



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

***Ο τομέας των οδικών μεταφορών και η ενεργειακή μετάβαση:
Συσχέτιση τεχνολογικών, οικονομικών και πολιτικών παραμέτρων
με χρήση υπολογιστικών μεθόδων***

της

Αικατερίνης Γ. Τσίτα

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ομότιμος Καθηγητής Πέτρος Α. Πηλαβάκης (ΠΔΜ)

Τριμελής Επιτροπή:

Καθηγητής Αναστάσιος Γ. Μπακιρτζής (ΑΠΘ)

Καθηγητής Άγις Μ. Παπαδόπουλος (ΑΠΘ)

Κοζάνη, 2016

στα παιδιά μου
Δέσποινα, Αναστασία, Ιωάννη

Περίληψη

Η διατριβή έχει ως στόχο την ανάλυση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα εξετάζοντας τη μετάβασή του στη νέα ενεργειακή πραγματικότητα χαμηλών εκπομπών CO₂. Μελετάται η συσχέτιση τεχνολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών παραμέτρων με χρήση υπολογιστικών μεθόδων.

Αρχικά, περιγράφονται τα διάφορα καύσιμα και οι τεχνολογίες του τομέα των μεταφορών. Παρουσιάζονται τα υφιστάμενα καύσιμα και τεχνολογίες στις μεταφορές: α) Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, β) Φυσικό Αέριο και Υγραέριο, γ) Υγρά Βιοκαύσιμα 1ης γενιάς (βιοντίζελ και βιοαιθανόλη) και δ) Ηλεκτροκίνηση (υβριδικά οχήματα, επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα και ηλεκτρικά οχήματα). Ακολούθως, παρουσιάζονται τα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των μεταφορών που δεν είναι σε εμπορική εφαρμογή σήμερα: α) υγρά βιοκαύσιμα 2ης γενιάς (βιοντίζελ 2ης γενιάς, βιοαιθανόλη 2ης γενιάς, βιομεθανόλη, ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης), β) υγρά βιοκαύσιμα 3ης γενιάς από άλγη, γ) αέρια βιοκαύσιμα 2ης γενιάς (βιο-υδρογόνο, βιοσυνθετικό φυσικό αέριο, βιοδιμεθυλαιθέρας) και δ) κυψέλες καυσίμου.

Αναπτύσσονται δύο μοντέλα αξιολόγησης με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Το πρώτο μοντέλο αξιολογεί καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα, σε σχέση με οικονομικά κριτήρια (κόστος εφαρμογής, κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας και κόστος παραγωγής ενέργειας) και πολιτικά κριτήρια (εκπομπών CO₂, ενεργειακή ασφάλεια, δημιουργία απασχόλησης και κοινωνικός πλούτος). Παρουσιάζεται το λογισμικό Expert Choice που υλοποιεί τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και παρατίθενται τα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων.

Ακολούθως, αναπτύσσεται δεύτερο μοντέλο για την αξιολόγηση σεναρίων καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα σε σχέση με τεχνολογικά κριτήρια (τεχνολογική ωριμότητα και διαθεσιμότητα υποδομών), οικονομικά κριτήρια (κόστος παραγωγής ενέργειας, κόστος επένδυσης, κόστος υποδομών, κόστος εφαρμογής και κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας), κοινωνικά κριτήρια (κοινωνικός πλούτος, δημόσια

αποδοχή και ανταγωνισμός με τρόφιμα) και πολιτικά κριτήρια (δημιουργία απασχόλησης, ενεργειακή ασφάλεια και εκπομπές CO₂). Παρατίθενται τα δεδομένα των κριτηρίων αξιολόγησης, αναλύονται τα διάφορα σενάρια και τέλος συγκρίνονται και σχολιάζονται τα διάφορα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, μοντελοποιείται ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα με τη χρήση του λογισμικού Long-range Energy Alternative Planning (LEAP) και παρατίθενται δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών CO₂ ανά καύσιμο και τύπο οχημάτων (ελαφρά - βαρέα). Παρουσιάζεται το λογισμικό LEAP και ο τρόπος λειτουργίας του.

Κατόπιν, αναλύονται διάφορα σενάρια διεύθυνσης καυσίμων και τεχνολογιών. Αρχικά, το σενάριο αναφοράς που είναι η παρούσα τάση εξέλιξης προσομοιώνεται, ώστε να υπολογισθεί η προβολή στο μέλλον (2050) των καυσίμων και των αντίστοιχων εκπομπών τους, χωρίς την εφαρμογή νέων πολιτικών και μέτρων (σε σχέση με τις υφιστάμενες του 2010). Ακολούθως, αναλύονται δύο εναλλακτικά σενάρια με διαφορετικό βαθμό διεύθυνσης καυσίμων και τεχνολογιών στον στόλο των οχημάτων ως προς την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ και συγκρίνονται τόσο με το σενάριο αναφοράς όσο και μεταξύ τους.

Τέλος, μελετάται η τυχόν μακροχρόνια έλλειψη διαθεσιμότητας ή περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας πρωτογενών καυσίμων (αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας) και οι επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια.

