατασκευάστηκαν τα λιμάνια της βόρειας Ευρώπης, όπως είναι το Ντόβερ, η Λα Ροσέλ κ.α. Ακολούθησε η ανάπτυξη μεγάλων λιμανιών σ' όλο τον κόσμο, όπως της Νέας Υόρκης, της Αβάνας, της Λίμας, του Άμστερνταμ, της Καλκούτας, του Κέιπ Τάουν κ.λ.π. Δεν πρέπει να ξεχασθεί η εσωτερική ναυσιπλοΐα, η οποία γνώρισε σημαντική ανάπτυξη μετά την εφεύρεση του υδατοφράκτη περί τον 13<sup>ο</sup> αιώνα. Η ποτάμια ναυσιπλοΐα είναι συνδεδεμένη με την άνθηση του εμπορίου, η οποία προκάλεσε την ανάπτυξη δικτύου διωρύγων για τη διασύνδεση των πλωτών ποταμών της Ευρώπης. Τα έργα αυτά κατέστησαν δυνατή τη μαζική διακίνηση πρώτων υλών και έτοιμων προϊόντων. Είναι γνωστές οι μεγάλες διώρυγες, του Σουέζ (1869), του Παναμά (1914) και του Σαιντ Λώρενς (1959).

Ο σιδηρόδρομος άρχισε ν' αναπτύσσεται περί το 1812, όταν έγιναν οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές σε ανθρακωρυχεία της Αγγλίας κοντά στο Λιντς και στο Νόρθαμπερλαντ (1814). Πολύ σύντομα (1830) λειτούργησε ο πρώτος σιδηρόδρομος στην Αγγλία (Λίβερπουλ και Μάντσεστερ) για επιβατικές μεταφορές. Περί τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα οι αμαξοστοιχίες στη Βρετανία είχαν φθάσει ταχύτητα 65 χιλιομέτρων την ώρα. Παράλληλα προωθήθηκαν οι

σιδηροδρομικές μεταφορές στη Γαλλία, στη Γερμανία, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και αλλού.

Αρχικά οι σιδηροδρομικές αμαξοστοιχίες ήταν ατμοκίνητες, κατόπιν αναπτύχθηκαν οι ντηζελοκίνητες και φθάσαμε στη σημερινή ηλεκτροκίνηση των τραινών. Η ανάπτυξη ήταν ραγδαία κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα τόσο από την άποψη της τεχνολογίας των σιδηροδρομικών μεταφορών όσο και της εμπορικής – οικονομικής εκμετάλλευσης. Τα σημερινά επίπεδα των σιδηροδρομικών μεταφορών σ' όλο τον κόσμο είναι εντυπωσιακά, όπως είναι τα μαγνητικά τρέινα και οι ταχύτερες αμαξοστοιχίες, των οποίων οι ταχύτητες ξεπερνούν τα 500 χιλιόμετρα την ώρα.

Η εφεύρεση του αυτοκίνητου οδικού οχήματος, κατά το δεύτερο ήμισυ του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αποτέλεσε επανάσταση στις μεταφορές, συγκρίσιμη με τη βιομηχανική επανάσταση. Το ουσιαστικό ξεκίνημα της δημιουργίας του αυτοκινήτου ως ένα μεταφορικό μέσο μαζικής χρήσεως, περίπου όπως διατίθεται στην εποχή μας, έγινε κυρίως σε τρεις χρονολογίες – σταθμούς στην εξέλιξη του αυτοκινήτου: Το 1876 ο Γερμανός Nikolaus August Otto ολοκλήρωσε την κατασκευή του τετράτροχου κινητήρα εσωτερικής καύσεως. Το 1885 οι Γερμανοί Karl Benz, Gottlieb Daimler και Wilhelm Maybach κατασκεύασαν ένα βενζινοκίνητο ικανό να λειτουργήσει ικανοποιητικά. Το 1892 ο Γερμανός Rudolf Diesel δήλωσε ως ευρεσιτεχνία τον ντηζελοκίνητο, ο οποίος ετέθη σε λειτουργία το 1897. Παράλληλα με τις παραπάνω εφευρέσεις πολλές άλλες πρωτότυπες εργασίες έγιναν εκείνη την εποχή σχετικά με τις παραλλαγές καυσίμου της μηχανής εσωτερικής καύσεως [3].

Η μηχανή εσωτερικής καύσεως και η χρήση της στα οδικά αυτοκίνητα επηρέασε συγκλονιστικά την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των λαών της γης. Από κοινωνική άποψη επισημαίνεται ότι το άτομο απέκτησε τη δυνατότητα γρήγορης προσωπικής μετακίνησης και έτσι την ευρύτερη επιλογή χώρου διαβίωσης και την πρόσβαση σε απρόσιτες περιοχές.

Η συνέπεια αυτών των δυνατοτήτων για τον άνθρωπο ήταν οι επιρροές στο φυσικό περιβάλλον. Το αυτοκίνητο δημιούργησε νέο όγκο μετακινήσεων, μετέβαλε το συσχετισμό των διαφόρων μεταφορικών μέσων και προκάλεσε την ανάγκη κατασκευής νέων αυτοκινητοδρόμων και γενικά έργων οδοποιίας. Επίσης το αυτοκίνητο άρχισε να παίζει σημαντικό ρόλο στις εμπορευματικές μεταφορές με αντίστοιχη υποχώρηση του μεταφορικού έργου των σιδηροδρόμων. Η τάση αυτή σε κάποιο μέτρο συνεχίζεται και στις μέρες μας υπό άλλα, προφανώς, δεδομένα.

Τέλος, ο άνθρωπος δεν άφησε εκτός του πεδίου δραστηριότητάς του τον αέρα στην ατμόσφαιρα για τις μεταφορές του. Δημιούργησε το αεροπλάνο για μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων, η τεχνολογία του οποίου σημείωσε καταπληκτική πρόοδο και συνεχίζει να αναπτύσσεται σε εντυπωσιακές κατευθύνσεις. Η μεγάλη ταχύτητα μετακίνησης, η δυνατότητα πτήσης σε πολύ μεγάλες διαδρομές και η ικανότητα για μεταφορά σχετικά μεγάλων φορτίων, που χαρακτηρίζουν τα αεροσκάφη, οδήγησαν στη δημιουργία ενός δικτύου αεροπορικών συνδέσεων παγκόσμιας έκτασης. Μέσα στον εναέριο χώρο αυτές οι συνδέσεις εκτελούνται κατά μήκος προκαθορισμένων αεροδιαδρόμων, ώστε να εξασφαλίζεται μέσω της ραδιοαυτιλίας η πλεονεκτικότερη και ασφαλέστερη πτήση από ένα αεροδρόμιο σε άλλο. Η επιρροή της πολιτικής και της στρατιωτικής αεροπορίας, με την πολύ μεγάλη τεχνολογική πρόοδο, επί της ανθρωπότητας είναι τεράστια με συνέπειες ιδιαίτερου βάρους στην κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη.