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής δεν θα ήταν δυνατή, αν όλα αυτά τα χρόνια δεν είχα την αμέριστη συμπαράσταση και καθοδήγηση ανθρώπων που με υποστήριξαν σε κάθε μου βήμα.

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής, Ομότιμο Καθηγητή κ. Πέτρο Α. Πηλαβάκη για την εμπιστοσύνη του και που επέβλεψε από πολύ κοντά την εξέλιξη της διατριβής και συνέβαλε αποφασιστικά στην ολοκλήρωσή της με την συνεχή συμπαράσταση, ενθάρρυνση και καθοδήγησή του. Ιδιαίτερη μνεία οφείλω στην ευγενική και φιλική συμπεριφορά του στην μακρόχρονη αυτή πορεία.

Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής, τον καθηγητή Αναστάσιο Μπακιρτζή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΑΠΘ και τον καθηγητή Άγι Παπαδόπουλο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών ΑΠΘ για τις συμβουλές και την βοήθειά τους.

Ευχαριστώ επίσης την Δρ. Στέλλα Μπεζεργιάννη, Ερευνήτρια Β' στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) για τις πολύτιμες συμβουλές της, καθώς και τον Δρ. Γεώργιο Μέλλιο, Διευθύνοντα Σύμβουλο της εταιρίας Emissia ΑΕ για την ευγενική παροχή δεδομένων για τα οχήματα που κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου, Γεώργιο και Αναστασία, για τη δύναμη που μου δίνουν κάθε στιγμή της ζωής μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες τον σύζυγό μου, Δρ. Σπύρο Κιαρτζή καθώς και στα παιδιά μου, Δέσποινα, Αναστασία και Ιωάννη για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
1. Εισαγωγή	14
1.1 Σκοπός της διατριβής	18
1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας	18
1.2.1 Ενέργεια και μεταφορές στην Ευρωπαϊκή Ένωση	23
1.2.2 Ενέργεια και μεταφορές στην Ελλάδα	25
1.2.3 Λήψη αποφάσεων με χρήση Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	27
1.2.4 Αξιολόγηση σεναρίων με χρήση λογισμικού LEAP	29
1.3 Αντικείμενο της διατριβής	31
1.4 Δομή των κεφαλαίων της διατριβής	33
2. Καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα μεταφορών	36
2.1 Υφιστάμενα καύσιμα και τεχνολογίες στις μεταφορές	36
2.1.1 Μηχανές εσωτερικής καύσης	37
2.1.2 Φυσικό αέριο	37
2.1.3 Υγρά βιοκαύσιμα 1 ^{ης} γενιάς	38
2.1.3.1 Βιοαιθανόλη 1 ^{ης} γενιάς	39
2.1.3.2 Βιοντίζελ 1 ^{ης} γενιάς	39

2.1.4 Ηλεκτροκίνηση	40
2.1.4.1 Υβριδικά οχήματα	40
2.1.4.2 Επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα	41
2.1.4.3 Ηλεκτρικά οχήματα	42
2.2 Νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των μεταφορών	43
2.2.1 Υγρά βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς	43
2.2.1.1 Βιοαιθανόλη 2 ^{ης} γενιάς	44
2.2.1.2 Βιομεθανόλη	45
2.2.1.3 Βιοντίζελ 2 ^{ης} γενιάς	46
2.2.1.4 Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	46
2.2.2 Υγρά βιοκαύσιμα 3 ^{ης} γενιάς	47
2.2.3 Αέρια βιοκαύσιμα 2 ^{ης} γενιάς	48
2.2.3.1 Βιο-υδρογόνο	48
2.2.3.2 Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	49
2.2.3.3 Βιοδιμεθυλαιθέρας	50
2.2.4 Κυψέλες καυσίμου	50
3. Αξιολόγηση νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών	52
3.1 Συσχέτιση των τεχνολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών παραμέτρων	52
3.1.1 Τεχνολογικές παράμετροι	52
3.1.1.1 Τεχνολογική ωριμότητα	53

3.1.1.2 Διαθεσιμότητα υποδομών	54
3.1.2 Οικονομικές παράμετροι	54
3.1.2.1 Κόστος εφαρμογής	55
3.1.2.2 Κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας	55
3.1.2.3 Κόστος παραγωγής ενέργειας	56
3.1.2.4 Κόστος επένδυσης	57
3.1.2.5 Κόστος υποδομών	57
3.1.3 Πολιτικές παράμετροι	58
3.1.3.1 Εκπομπές CO ₂	58
3.1.3.2 Ενεργειακή ασφάλεια	59
3.1.3.3 Δημιουργία απασχόλησης	60
3.1.3.4 Κοινωνικός πλούτος	62
3.1.4 Κοινωνικές παράμετροι	62
3.1.4.1 Δημόσια αποδοχή	63
3.1.4.2 Ανταγωνισμός με τρόφιμα	64
3.2 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	64
3.2.1 Λογισμικό Expert Choice	66
3.3 Αξιολόγηση καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών (περίπτωση α΄) με χρήση ΑΙΔ	70
3.3.1 Δομή ιεραρχίας ΑΙΔ και κριτήρια αξιολόγησης	71
3.3.2 Δεδομένα κριτηρίων αξιολόγησης	72