Όλα τα παραπάνω μέσα και συστήματα μεταφορών από την αρχαία εποχή μέχρι σήμερα, όπως και στο μέλλον, έχουν ένα κοινό γνώρισμα: Η μετακίνηση μάζας από ένα σημείο του πλανήτη σε άλλο απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη πηγών ενέργειας και τη δυνατότητα άντλησης και μετατροπής της μέσω κατάλληλων τεχνικών συστημάτων σε ωφέλιμο μεταφορικό έργο. Δυστυχώς, αυτή η μετατροπή συνοδεύεται από

ενεργειακές απώλειες και από φυσικοχημικές διεργασίες, που οδηγούν σε ρύπανση του περιβάλλοντος. Έτσι, στην εποχή μας της μεγάλης τεχνολογικής, οικονομικής και κοινωνικής προόδου, προέκυψαν πρωτοφανή προβλήματα, τα οποία θέτουν όλη την ανθρωπότητα προ νέων ευθυνών και ζητούν άμεσες και ρηξικέλευθες λύσεις.

### 3. Μεταφορές και ενέργεια

Σύμφωνα με τον ορισμό, ότι ως μεταφορές εννοούνται ο μετακινήσεις πάσης φύσεως προσώπων και πραγμάτων από έναν τόπο σε έναν άλλο, εύκολα γίνεται αντιληπτό, ότι από φυσικής σκοπιάς πρόκειται για κίνηση μαζών. Συνεπώς ισχύουν οι νόμοι της φυσικής και ειδικότερα της μηχανικής των στερεών σωμάτων, σε ό,τι αφορά την ενεργειακή κατάσταση των κινούμενων μαζών. Η έννοια της ενέργειας είναι από τις πιο σημαντικές στη φυσική και κατ' επέκταση σε όλους τους κλάδους της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας. Όλοι οι άνθρωποι στην καθημερινή τους ζωή χρησιμοποιούν την έννοια της ενέργειας, όπως ότι για την κίνηση του αυτοκινήτου πρέπει να καταναλωθεί καύσιμο, το οποίο απαιτεί οικονομικές δαπάνες.

Με τα μέσα μεταφορών είναι άμεσα συνυφασμένη, πρωτίστως, η μηχανική ενέργεια και δευτερευόντως η θερμική, η ηλεκτρική και η ενέργεια φωτός. Είναι γνωστό ήδη από την εκπαίδευση σε μαθητικό επίπεδο, ότι ισχύει ο φυσικός νόμος της διατήρησης ενέργειας, δηλ. όταν η ενέργεια αλλάζει μορφές, η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή. Τούτο κάνει την ενέργεια πολύ χρήσιμη για τη ζωή, αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί θεμελιακά προβλήματα στη διαχείρισή της. Για να μελετήσει κανείς τα φυσικά φαινόμενα, που εμφανίζονται στις μεταφορές και επηρεάζουν τη δομή και τη λειτουργία των διαφόρων τεχνικών συστημάτων μεταφορών, πρέπει να κατανοήσει με απόλυτη σαφήνεια τις τρεις βασικές έννοιες, έργο, δύναμη και ενέργεια.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τους νόμους της Φυσικής, για να κινηθεί ένα σώμα απαιτείται δύναμη, η οποία παράγει έργο ίσο με το γινόμενο αυτής της δύναμης επί τη μετατόπιση του σώματος. Σε κάθε μεταφορικό μέσο η δύναμη αυτή δημιουργείται από την κινητήρια μηχανή που είναι ενσωματωμένη μέσα σ' αυτό το μέσο. Υπό την επενέργεια αυτής της δύναμης παράγεται έργο, για το οποίο ισχύει το θεώρημα έργου – ενέργειας, δηλ. ότι το έργο που παράγει η συνισταμένη των δυνάμεων επί μιας μάζας ισούται με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας αυτής της μάζας. Επειδή αυτό το έργο μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, έπεται ότι η συνισταμένη των δυνάμεων μπορεί αντίστοιχα να προκαλέσει αύξηση ή ελάττωση της ταχύτητας του σώματος, δεδομένου ότι η κινητική ενέργεια που έχει το κινούμενο σώμα

ισούται με  $K = \frac{1}{2} mu^2$  ( $m$  = μάζα σώματος και  $u$  = ταχύτητα του σώματος). Εάν λοιπόν ένα

σώμα μεταβαίνει από την κινητική κατάσταση με ταχύτητα  $u_1$  (π.χ. από την ακινησία οπότε  $u_1 = 0$ ) σε μία άλλη με ταχύτητα  $u_2$  (π.χ.  $u_2 = 100$  km/h), τότε το έργο που είναι

συνυφασμένο με την αλλαγή της κινητικής κατάστασης είναι  $W = \frac{1}{2} mu_2^2 - \frac{1}{2} mu_1^2$ , δηλ.

με τη διαφορά της κινητικής ενέργειας που κατέχει το σώμα σε κάθε μία από τις δύο κινητικές καταστάσεις. Με άλλα λόγια το έργο αυτό ισούται με το έργο που παράγει μία δύναμη, η οποία πρέπει να επενεργήσει επί του σώματος για να το φέρει στην αρχική κινητική κατάσταση, όπως π.χ. από κάποια ταχύτητα να το αναγκάσει στην ακινησία (πέδηση). Για να παραχθεί η δύναμη της πρόωσης ενός σώματος απαιτείται ενέργεια μέσω τη κινητήριας μηχανής και για να σταματήσει η κίνηση χρειάζεται ομοίως η δύναμη πέδησης μέσω των κατάλληλων συστημάτων πέδησης.

Η πρόωση, λοιπόν, των σωμάτων επιτεύχθηκε αρχικά από τη μυϊκή δύναμη του ανθρώπου ή των ζώων και διαχρονικά μέσω των διαφόρων μηχανισμών κίνησης, με επικρατέστερη τη μηχανή εσωτερικής καύσεως, η οποία έχει τη δυνατότητα να καίει το πετρέλαιο και στη συνέχεια να παράγει μηχανική δύναμη για την κίνηση του εκάστοτε οχήματος. Τα οδικά, τα πλωτά και τα αέρια μεταφορικά μέσα, αλλά και σε μεγάλο βαθμό και τα σιδηροδρομικά μεταφορικά μέσα, βασίζονται αποκλειστικά στην καύση ορυκτών καυσίμων, μεταξύ των οποίων την κυρίαρχη θέση κατέχει το πετρέλαιο.

Για ένα χρονικό διάστημα περίπου 120 ετών η καύση του πετρελαίου μέσω των μηχανών εσωτερικής καύσεως δημιούργησε ένα θαυμάσιο αποτέλεσμα στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της ανθρωπότητας συμβάλλοντας τα μέγιστα στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσω της παραγωγής μεταφορικού έργου. Σήμερα όμως αναδείχθηκαν στην επιφάνεια τεράστια προβλήματα από τη χρήση των υγρών ορυκτών καυσίμων στις μεταφορές καθώς και σε κάθε άλλη εφαρμογή. Τα μειονεκτήματα άρχισαν να γίνονται αισθητά περί τις αρχές της δεκαετίας του 1970, με τον καιρό πολλαπλασιάστηκαν και τώρα πια αποτελούν απειλή για τη ζωή επάνω στον πλανήτη. Τα μειονεκτήματα αυτά συνοψίζονται στις ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

*α. Η εξάντληση των αποθεμάτων των υγρών ορυκτών καυσίμων στη φύση.*

Το πετρέλαιο είναι ένα σύνθετο μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια, υγρά ή στερεά μορφή. Δημιουργήθηκε σε ένα βάθος κάτω από το φλοιό της γης, το οποίο φθάνει μέχρι και μερικά χιλιόμετρα, πριν από εκατομμύρια χρόνια από ύλη που περιέχει άνθρακα και υδρογόνο. Χωρίς να υπάρχουν απόλυτα έγκυρα στοιχεία, είτε λόγω τεχνικών αδυναμιών είτε εσκεμμένα λόγω πολιτικών – οικονομικών – στρατηγικών σκοπιμοτήτων, η λογική επιτάσσει να δεχθούμε ότι τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα πετρελαίου σύντομα θα εκλείψουν, με τις αυτονόητες συνέπειες στη χρήση των μηχανών εσωτερικής καύσεως.

*β. Από την καύση του πετρελαίου στις μηχανές εσωτερικής καύσεως παράγεται μεν ροπή επί του άξονα που μπορεί να συνδεθεί με ένα μηχανικό φορτίο, αλλά παράγονται και ρυπογόνες ουσίες που εκλύονται στο περιβάλλον.*

Ακριβώς αυτό αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα για τις κινητήριες μηχανές αυτού του είδους και έχει ήδη οδηγήσει στο μεγάλο προβληματισμό, ότι δεν είναι δυνατόν να συνεχισθεί η καύση του πετρελαίου για την παραγωγή μεταφορικού έργου, ακόμη και εάν δεν υπήρχε εξάντληση των αποθεμάτων.

*γ. Η δημιουργία κινητήριας δύναμης μέσω των μηχανών εσωτερικής καύσεως συνεπάγεται εξάρτηση από μια και μόνο πηγή ενέργειας δηλ. τα υγρά ορυκτά καύσιμα.*

Έτσι αποκλείεται η χρήση των άλλων φυσικών πηγών ενέργειας για τις μεταφορές. Βεβαίως αυτό δεν ισχύει για τα μέσα μεταφορών σταθερής τροχιάς (σιδηρόδρομος, μετρό, τραμ) και ημισταθερής τροχιάς (τρόλεϊ), τα οποία ήδη από δεκαετίες μπορούν να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από κάθε διαθέσιμη ενεργειακή πηγή (στερεά ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια, αιολικό δυναμικό, ήλιος, γεωθερμία κ.λ.π.). Προφανώς, τα μεταφορικά μέσα μη σταθερής τροχιάς (αυτοκίνητο, πλοίο, αεροπλάνο) ακόμη εξαρτώνται απόλυτα από τις μηχανές που καίουν πετρέλαιο και τα παράγωγά του. Πρέπει να επισημανθεί, όμως, ότι η τεχνολογική πρόοδος ακόμη δεν έχει προσφέρει λύση για τη μαζική αντικατάσταση του πετρελαίου στην κίνηση των οχημάτων.

*δ. Τα κινητήρια συστήματα που βασίζονται στις μηχανές εσωτερικής καύσεως δεν έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την πέδηση των μεταφορικών μέσων.*

Τα τεράστια ποσά κινητικής ενέργειας, που είναι αποθηκευμένη στις κινούμενες μάζες ( $K = \frac{1}{2} mu^2$ ), μετατρέπονται σε θερμότητα κατά την πέδηση δηλ. κατά τη διαδικασία μείωσης της ταχύτητας για οποιαδήποτε αιτία, καθώς και κατά την αποφυγή επικίνδυνων επιταχύνσεων στις κατωφέρειες των διαδρομών, όπου μία συνιστώσα του βάρους δρα ως κινητήρια δύναμη. Αντίθετα, αυτή η δυνατότητα υπάρχει στα ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς. Βεβαίως η αποθήκευση ή η ταυτόχρονη χρήση της ενέργειας, η οποία πρέπει να μετατραπεί από κινητική ενέργεια σε άλλη μορφή, αποτελεί ένα σύνθετο αλλά όχι άλυτο τεχνικό πρόβλημα. Σ' αυτή την κατεύθυνση έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται σοβαρές ερευνητικές εργασίες σε διεθνές επίπεδο, ειδικά μετά την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος.

Από την παραπάνω θεώρηση προκύπτει το συμπέρασμα, ότι η αναζήτηση τεχνολογιών για την άντληση ενέργειας για τις μεταφορές από κάθε διαθέσιμη ενεργειακή πηγή αποτελεί μονόδρομο για το μέλλον της ανθρωπότητας. Ιδιαίτερο ρόλο μπορούν να παίξουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των αποθηκευτών ενέργειας (ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, κυψέλες καυσίμου κ.λ.π.). Ειδικά η δημιουργία μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας και γρήγορης φόρτισης αποτελεί κορυφαίο στόχο, διότι σ' αυτές μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρική ενέργεια, προερχόμενη από κάθε πηγή ενέργειας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκές πηγές κ.λ.π.), αλλά και η ενέργεια κατά την πέδηση των μεταφορικών μέσων.

Πέραν όμως από την ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας, όπως είναι τα συστήματα πυρηνικής σύντηξης, η επιστήμη και η τεχνολογία πρέπει να βελτιώσει τόσο τις μηχανές εσωτερικής καύσης όσο και τα νέα συστήματα πρόωσης των μεταφορικών μέσων ως προς τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης. Η μείωση των απωλειών κατά τη μετατροπή ενέργειας ήταν και θα είναι πάντα ένας σπουδαίος στόχος της επιστήμης και της τεχνολογίας. Είναι αυτονόητο ότι μειώνοντας τις απώλειες, αφενός αντλούμε λιγότερη ενέργεια από τις φυσικές πηγές και αφετέρου αποβάλλεται λιγότερη ενέργεια υπό μορφή θερμότητας στο περιβάλλον, η οποία προκαλεί τις γνωστές βλαπτικές συνέπειες.

#### **4. Ο στόλος των μεταφορικών μέσων σε Παγκόσμιο, Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο, η κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές ρύπων**

Για τις αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον ευθύνονται κυρίως τα μεταφορικά μέσα κάθε είδους, τα οποία κινούνται με μηχανές καύσεως πετρελαίου. Τα μέσα αυτά αποτελούν κινούμενες πηγές ρυπαντικών ουσιών. Όμως, ρύποι παράγονται και σε όλα τα στάδια παραγωγής των υγρών καυσίμων, από την εξόρυξη μέχρι την αποθήκευσή των στις δεξαμενές αποθήκευσης επί των οχημάτων. Ομοίως, ρύποι παράγονται και στις βιομηχανίες κατασκευής των υλικών, από τα οποία δημιουργούνται όλα τα μέσα μεταφορών και από τα οποία τα κυριότερα είναι τα μεταλλικά και τα πλαστικά υλικά. Αλλά πρέπει να επισημανθεί ότι στις βιομηχανικές μονάδες της παραγωγής των υλικών, της διαμόρφωσης αυτών και της συναρμολόγησής των μέχρι την τελική δημιουργία των μέσων μεταφοράς, υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής διαφόρων τεχνολογιών για την κατακράτηση ορισμένων ρύπων. Αυτό είναι πολύ δύσκολο ή σχεδόν αδύνατο να εφαρμοσθεί στα μεμονωμένα οχήματα.