3.3.3 Ανάλυση σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α')	74
3.3.4 Αποτελέσματα σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών	84
3.4 Αξιολόγηση καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β') με χρήση ΑΙΔ	85
3.4.1 Δομή ιεραρχίας ΑΙΔ και κριτήρια αξιολόγησης	85
3.4.2 Δεδομένα κριτηρίων αξιολόγησης	86
3.4.3 Ανάλυση σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα	91
3.4.4 Αποτελέσματα σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα	100
4. Μοντελοποίηση του τομέα οδικών μεταφορών στην Ελλάδα	102
4.1 Ο τομέας των οδικών μεταφορών	102
4.2 Λογισμικό LEAP	104
4.2.1 Δομή λειτουργίας LEAP	106
4.3 Μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών με χρήση του λογισμικού LEAP	110
5. Ανάλυση των σεναρίων διεύθυνσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα	114
5.1 Το σενάριο αναφοράς	114
5.1.1 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στον στόλο οχημάτων	116
5.1.2 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στις πωλήσεις νέων οχημάτων	118

5.1.3 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στην κατανάλωση ενέργειας	121
5.1.4 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στις εκπομπές CO ₂	123
5.2 Ανάλυση σεναρίων του τομέα οδικών μεταφορών	125
5.3 Αποτελέσματα σεναρίων διεύθυνσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα	127
5.3.1 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στον στόλο οχημάτων	127
5.3.2 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στις πωλήσεις νέων οχημάτων	130
5.3.3 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στην κατανάλωση ενέργειας	132
5.3.4 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στις εκπομπές CO ₂	135
5.4 Μελέτη των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια	139
5.4.1 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στον στόλο οχημάτων	143
5.4.2 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στις πωλήσεις νέων οχημάτων	145
5.4.3 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στην κατανάλωση ενέργειας	147
5.4.4 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στις εκπομπές CO ₂	149
5.4.5 Συμπεράσματα μελέτης επιπτώσεων ενεργειακής ασφάλειας	152
6. Αποτελέσματα- Συζήτηση	154
Συμπεράσματα	159
Καινοτομία διατριβής	160

Συμβολή της διατριβής	161
Προτάσεις για νέα έρευνα	162
Βιβλιογραφία	164

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ζήτηση για ενέργεια εκτιμάται ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται τις επόμενες δεκαετίες με άμεσο αντίκτυπο τόσο στην ενεργειακή ασφάλεια, όσο και στο περιβάλλον, εάν δε λάβουμε τα κατάλληλα μέτρα. Η επιπλέον αυτή κατανάλωση ενέργειας θα έχει, μεταξύ των άλλων, ως αποτέλεσμα την εκπομπή πολλαπλάσιων των σημερινών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ευθύνονται για την Κλιματική Αλλαγή. Για το λόγο αυτό, υπάρχει μεγάλη ανάγκη να αλλάξουμε τον τρόπο με τον οποίο παράγουμε και καταναλώνουμε ενέργεια. Θα έλεγε κανείς πως υπάρχει ανάγκη για μια παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση (Spiegel et al., 2009). Το πόσο γρήγορα θα επέλθει η ενεργειακή αυτή μετάβαση εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

1. την ενεργειακή ασφάλεια,
2. τη διαχείριση του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου,
3. την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών κατανάλωσης ενέργειας με χαμηλή ένταση εκπομπών άνθρακα.

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (International Energy Agency - IEA), η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας πρόκειται να αυξηθεί κατά περίπου 40% τις επόμενες 2 δεκαετίες, έως το 2030. Εάν δε λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας πρόκειται να συμβάλει σε αύξηση κατά 40% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μέχρι το 2030 (OECD/IEA, 2009a) με τους τομείς της ηλεκτροπαραγωγής και των μεταφορών να οδηγούν το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης. Σήμερα, ο τομέας των μεταφορών ευθύνεται για το 52% της συνολικής κατανάλωσης πετρελαίου παγκοσμίως. Στο Σενάριο Βάσης του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας το ποσοστό αυτό πρόκειται να αυξηθεί στο 66% παρασύροντας ουσιαστικά τη συνολική ζήτηση πετρελαίου έως το 2030 (OECD/IEA, 2009b).

Η μετάβαση σε νέες τεχνολογίες αυτοκίνησης με σκοπό την απεξάρτηση του τομέα των μεταφορών από το πετρέλαιο, προϋποθέτει επενδύσεις της τάξης των \$5 τρις ή περίπου του 50% των συνολικών επενδύσεων για την επίτευξη του Σεναρίου 450 του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας, δηλαδή του περιορισμού της συγκέντρωσης CO₂ στα

450 ppm το 2030 (OECD/IEA, 2009c & UNEP, 2009). Παράλληλα, η αντικατάσταση του στόλου των οχημάτων με οχήματα νέας τεχνολογίας εκτιμάται ότι θα χρειαστεί δεκαετίες και απαιτεί σημαντικά οικονομικά κίνητρα. Ο στόχος των μεταφορών στην επίτευξη του Σεναρίου 450 αντιστοιχεί σε 20% της μείωσης των εκπομπών CO₂ του τομέα έως το 2030, σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Αυτό προϋποθέτει την περαιτέρω ανάπτυξη των τεχνολογιών των υβριδικών, των επαναφορτιζόμενων υβριδικών (plug-in hybrids), των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων αλλά και των οχημάτων κυψελών καυσίμου με υδρογόνο (Hill et al., 2009 & OECD/IEA, 2010).

Η ανάπτυξη των «έξυπνων» ηλεκτρικών δικτύων (smart grids), με σκοπό την ενίσχυση της χρήσης αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων στην επόμενη δεκαετία (BERR, 2008 & OTTI, 2010) καθώς και οι εφαρμογές τεχνολογιών υδρογόνου σε οχήματα (Farrell et al., 2003), επιταχύνουν τη μετάβαση του τομέα των μεταφορών στη νέα ενεργειακή πραγματικότητα. Σημαντική επίπτωση στις εκπομπές CO₂ του τομέα μεταφορών έχουν επίσης τόσο οι θαλάσσιες (OECD/IEA, 2009a & OECD/IEA, 2009c) όσο και οι αεροπορικές μεταφορές (OECD/IEA, 2009c & Marsh, 2008 & US GAO, 2009).

Τα τελευταία χρόνια, αρκετά εναλλακτικά καύσιμα έχουν αρχίσει να εισέρχονται στην αγορά. Σίγουρα, αυτό ήταν σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα των κυβερνητικών επιχορηγήσεων. Η ιδέα ότι μπορεί να είναι δυνατό να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, μειώνοντας ταυτόχρονα την εξάρτηση από το πετρέλαιο που εισάγεται από ορισμένες πολιτικά ασταθείς χώρες, είναι σίγουρα ένας δελεαστικός λόγος. Χρησιμοποιώντας προϊόντα καυσίμων που προέρχονται από φυτά έχουν τη δυνατότητα να είναι ουδέτερα σε άνθρακα, καθώς τα φυτά αφαιρούν το CO₂ από την ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Με την αύξηση της διείσδυσης των βιοκαυσίμων στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας επιτυγχάνεται μείωση της εξάρτησής της από το πετρέλαιο, διαμορφώνεται ένας ενεργειακός πλουραλισμός στις πηγές τροφοδοσίας της κι ενισχύεται η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της. Τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση διοξειδίου του άνθρακα στις μεταφορές (Timilsina and Shrestha, 2010). Τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς ίσως να μην μπορούν πλέον να χαρακτηριστούν εύκολα «πράσινα» καύσιμα, καθώς ανταγωνίζονται την παραγωγή βρώσιμων γεωργικών προϊόντων και η καλλιέργειά τους πολλές φορές οδηγεί σε αποψίλωση δασικών εκτάσεων συμβάλλοντας τελικά ελάχιστα στη μείωση

εκπομπών CO₂ (Sims et al., 2008 & EU-JRC, 2008 & US DOE, 2008b). Η 2^η γενιά βιοκαυσίμων που θα παράγονται από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες και βιολογικά απόβλητα ενδέχεται να φέρουν σημαντικά υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο, χωρίς τα μειονεκτήματα της προηγούμενης γενιάς (Carriguiry et al., 2010). Τα βιοκαύσιμα 3^{ης} γενιάς, που βασίζονται σε άγλη αναμένεται να αποτελέσουν την εναλλακτική τεχνολογία (Donovan and Stowe, 2009 & Cheng and Timilsina, 2010). Αυτές οι πράσινες φωτοσυνθετικές κοινότητες φυκιών, μπορούν να καλλιεργηθούν σε δεξαμενές με θαλασσινό νερό ή σε αιωρούμενους πλαστικούς βιο-αντιδραστήρες για να παρέχουν τη μέγιστη πρόσβαση στο φως του ήλιου και, λαμβάνοντας υπόψη τις σωστές συνθήκες, μπορούν να πολλαπλασιαστούν γρήγορα, απορροφώντας CO₂. Τα άγλη παράγουν ένα έλαιο που μπορεί να εξαχθεί, να διωλιστεί και, είτε να χρησιμοποιηθεί από μόνο του ως καύσιμο είτε να αναμιχθεί με συμβατικά καύσιμα.

Στον τομέα των μεταφορών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ορισμένα αέρια καύσιμα. Τα αέρια υδρογονανθράκων όπως το προπάνιο και το βουτάνιο χρησιμοποιούνταν για να κινούνται τα οχήματα και τα ταξί για πολλά χρόνια σε μερικές χώρες και έχουν γίνει πιο ευρέως διαθέσιμα για κανονικά αυτοκίνητα τα τελευταία χρόνια. Παρόλο που είναι αέρια κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, αυτά τα καύσιμα αποθηκεύονται ως υγρά σε σχετικά χαμηλή πίεση (~ 300psi ή 22bar). Ενώ τα δύο προαναφερθέντα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους, πιο συχνά χρησιμοποιούνται μείγματα και των δύο. Αυτά τα μείγματα γενικά αναφέρονται ως Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου (LPG). Εκτιμάται ότι έως και 13 εκατομμύρια οχήματα παγκοσμίως χρησιμοποιούν LPG, καταναλώνοντας περίπου 7 δισεκατομμύρια γαλόνια ετησίως (Οικονομίδης κ.α., 2013).