Ο αριθμός των μεταφορικών μέσων σε όλα τα μέρη του πλανήτη αυξάνεται διαρκώς ανάλογα με την πληθυσμιακή αύξηση και τους στόχους ευημερίας και βελτίωσης του επιπέδου ζωής. Υπάρχουν στατιστικά στοιχεία για διάφορες χρονικές περιόδους, χωρίς να είναι εύκολος ο ακριβής προσδιορισμός του αριθμού των μεταφορικών μέσων. Από τα στοιχεία που προέκυψαν από την αναζήτηση μέσω του διαδικτύου και άλλων πηγών, μπορούν, προσεγγιστικά, να δοθούν τ' ακόλουθα μεγέθη [10,11]:

1996: Σε παγκόσμιο επίπεδο ο συνολικός αριθμός των αυτοκινήτων (επιβατικά, λεωφορεία, φορτηγά) ήταν 671.358.000.

Για σύγκριση με προηγούμενα έτη αυτοί οι αριθμοί ήταν:	1970: 216.608.470
	1985: 484.000.000
	1996: 671.358.000

Κατ' εκτίμηση, σήμερα ο συνολικός αριθμός αυτοκινήτων ίσως είναι της τάξεως των 900.000.000. Εάν παραμείνει ο σημερινός ρυθμός ανάπτυξης, τότε το έτος 2030 ο στόλος των αυτοκινήτων επάνω στον πλανήτη θα αποτελείται από 1.200.000.000 μονάδες [11]. Όμως, η γρήγορη οικονομική ανάπτυξη πολυπληθών χωρών (Κίνα, Ινδία) μάλλον θα οδηγήσει σε μεγαλύτερους αριθμούς.

2004: Στις 25 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU25) ανά 1000 κατοίκους αντιστοιχούσαν 472 αυτοκίνητα [10], δηλ. ένα αυτοκίνητο ανά δύο κατοίκους περίπου. Αυτό σημαίνει ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση το έτος 2004 κυκλοφορούσαν περίπου 240.000.000 αυτοκίνητα, οπότε σήμερα ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι της τάξεως των 280.000.000.

2004: Στην Ελλάδα υπήρχαν 348 αυτοκίνητα ανά 1000 κατοίκους, δηλ. συνολικά κυκλοφορούσαν περίπου 3.500.000 αυτοκίνητα [10]. Σήμερα ο συνολικός αριθμός αυτοκινήτων στη χώρα μας πρέπει να κυμαίνεται περί τα 4.000.000.

2005: Στις Η.Π.Α. ήταν δηλωμένα ως «highway vehicles» 247.721.120 οχήματα, από τα οποία 136.568.083 ήταν επιβατικά αυτοκίνητα [12].

Σε ό,τι αφορά την παγκόσμια παραγωγή επιβατικών αυτοκινήτων, σύμφωνα με την πηγή [12], η κατάσταση έχει ως εξής (παρατίθεται ένα απόσπασμα από τα αριθμητικά στοιχεία που αναφέρονται σ' αυτήν την πηγή):

2006:	49.886.549
2007:	54.920.317
2008:	52.940.559
2009:	51.940.328 (αναμενόμενος αριθμός).

Επίσης παρατίθενται μερικά στοιχεία, για σύγκριση, για τους αριθμούς των παραγόμενων αυτοκινήτων (επιβατικά και φορτηγά) από χώρες με ισχυρή αυτοκινητοβιομηχανία [12]:

2006:	Κίνα:	7.188.708
	Γερμανία:	5.819.614
	Ιαπωνία:	11.884.233
	Η.Π.Α.:	11.263.986

Παγκόσμια παραγωγή συνολικά (επιβατικά και φορτηγά):

$$49.886.549 + 19.240.607 = 69.127.156$$

Σύμφωνα με την πηγή [13], το 2008, ο συνολικός αριθμός των μηχανών έλξεως των τραινών στον κόσμο, ντηζελοκίνητων και ηλεκτροκίνητων ήταν της τάξεως των 200.000. Κατ' εκτίμηση θα μπορούσε να θεωρηθεί, ότι το πλήθος των μηχανών έλξεως που βασίζονται στην μηχανή εσωτερικής καύσεως είναι της τάξεως των 100.000. Ο εξηλεκτρισμός των τραινών σε όλες τις χώρες προχωρεί και έτσι η ντηζελοκίνηση στα σιδηροδρομικά μέσα μεταφορών διαρκώς μειώνεται.

Ο στόλος των πλωτών μεταφορικών μέσων, σύμφωνα με την πηγή [14], έχει ως εξής:

- 2007: Ο παγκόσμιος στόλος εμπορικών σκαφών χωρητικότητας μεγαλύτερης των 1000 τόννων αποτελούνταν από 34.882 μονάδες.
- 2002: Ο παγκόσμιος στόλος πολεμικών πλοίων προσμετρούσε 1240 μονάδες, χωρίς να συμπεριλαμβάνονται μικρά σκάφη όπως τα περιπολικά.
- 2009: Σε όλον τον κόσμο βρίσκονται σε λειτουργία συνολικά περίπου 55.000 εμπορικά πλοία, στα οποία συγκαταλέγονται τα φορτηγά πλοία, τα επιβατικά και τα πλοία ειδικών σκοπών.
- 2004: Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών εκτιμούσε ότι σε λειτουργία υπήρχαν 4.000.000 αλιευτικά σκάφη.

Με εξαίρεση των υποβρυχίων σκαφών, όλα τα άλλα πλωτά μεταφορικά μέσα κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσεως.

Οι εκτιμήσεις σε ό,τι αφορά τον αριθμό των εναέριων μεταφορικών μέσων σύμφωνα με την πηγή[15], έχουν ως εξής:

- 2002: Οι πληροφορίες από τον Οργανισμό FAA (Federal Aviation Administration) συνέκλιναν στον συνολικό αριθμό των αεροσκαφών, με σταθερό ή αναδιπλούμενο γραναζωτό σύστημα προσγείωσης, 273.870. Βέβαια, ο αριθμός αυτός αφορά στα αεροσκάφη που είναι εγγεγραμμένα στον FAA. Εξαιρούνται όσα είναι δηλωμένα εκτός USA και πιθανώς τα στρατιωτικά αεροσκάφη. Έτσι θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι σε παγκόσμιο επίπεδο συνολικά υπάρχουν ένα έως τρία εκατομμύρια αεροσκάφη όλων των ειδών. Ειδικά για τα στρατιωτικά αεροσκάφη υπάρχει το ζήτημα, ότι ο ακριβής αριθμός αυτός διατηρείται μυστικός.