Η προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στις μεταφορές οφείλεται στη σημαντική συμβολή της ενέργειας των μεταφορών στις κλιματικές αλλαγές (OECD/IEA, 2009c & Howarth et al., 2009). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ο τομέας των μεταφορών εκτιμάται ότι συμμετέχει με ποσοστό πάνω από 30% στη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Για το λόγο αυτό η ΕΕ έχει θέσει συγκεκριμένους στόχους για την ανάπτυξη του τομέα των βιοκαυσίμων και συγκεκριμένα έως το 2020 το 20% (2003/30/EC) των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές να έχουν αντικατασταθεί από βιοκαύσιμα. Η Ελληνική Πολιτεία σε συμφωνία με το όραμα και τους στόχους της ΕΕ, εναρμόνισε την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2003/30/EC αρχικά μέσω

του νόμου 3423/2005 επιβάλλοντας την αντικατάσταση μέρους των συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα. Στη χώρα μας από το 2005 παράγεται βιοντίζελ που διατίθεται στα διυλιστήρια για να αναμιχθεί με το ντίζελ κίνησης, σήμερα σε ποσοστό 7% κατ' όγκο.

Τον τελευταίο αιώνα στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας έχουν παρατηρηθεί ελάχιστες τεχνολογικές βελτιώσεις, αφού η μηχανή εσωτερικής καύσης παραμένει η κύρια πηγή δύναμης προώθησης για τα οχήματα (Emadi, 2011). Ο τομέας των μεταφορών απορροφάει ένα σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως και συνεισφέρει ένα αντίστοιχο ποσοστό στις εκπομπές CO₂. Αυτό γίνεται γιατί οι μεταφορές σήμερα εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως το πετρέλαιο (Ghoniem, 2011). Τρεις είναι οι βασικοί λόγοι για τους οποίους τα υγρά καύσιμα έχουν κυριαρχήσει ως η πρωταρχική μορφή ενέργειας στις μεταφορές (McKinsey & Co, 2009):

1. η υψηλή τους περιεκτικότητα σε ενέργεια σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας, σε συνδυασμό με τη σχέση βάρους και όγκου,
2. η προηγμένη τεχνολογία και αξιοπιστία του κινητήρα εσωτερικής καύσης,
3. οι τεράστιες επενδύσεις σε υποδομές όπως διυλιστήρια, αγωγοί, μέσα μεταφοράς και δίκτυα διανομής και πώλησης υγρών καυσίμων.

Θα συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε υδρογονάνθρακες για κάποιες από τις ίδιες χρήσεις και για αυτούς τους ίδιους λόγους για το άμεσο μέλλον και ίσως να δούμε μια σημαντική αύξηση στην χρήση του φυσικού αερίου. Τώρα όμως, έχουμε επίσης την επιλογή να χρησιμοποιήσουμε μια ποικιλία από εναλλακτικά καύσιμα, που να προέρχονται από ένα ευρύ κατάλογο πρώτων υλών. Δεν μπορούν όλα από αυτά να αποδειχτούν ότι είναι τελικά επιτυχημένα ως καύσιμα και μερικά από αυτά μπορεί να σταματήσουν να χρησιμοποιούνται. Οι λόγοι για την αποτυχία κάποιων από αυτά τα υλικά θα είναι τεχνικοί ή πρακτικοί, ή ίσως θα σχετίζονται με την ενεργειακή ασφάλεια. Για άλλους, αυτό θα γίνει επειδή δεν είναι εμπορικά βιώσιμα ή επειδή ανταγωνίζονται με άλλα εξίσου σημαντικά αποθέματα, όπως το νερό ή την καλλιεργήσιμη γη. Καθώς προχωρά αυτός ο αιώνας, όμως, είναι πιθανό να δούμε όλο και περισσότερη διεξόδυση εναλλακτικών καυσίμων που θα αντικαταστήσουν τα καύσιμα πετρελαίου. Το καθαρό αποτέλεσμα αυτών των εναλλακτικών καυσίμων,

όμως, δεν θα είναι το τέλος για την εποχή του πετρελαίου αλλά μάλλον θα το επεκτείνει (Οικονομίδης κ.α., 2013).