Προφανώς όλα τα αεροσκάφη καταναλώνουν υγρά καύσιμα για τις πτήσεις τους με τις αυτονόητες εκπομπές ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον.

Εάν εξαιρέσουμε τα σιδηροδρομικά μεταφορικά μέσα, στα οποία υπερισχύει η ηλεκτροκίνηση, όλα τα μέσα μεταφορών καταναλώνουν υγρά καύσιμα και αποτελούν κινητές πηγές μόλυνσης, αποβάλλοντας στο φυσικό περιβάλλον ρύπους. Στον πίνακα I παρουσιάζονται οι κυριότερες ρυπογόνες κινητές πηγές, το είδος καυσίμου και οι εκπεμπόμενοι ρύποι [8].

*Πίνακας I: Κινητές ρυπογόνες πηγές και οι εκπεμπόμενοι ρύποι [8, σελ.128]*

<b>Τύπος μηχανής</b>	<b>Καύσιμο</b>	<b>Κύριοι ρύποι</b>	<b>Μέσον</b>
Τετράχρονη (Otto)	βενζίνη	HC, CO,CO <sub>2</sub> ,NO <sub>x</sub>	αυτοκίνητα, δίτροχα
Δίχρονη	βενζίνη	HC, CO,CO <sub>2</sub> ,NO <sub>x</sub> , σωματίδια	δίτροχα, εξωλέμβιες
Πετρελαίου (Diesel)	πετρέλαιο	NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> σωματίδια	αυτοκίνητα γενικώς, πλοία
Στροβιλοκινητήρας (αεροπλάνα)	κηροζίνη	NO <sub>x</sub> , σωματίδια, CO <sub>2</sub>	αεροπλάνα, τραίνα

Ο πίνακας II δείχνει τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις αντίστοιχες ετήσιες ποσότητες για προγενέστερη χρονική περίοδο (δεκαετία του '90) στις ΗΠΑ [8, σελ.21]. Τα ποσοτικά στοιχεία διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή της γης. Αλλά τα είδη των ρύπων και ο συσχετισμός μεταξύ των πηγών μπορεί να θεωρηθούν ότι ισχύουν γενικά. Ειδικότερα, γίνεται σαφές ότι από τα μεταφορικά μέσα προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος του εκπεμπόμενου

μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO,NO<sub>2</sub>) και των υδρογονανθράκων (H/C).

Πίνακας II: Οι κυριότερες πηγές ρύπων και οι αντίστοιχες ετήσιες ποσότητες κατά τη δεκαετία του '09 στις ΗΠΑ [8, σελ.21]

ΠΗΓΗ	ΡΥΠΟΣ (εκατομμύρια τόνοι/έτος)					
	CO	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>	NO, NO <sub>2</sub>	H/C	Σωματίδια	Σύνολο
<b>ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ:</b>						
Αυτοκίνητα	67.3	0.3	7.0	12.7	0.7	88.0
Άλλα	3.9	0.1	1.0	1.1	0.5	6.6
Σύνολο	71.2	0.4	8.0	13.8	1.2	94.6
<b>ΚΑΥΣΕΙΣ:</b>						
Παρ. Ηλεκτρικής Ενέργειας	0.1	14.0	3.5	-	2.3	19.9
Βιομηχανία	0.3	5.5	3.1	0.1	3.0	12.0
Οικιακή θέρμανση	1.3	1.8	0.5	0.6	0.4	4.6
Άλλα	0.2	0.7	0.4	-	0.3	1.6
Σύνολο	1.9	22.0	7.5	0.7	6.0	38.1
<b>Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων</b>						
Διάφορες κατεργασίες	4.5	0.1	0.7	1.4	1.2	7.9
Διάφορα	7.8	7.2	0.2	3.5	5.9	24.6
Σύνολο	1.2	0.6	0.2	4.2	0.4	6.6
<b>ΣΥΝΟΛΑ</b>	<b>86.6</b>	<b>30.3</b>	<b>16.6</b>	<b>23.6</b>	<b>14.6</b>	<b>172.8</b>

Για να προσεγγίσουμε την ποσότητα των ρύπων που εκλύονται στο περιβάλλον από τα αυτοκίνητα που κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσεως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως βάση τον πίνακα III, που περιλαμβάνεται στο σύγγραμμα [8, σελ.121].

Πίνακας III: Ποσότητες ρύπων (g/kg) κατά την καύση τυπικών καυσίμων [8, σελ.121]

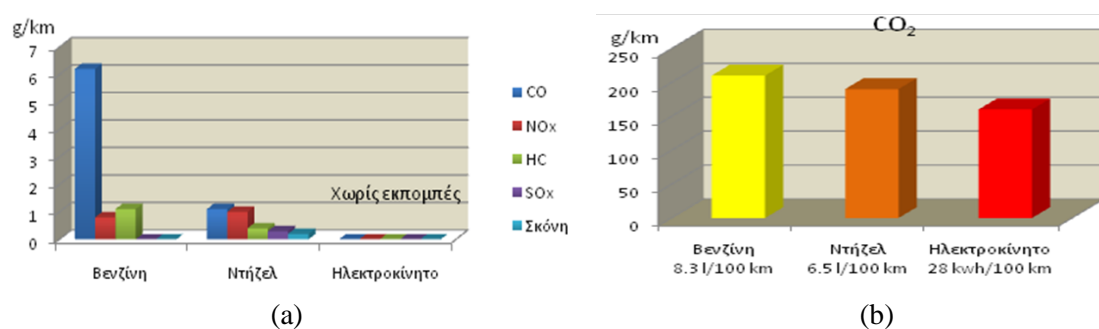
Ρύπος	Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί (g/kg καύσιμου)			Καύση απορριμμάτων (g/kg απορρίμματος)		Μη-ελεγχόμενες εκπομπές αυτοκινήτων (g/kg καυσ.)	
	στερεά καύσιμα	υγρά καύσιμα	αέρια καύσιμα	ελεύθερη καύση	κλειστή καύση	βενζίνη	πετρέλαιο
CO	0	0	0	50	0	165	0
SO <sub>2</sub>	20xS*	20xS	16xS	1.5	1.0	0.8	7.5
NO <sub>2</sub>	0.43	0.68	0.16	2.0	1.0	16.5	16.6
αλδεΐδες κετόνες	0	0.003	0.00`	3.0	0.5	0.8	1.6
ολικοί HC	0.43	0.05	0.005	7.5	0.5	33.0	30.0
σωματίδια	75xΣ*	2.8xΣ	0	11	11	0.05	18.0

S\* = % περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο

Σ\* = % περιεκτικότητα στάχτης στο καύσιμο.