Οι λύσεις σήμερα στις προκλήσεις του τομέα των μεταφορών ακολουθούν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, ιδιαίτερα μέσω της υβριδοποίησης και της καλύτερης διαχείρισης, για παράδειγμα η μείωση στο μέγεθος και στο βάρος των επιβατηγών οχημάτων και ενίσχυση των δημόσιων μεταφορών. Η υβριδοποίηση της κίνησης είναι το πρώτο βήμα για μια μετάβαση σε μερικό ή ολικό εξηλεκτρισμό στις μεταφορές. Προσπάθειες να παράγουμε βιοκαύσιμα σε μεγάλη κλίμακα, θα μπορούσε να συνεισφέρουν σε μερική μείωση εκπομπών CO₂. Ωστόσο, η τεχνολογία παραγωγής πρέπει να εξελιχθεί και να συμπεριλάβει κυτταρινούχα βιομάζα και να μειώσει τις εκπομπές CO₂ κατά τη διάρκεια της παραγωγής (Ghoniem, 2011). Η ενέργεια των κυψελών καυσίμου (fuel cells) προκύπτει από το υδρογόνο που είναι αποθηκευμένο στο όχημα, ενώ οι μπαταρίες μπορούν επίσης να φορτιστούν και από το ηλεκτρικό δίκτυο. Τόσο το υδρογόνο όσο και ο ηλεκτρισμός πρέπει να προέρχονται είτε από ΑΠΕ είτε από πυρηνική ενέργεια είτε από καύση άνθρακα με εφαρμογή δέσμευσης και αποθήκευσης (Thomas, 2009).

1.1 Σκοπός της διατριβής

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να αναλυθεί ο τομέας των οδικών μεταφορών, εξετάζοντας τη μετάβασή του στη νέα ενεργειακή πραγματικότητα χαμηλών εκπομπών CO₂, ενώ συσχετίζονται τεχνολογικοί, οικονομικοί και πολιτικοί παράμετροι. Παρουσιάζονται και αναλύονται οι μελλοντικές τεχνολογίες και το μίγμα καυσίμων στον τομέα των οδικών μεταφορών, αξιολογούνται διάφορα σενάρια διείσδυσης ανά τύπο καυσίμου (βιοκαύσιμα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς, κυψέλες καυσίμου και ηλεκτροκίνηση) καθώς και των συμβατικών υδρογονανθράκων για κίνηση. Η αξιολόγηση των σεναρίων γίνεται με στόχο τη βελτιστοποίηση οικονομικών παραγόντων, του κοινωνικού οφέλους, της ενεργειακής ασφάλειας και των πολιτικών αντιμετώπισης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

1.2 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Σε μακροπρόθεσμη βάση, ο τομέας των μεταφορών αναμένεται να αναπτυχθεί προς την κατεύθυνση της αντικατάστασης του πετρελαίου με καύσιμα και ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική, τα βιοκαύσιμα και φυσικό αέριο

που παράγεται από την βιομάζα. Πολλά καύσιμα θεωρούνται ως πιθανές εναλλακτικές λύσεις στο πετρέλαιο, συμπεριλαμβανομένου του μεθανίου, της μεθανόλης και του υδρογόνου (Meibom et al., 2013). Δεν υπάρχει καμία έλλειψη τόσο μη συμβατικών όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του σχιστολιθικού πετρελαίου, των oil-sands, της μετατροπής άνθρακα σε υγρά καύσιμα (coal to liquids - CTL), τα βιοκαύσιμα, τον ηλεκτρισμό και το υδρογόνο. Μεταξύ αυτών των εναλλακτικών λύσεων, μη συμβατικές πηγές υδρογονανθράκων θα παράγουν λιγότερο ακριβά καύσιμα πιο συμβατά με την υφιστάμενη υποδομή των μεταφορών, αλλά και θα οδηγήσουν σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Ribeiro et al., 2007). Ανάλογα με το εναλλακτικό καύσιμο, οι υφιστάμενες υποδομές μπορούν να τροποποιηθούν ή να χρησιμοποιηθούν ως έχουν. Για παράδειγμα, η υποδομή βενζίνης και ντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βιοαιθανόλη. Στην απουσία μιας κατάλληλης υποδομής όπως είναι η περίπτωση για το υδρογόνο, η υποδομή θα πρέπει να κατασκευαστεί. Η οικοδόμηση μιας υποδομής απαιτεί χρόνο και σημαντικό κεφάλαιο (Semelsberger et al., 2006).

Η έλλειψη αποτελεσματικής πολιτικής και επενδύσεων, σε συνδυασμό με την ανεξέλεγκτη αύξηση της αστικοποίησης, έχει οδηγήσει σε αναντιστοιχία μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης των υπηρεσιών μεταφορών. Το ανεπαρκές σύστημα δημόσιων μεταφορών έχει οδηγήσει σε πολύ μεγάλη αύξηση των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης. Την ίδια στιγμή, το οδικό δίκτυο δεν έχει αυξηθεί αναλογικά, οδηγώντας σε μεγαλύτερη συμφόρηση, μακρύτερο χρόνο ταξιδιού και περισσότερη κατανάλωση ενέργειας που αυξάνουν το κόστος και τη ρύπανση. Η χρήση χαμηλής ποιότητας καυσίμων και οι κακές οδικές συνθήκες επιδεινώνουν περαιτέρω όλα τα παραπάνω προβλήματα (Das και Parikh, 2004). Ο σχεδιασμός της ενεργειακής πολιτικής απαιτεί τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων, λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία των αλληλεπιδράσεων του ενεργειακού συστήματος με την οικονομία, την κοινωνία, το περιβάλλον και την πολιτική. Κατά συνέπεια, η διαδικασία ανάπτυξης πρέπει να είναι ολοκληρωμένη, συμμετοχική και κοινωνικοποιημένη σωστά ώστε να γίνει αποδεκτή και να προωθηθεί από όλους (Calix, 2009). Κάθε χώρα έχει μια επαρκή ποσότητα των φυσικών πόρων για την αυτάρκειά της. Ως εκ τούτου, η αειφορία των φυσικών πόρων πρέπει να διατηρείται με ένα εφικτό σχεδιασμό χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τις επόμενες γενιές (Flores et al., 2011).