Παρατηρούμε ότι στους πίνακες II και III, όπως συμβαίνει πολύ συχνά και σε άλλες εργασίες, δεν περιλαμβάνεται η εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Αυτό συμβαίνει, επειδή ως φυσικό υλικό το CO<sub>2</sub> δεν είναι άμεσα τοξικό και είναι πολύ σημαντικό για τη ζωή επάνω στη γη, καθώς τα φυτά το χρειάζονται για τη φωτοσύνθεση και συνεπώς οι τροφές των ανθρώπων και των ζώων εξαρτώνται από αυτό. Όμως, η συσσώρευση του στην

ατμόσφαιρα πέρα μιας οριακής ποσότητας οδηγεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με τις γνωστές σοβαρές επιπτώσεις στο κλίμα. Στο σχήμα (1.a και 1.b) παρουσιάζεται μέσω ιστογράμματος η μέση ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων (g/km), που παράγονται από οχήματα με διαφορετική κινητήρια μηχανή σε κυκλοφορία εντός μιας Ευρωπαϊκής πόλεως [16]. Παρατηρούμε ότι το CO κατέχει την πρώτη θέση μεταξύ των ρύπων άμεσης εκπομπής και ότι το CO<sub>2</sub>, που αποτελεί έναν έμμεσο ρυπαντή εκλύεται σε μεγάλες ποσότητες στο περιβάλλον. Επίσης περιλαμβάνονται τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, τα οποία προφανώς δεν εκπέμπουν κανένα ρύπο στον τόπο της κυκλοφορίας τους. Επίσης στο ίδιο σχήμα (1.b) βλέπουμε την παραγόμενη ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) εκφρασμένη σε (g/km) για βενζινοκίνητα σχήματα θεωρώντας μέση κατανάλωση σε αστική κυκλοφορία 8,3 l/100 km, για ντιζελοκίνητα με μέση κατανάλωση 6,5 l/100 km και για ηλεκτροκίνητα με μέση κατανάλωση 28 kWh/100 km. Για τα οχήματα με ηλεκτροκινητήρα λαμβάνεται υπόψη η εκπομπή CO<sub>2</sub> στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όταν χρησιμοποιούνται στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα [16].



Σχ.1. Σύγκριση εκπομπών μεταξύ τριών διαφορετικών κινητηρίων συστημάτων [16]

(a) Τοπικές εκπομπές ρύπων κατά την κυκλοφορία σε Ευρωπαϊκή πόλη

(b) Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά την κυκλοφορία σε Ευρωπαϊκή πόλη λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές κατά την ηλεκτροπαραγωγή.

Από τα παραπάνω και ειδικότερα από τις ενδεικτικές πληροφορίες που παρέχει το σχήμα 1, το οποίο προέκυψε από σοβαρή ερευνητική μελέτη στη Γερμανία, γίνεται σαφές, ότι τα κινητήρια συστήματα που βασίζονται στα υγρά καύσιμα και στις μηχανές εσωτερικής καύσεως εκπέμπουν στο φυσικό περιβάλλον μεγάλα ρυπαντικά φορτία. Η ριζική αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι εφικτή, εάν χρησιμοποιηθεί η ηλεκτροκίνηση στα οχήματα («οχήματα μηδενικών ρύπων»)

Για να συνειδητοποιήσουμε το μέγεθος του ρυπαντικού φορτίου που προέρχεται μόνο από τα οδικά οχήματα του πλανήτη, αρκεί να κάνουμε την ακόλουθη υπόθεση εργασίας, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει την πραγματικότητα:

*Εστω ότι επάνω στη γη κυκλοφορούν ένα δισεκατομμύριο (10<sup>9</sup>) αυτοκίνητα και ότι καθένα από αυτά διανύει σε ετήσια βάση κατά μέσο όρο 25.000 km. Ας θεωρήσουμε ότι η τεχνολογία αυτών των οχημάτων είναι τέτοια, ώστε οι εκπομπές τους να συμφωνούν με τα μεγέθη του σχήματος 1 και η μέση κατανάλωσή τους ν' ανέρχεται σε 8,0 l/100 km. Τότε απαιτείται ετήσια κατανάλωση καυσίμου της τάξεως των 0,08 l/100 km x 25.000 km x 10<sup>9</sup> = 2 x 10<sup>12</sup> l = 2 x 10<sup>9</sup> ton = 2 δισεκατομμυρίων τόννων. Από την καύση αυτής της ποσότητας θα προκύψουν ετήσια οι εκπομπές: 200 g/km x 25.000 km x 10<sup>9</sup> = 0,2 kg x 25 x 10<sup>12</sup> = 5 x 10<sup>9</sup> ton = 5 δισεκατομμύρια τόννοι CO<sub>2</sub>, 150 x 10<sup>6</sup> ton = 150 εκατομμύρια τόννοι CO, 0,5 g/km x 25.000 km x 10<sup>9</sup> = 1,25 10<sup>6</sup> ton = 1,25 εκατομμύρια τόννοι NO<sub>x</sub>, 20 εκατομμύρια τόννοι HC και στην περίπτωση του ντιζέλ περίπου 2,5 εκατομμύρια τόννοι σωματιδίων (σκόνη).*

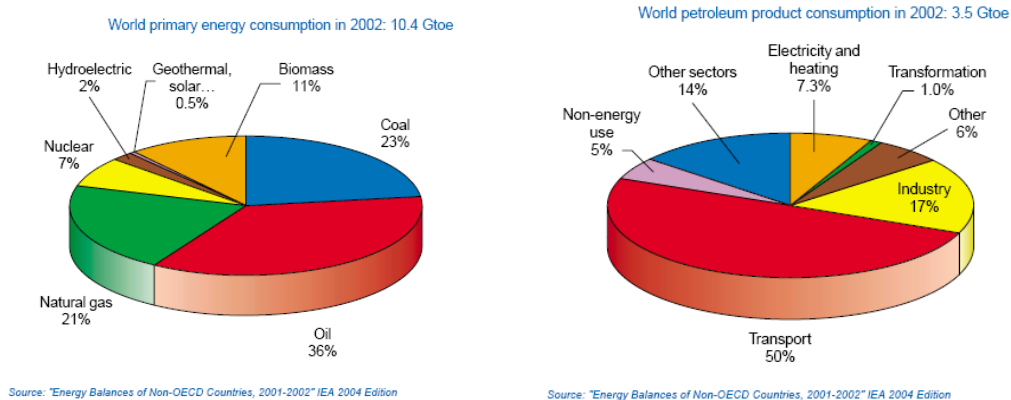
Τα παραπάνω ποσά, όσο και αν αποτελούν μια προσέγγιση μόνον, αρκούν να δώσουν σαφή εικόνα των περιβαλλοντικών κινδύνων, οι οποίοι επιτείνονται όσο περνάει ο χρόνος λόγω της αύξησης του αριθμού των οχημάτων επάνω στον πλανήτη. Ασφαλώς, πρέπει να

προστεθούν και οι ρύποι που προέρχονται από τα πλοία και τα αεροπλάνα και κάθε μεταφορικό μέσο, του οποίου η κίνηση βασίζεται στην καύση πετρελαίου. Η γήινη ατμόσφαιρα έχει κάποια δυνατότητα να δεχθεί ρύπους από την ανθρώπινη δραστηριότητα, αλλά μάλλον είμαστε πολύ κοντά στα όρια αυτής της δυνατότητας. Επομένως, η ανθρωπότητα πρέπει να στραφεί σε νέες τεχνολογίες κίνησης των μεταφορικών, οι οποίες να μας αποδεσμεύσουν από τα υγρά καύσιμα χωρίς να μειωθεί το μεταφορικό έργο.

## 5. Μεταφορές, ενεργειακές απαιτήσεις, σημερινή κατάσταση και προοπτικές

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε τις εκτιμήσεις για την αριθμητική εξέλιξη του στόλου κάθε κατηγορίας μεταφορικών μέσων καθώς και την ενεργειακή κατανάλωση και τις συνακόλουθες εκπομπές ρύπων στα οδικά οχήματα. Τώρα θα εξετασθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις των μεταφορών σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο, με σκοπό τη δημιουργία ολοκληρωμένης αντίληψης για το ενεργειακό ζήτημα της σημερινής εποχής και του άμεσου μέλλοντος.

Στη βιβλιογραφία πηγή [18] αναφέρονται ενδιαφέροντα στοιχεία για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας προερχόμενη από κάθε φυσική πηγή και ειδικότερα για την κατανάλωση πετρελαίου στους διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στο σχήμα 2 (μεταφέρεται αυτούσιο από την πηγή 18) απεικονίζεται η ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας κατά το έτος 2002 [18]. Νεότερα στοιχεία από άλλες πηγές επιβεβαιώνουν αυτές τις τάσεις για την ποσοστιαία κατανομή, που μπορούν να θεωρηθούν ότι ισχύουν και στην εποχή μας και θα ισχύουν και στο άμεσο μέλλον. Τα απόλυτα μεγέθη, βέβαια, της συνολικής κατανάλωσης βαίνουν αυξανόμενα.

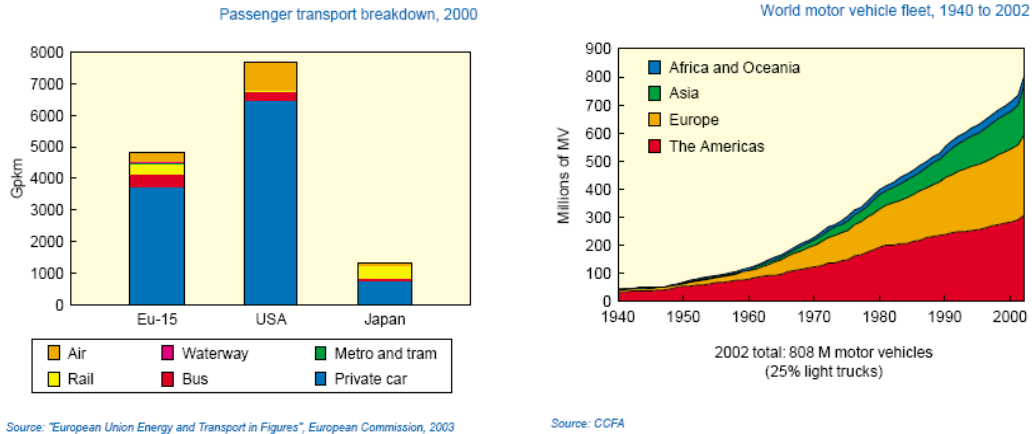


Σχ. 2. Ποσοστιαία κατανομή της παγκόσμιας πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης και της κατανάλωσης πετρελαίου το έτος 2002 [18].

Παρατηρούμε ότι το πετρέλαιο ως πρωτογενής πηγή αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό (36%) της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης μεταξύ όλων των σημερινών ενεργειακών πηγών και ότι στις μεταφορές καταναλώνεται το 50% του συνολικά παραγόμενου πετρελαίου. Τούτο αναδεικνύει τη μεγάλη σημασία του πετρελαίου για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη και ταυτόχρονα την αυτονόητη σημασία της ανεξάρτητης από αυτή την ενεργειακή πηγή.

Στο σχήμα 3 τα ιστογράμματα παρουσιάζουν στοιχεία για τις μεταφορές επιβατών ανά μεταφορικό μέσο για τρεις οικονομικά ισχυρές κοινωνίες του πλανήτη κατά το έτος 2000 [18]. Επίσης, στο ίδιο σχήμα βλέπουμε την αύξηση του μηχανοκίνητου στόλου οχημάτων από το 1940 έως το 2002. Το έτος 2002 οι συνολικές μετακινήσεις επιβατών ανέρχονταν σε 13.760 δισεκατομμύρια επιβατοχιλιόμετρα (13.760 Giga passenger - kms), από τις οποίες το

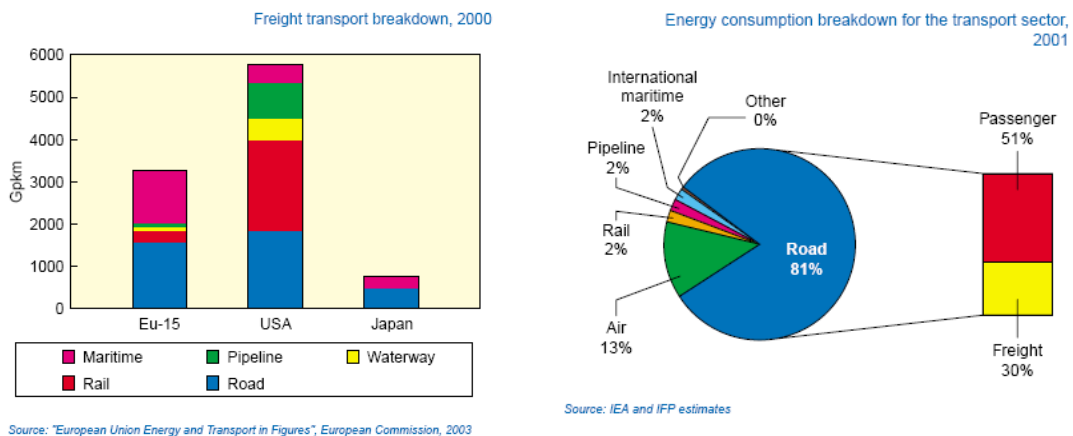
96% ήταν οδικές μετακινήσεις με ιδιωτικά αυτοκίνητα και λεωφορεία. Το υπόλοιπο 4% ήταν μετακινήσεις με αεροπλάνο, τρέινο, μετρό, τράμ και πλωτά μεταφορικά μέσα.



Σχ. 3. Στοιχεία για τις μεταφορές επιβατών το 2000 και η χρονική αύξηση του μηχανοκίνητου στόλου οχημάτων κατά την περίοδο 1940 ... 2002 [18, αυτούσια μεταφορά διαγραμμάτων].

Τα στοιχεία αυτά έχουν ιδιαίτερη αξία για την αξιολόγηση του μεταφορικού έργου του αυτοκινήτου από κάθε άποψη, αλλά κυρίως από την άποψη ότι η επιστήμη, η τεχνολογία και οι πολιτικές αποφάσεις πρέπει να επικεντρωθούν στις αλλαγές, που πρέπει να γίνουν για τη δημιουργία νέων οχημάτων και τη λειτουργία αυτών.