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αποτελούν μια άλλη σοβαρή ανησυχία. Το φαινόμενο της ταχείας ανάπτυξης της αυτοκινητοβιομηχανίας μπορεί να προκαλέσει σοβαρές

περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα αστικά περιβάλλοντα, όπου τα περισσότερα από τα ιδιωτικά οχήματα κυκλοφορούν καθημερινά. Δεν είναι μόνο η κατανάλωση βενζίνης που θα αυξηθεί, αλλά και η μέση ταχύτητα οδήγησης που θα μειωθεί περαιτέρω. Η περιορισμένη επιτυχία των σημερινών περιβαλλοντικών πολιτικών στις κύριες πόλεις μπορεί να αντιστραφεί εάν αυτές οι πολιτικές δεν αναθεωρηθούν με συστηματικό τρόπο, όπως: τη βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων, την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων και υβριδικών οχημάτων, την καλύτερη και πιο εκτεταμένη δημόσια συγκοινωνία, την ενίσχυση του ελέγχου των εκπομπών, τον συντονισμό των σημάτων κυκλοφορίας, τα μεταβλητά ωράρια εργασίας για τη μείωση αιχμών της κυκλοφορίας, την εκπαίδευση των οδηγών κλπ. (Bauer et al., 2003).

Οι ανανεώσιμοι πόροι, όπως τα απόβλητα και η πρωτογενής βιομάζα, μπορούν να χρησιμεύσουν ως εναλλακτική λύση για τις πρώτες ύλες. Απορρίμματα και πρωτογενής βιομάζα, όπως τα δέντρα, τα γεωργικά απόβλητα και υπολείμματα καλλιεργειών, τα απόβλητα ξυλείας, τα αστικά λύματα και τα μικροφύκη θεωρούνται ως ελκυστικές, πιθανές αλλά και εφικτές πηγές λόγω της χαμηλής τιμής και της διαθεσιμότητας ευρέως σε όλο τον κόσμο (Sahin, 2011). Μέθοδοι διαχείρισης όπως η καύση και η αναερόβια χώνευση μπορούν να ανακτήσουν μέρος της ενσωματωμένης ενέργειας των απόβλητων υλικών (Δερματάς, 2015). Η μετάβαση του ενεργειακού συστήματος σε ένα σύστημα που βασίζεται σε μεταβλητές πηγές ενέργειας προϋποθέτει ότι το σύστημα επιτρέπει τη μεταφορά της ενέργειας τόσο σε χρόνο όσο και στο χώρο και μεταξύ των συστημάτων, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στη ζήτηση ενέργειας των καταναλωτών και να αυξάνει την αξία της αγοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Meibom et al., 2013). Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι τα βιοκαύσιμα ή ηλεκτρισμός από βιομάζα γίνεται όλο και πιο πιθανή επιλογή καυσίμου, ειδικά στον ανεπτυγμένο κόσμο (Pant et al., 2010, Pant et al., 2011).

Τα βιοκαύσιμα πρώτης και δεύτερης γενιάς έχουν πολλούς περιορισμούς (όπως ο ανταγωνισμός τροφίμων-καυσίμου, η αλλαγή χρήσης γης, η μεγαλύτερη χρήση των πόρων, το ενεργειακό ισοζύγιο, κλπ). Τα βιοκαύσιμα από άγλη θα μπορούσε να είναι μια απάντηση για τους εν λόγω περιορισμούς, καθώς μπορεί να αναπτυχθούν πολύ γρήγορα. Επίσης, είναι ικανή η παραγωγή τους σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με καλλιέργειες και βλάστηση και απαιτεί μικρότερης έκτασης γη και άλλους πόρους για την παραγωγή υψηλότερων λιπιδίων και υδατανθράκων (Singh et al., 2011b).

Οι Tsita και Pilavachi (2013) αξιολογούν τα καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχεται από βιομάζα για τον τομέα των μεταφορών. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι μια σταθερή, οικονομικά υγιή και περιβαλλοντικά φιλική πηγή ενέργειας για τις μεταφορές μπορεί δυνητικά να είναι ένας συνδυασμός του βιο-συνθετικού φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα προσφέρουν την προοπτική νέων οικονομικών ευκαιριών για τους ανθρώπους στις αγροτικές περιοχές, στις αναπτυσσόμενες χώρες και στις χώρες που εισάγουν πετρέλαιο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν εγχώριους πόρους έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υπηρεσίες ενέργειας με μηδενικές ή σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων ρυπαντών αλλά και των αερίων του θερμοκηπίου. Τα βιοκαύσιμα αναμένεται να μειώσουν την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων και να αναζωογονήσουν την οικονομία με την αύξηση της ζήτησης και των τιμών των γεωργικών προϊόντων (Balat, 2010).