Ενδιαφέροντα στοιχεία προκύπτουν από το σχήμα 4 [18] για τις μεταφορές αγαθών με τα διάφορα διαθέσιμα μεταφορικά συστήματα και μέσα στις πιο αναπτυγμένες κοινωνίες του πλανήτη κατά το έτος 2000. Επίσης, παρουσιάζεται η ποσοστιαία ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης ανά τομέα μεταφοράς για τη μεταφορά των αγαθών κατά το έτος 2001.



Σχ. 4. Στοιχεία για τις μεταφορές αγαθών το έτος 2000 καθώς και για την ενεργειακή κατανάλωση των μεταφορών κατά το έτος 2001 ανά κλάδο μεταφορών [18, αυτούσια μεταφορά διαγραμμάτων].

Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά στοιχεία, που προκύπτουν από ειδικές στατιστικές μελέτες από Φορείς σε διάφορες χώρες του κόσμου, γίνεται απολύτως σαφές, ότι η ανθρωπότητα πρέπει να στραφεί χωρίς χρονοκαθυστερήσεις προς την ανάπτυξη νέων οδικών μεταφορικών μέσων με προεξάρχοντα στόχο την παραγωγή μεταφορικού έργου χωρίς εκπομπές ρυπογόνων ουσιών στο περιβάλλον. Σύμφωνα με τις σημερινές επιστημονικές και τεχνολογικές γνώσεις, και απ' ό, τι διαφαίνεται και στις μελλοντικές, η δυνατότητα της

ηλεκτροκίνησης των μέσων μεταφοράς είναι υπαρκτή και αυξανόμενη. Η αναγκαιότητα της χρήσης οχημάτων φιλικών προς το περιβάλλον σε συνδυασμό με την κατανάλωση λιγότερης και καθαρότερης ενέργειας είναι μέγιστη. Απομένει η σωστή και γρήγορη λήψη αποφάσεων για τη στροφή προς τα οδικά, κυρίως, μεταφορικά μέσα της νέας και «καθαρής» τεχνολογίας.

## 6. Συμπεράσματα

Η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης στις παγκόσμιες, ευρωπαϊκές και εθνικές μεταφορές και η σύντομη παρουσίαση των ενεργειακών απαιτήσεων για την παραγωγή μεταφορικού έργου με όλα τα σύγχρονα μεταφορικά μέσα οδηγεί σε δύο σαφείς διαπιστώσεις: α) Η ανθρωπότητα, για να διατηρήσει το σημερινό επίπεδο ζωής και πολύ περισσότερο να διευρύνει της δραστηριότητές της για την περαιτέρω αναβάθμιση των συνθηκών ζωής όλων των ανθρώπων του πλανήτη, χρειάζεται μεγάλα ποσά ενέργειας. β) Η χρήση του πετρελαίου για την παραγωγή κινητικής ενέργειας που είναι απαραίτητη για τις μετακινήσεις ανθρώπων και αγαθών προκαλεί τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα. Συνεπώς η στροφή προς την «καθαρή» παραγωγή μεταφορικού έργου αποτελεί μονόδρομο. Η ανάπτυξη των ηλεκτροκίνητων μέσων μεταφοράς είναι εφικτή και βέλτιστη λύση.

## Ενδεικτική βιβλιογραφία

- [1] Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Λαρούς Μπριτάνικα, Τόμος 42, Λήμμα «**Μεταφορές**», Πάπυρος 1996.
- [2] Λ. Σ. Σκαρτσής, Γ. Α. Αβραμίδης: «**ΟΧΗΜΑΤΑ (ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΑ)**», **ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ, ΟΧΗΜΑ ΚΑΙ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ, MADE IN GREECE**, ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΠΑΤΡΩΝ, ΤΥΡΟΡΑΜΑ, 2003, σελ. 31...33.
- [3] Albert Kloss: «**Elektrofahrzeuge, vom Windwagen zum Elektromobil**», VDE VERLAG, 1996.
- [4] Michael H. Westbrook: «**THE ELECTRIC CAR, Development and future of battery, hybrid and fuel – cell cars**», IEE POWER AND ENERGY SERIES 38, 2001.
- [5] JEREMY RIFKIN: «**Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ, Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΙΣΤΟΥ ΚΑΙ Η ΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΞΟΥΣΙΑΣ ΣΤΗ ΓΗ, Η επόμενη Μεγάλη Οικονομική Επανάσταση**», Α. Α. ΛΙΒΑΝΗ, 2003.
- [6] ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ – HOW IT WORKS, ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΑ, 1978 Marshall Cavendish Limited – 1979, Για την ελληνική γλώσσα, Εκδόσεις «ΑΛΚΥΩΝ», Λήμμα «**Μεταφορικά συστήματα**», Τόμος 8, κ.α.
- [7] Αλέξανδρος Γεωργόπουλος: «**ΓΗ, ΕΝΑΣ ΜΙΚΡΟΣ ΚΑΙ ΕΥΘΡΑΥΣΤΟΣ ΠΛΑΝΗΤΗΣ**», GUTENBERG, ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, 1998.
- [8] Ιωάννης Β. Γεντεκάκης: «**ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ, Επιπτώσεις, Έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες**», Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 1999.
- [9] Α. Θ. ΣΔΟΥΚΟΥ, Φ. Ι. ΠΟΜΩΝΗ: «**ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΧΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**», Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1991.

- [10] Eurostat, news release, 125/2006 – 19 September 2006, <http://ec.europa.eu/eurostat/>, 18/04/2009.
- [11] Los Gatos, California, [http://ask.yahoo.com/2006\\_1013.html](http://ask.yahoo.com/2006_1013.html), The Physics Factbook, Edited by Green Elect, 18/04/2009.
- [12] Worldometers – world statistics: «How many cars are there in the world currently?», Bureau of Transportation Statistics U.S. Department of Transportation, <http://www.worldometers.info/cars>, 18/04/2009.
- [13] <http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20080813184346AAWNd40>, 18/04/2009.
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ship#cite\\_note\\_unctado7x\\_o](http://en.wikipedia.org/wiki/Ship#cite_note_unctado7x_o), 18/04/2009.
- [15] <http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20070111103334A...>
- [16] ARGE Prüfungsgemeinschaft: «**Das Elektroauto, mit Strommobil, Eine Information Ihres Stromversorgers über Elektrostrassenfahrzeuge**», 2. Auflage, Berlin 1993.
- [17] Safacas A., Tatakis E.: «**Electric vehicles – current activities and perspectives**», International Power Electronics and Motion Control Conference and Exhibition (PEMC'96), Budapest, Hungary, September 2-4, 1996, Vol. 2, pp. 2/110...2/117 (Invited paper)
- [18] PANORAMA 2005: «**Energy Consumption in the Transport Sector**», IFP-Information, [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr), 18/04/2009.
- [19] Energy Information Administration: «International Energy Outlook 2008», <http://www.eia.dol.gov/oiaf/ieo/highlights.html>, 18/04/2009.