Ο μελλοντικός ενεργειακός εφοδιασμός, η ζήτηση και το ενεργειακό μείγμα, θα εξαρτηθούν επίσης από τις τεχνολογικές εξελίξεις. Πιθανές καινοτομίες αντιπροσωπεύουν σημαντικές αβεβαιότητες για την παγκόσμια χρήση της ενέργειας και των ενεργειακών αγορών. Χρειάζεται χρόνος για να αλλάξουν τα υπάρχοντα ενεργειακά συστήματα, οι δομές των πόλεων και οι στόλοι μεταφορών. Κατά συνέπεια, ακόμη και αν πραγματοποιηθούν μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές και έχουν σημαντική επίδραση στις νέες πηγές ενεργειακού εφοδιασμού ή στο προφίλ της ζήτησης ενέργειας των νέων χρηστών, οι παγκόσμιες αγορές ενέργειας θα μπορούσε να επηρεαστούν μόνο οριακά από έτος σε έτος, καθώς οι μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές χρειάζονται χρόνο για να λειτουργήσουν (Statoil, 2014).

Σε ένα μελλοντικό κόσμο περιορισμένου άνθρακα αναμένεται ότι πολλές αλλαγές θα είναι αναγκαίες σε όλα τα στάδια της παραγωγής, διανομής και χρήσης. Χρήσιμες συζητήσεις για σενάρια για το μέλλον των βιοκαυσίμων παρουσιάζονται σε διάφορα έγγραφα του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (US DOE, 2005 & US DOE, 2006 & US DOE, 2007). Ο Hoekman (2009) συνοψίζει προτάσεις για πολιτικές και ρυθμιστικές παρεμβάσεις σχετικά με τα βιοκαύσιμα στις ΗΠΑ, περιγράφοντας τις τάσεις και αναδεικνύοντας τις μεγάλες ερευνητικές προσπάθειες (R&D) για την προώθηση της ανάπτυξης και της εμπορευματοποίησης των βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς. Οι Forster et al. (2012) συζητούν για τις τεχνολογίες που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και σε ποιο βαθμό, καθώς και πώς γρήγορες αλλαγές στο σύστημα

ενέργειας θα πρέπει να εφαρμοστούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και καταλήγουν στην ανάγκη για ταχύτερη ανάπτυξη των ΑΠΕ και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Η βιοενέργεια θεωρείται ως μία από τις βασικές επιλογές για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και παράλληλα υποκαθιστούν τα ορυκτά καύσιμα (Faaij, 2006). Οι Neuwahl et al. (2008) αναλύουν τις συνέπειες των πολιτικών για τη δημιουργία απασχόλησης με στόχο την υποστήριξη των βιοκαυσίμων, λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες τεχνολογιών που αναπτύσσονται από τη βάση (bottom-up technologies), ώστε να καθορίσουν τις δραστηριότητες με τα βιοκαύσιμα που συνδέονται με οικονομικά μοντέλα μερικής ισορροπίας για τους τομείς της γεωργικής παραγωγής και της ενέργειας.

Οι Brennan και Owende (2010) αξιολογούν τις τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη χρήση μικροφυκών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, με επίκεντρο την παραγωγή βιομάζας, τη συγκομιδή, τεχνολογίες μετατροπής και την εξαγωγή χρήσιμων παραπροϊόντων. Επίσης, επανεξετάζουν την συνεργατική σύζευξη της διάδοσης των μικροφυκών με τη δέσμευση του άνθρακα και το δυναμικό επεξεργασίας λυμάτων για την άμβλυνση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τη μετατροπή και αξιοποίηση της ενέργειας. Τα μικροφύκη μπορούν να μετατραπούν σε βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, βιοπετρέλαιο, βιο-υδρογόνο και βιομεθάνιο μέσω θερμοχημικών και βιοχημικών μεθόδων (Demirbas, 2011). Η βιομάζα και τα καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου με βιώσιμο τρόπο. Οι διαθέσιμες μέθοδοι για την παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: θερμοχημικές και βιολογικές. Η παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου από βιομάζα απαιτεί μια στρατηγική παραγωγής υποπροϊόντων υψηλής εμπορικής αξίας, ώστε να ανταγωνιστεί το χαμηλό κόστος της συμβατικής παραγωγής υδρογόνου από την αναμόρφωση με ατμό του φυσικού αερίου (Kirtay, 2011). Η βιβλιογραφία που αναφέρεται στη χρήση διμεθυλαιθέρα (DME) αξιολογείται και συνοψίζεται για να αποδειχθεί η βιωσιμότητα του DME ως εναλλακτικό καύσιμο από τους Semelsberger et al. (2006). Ο DME μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα καύσιμο ανάφλεξης με συμπίεση σε MEK, ενώ μπορεί να μετατραπεί αποτελεσματικά σε υδρογόνο σε χαμηλές θερμοκρασίες καθώς δεν προκαλεί θέματα σχετικά με τοξικότητα, τρόπους παραγωγής, τις υποδομές και τις μεταφορές, όπως έχουν διάφορα άλλα καύσιμα.

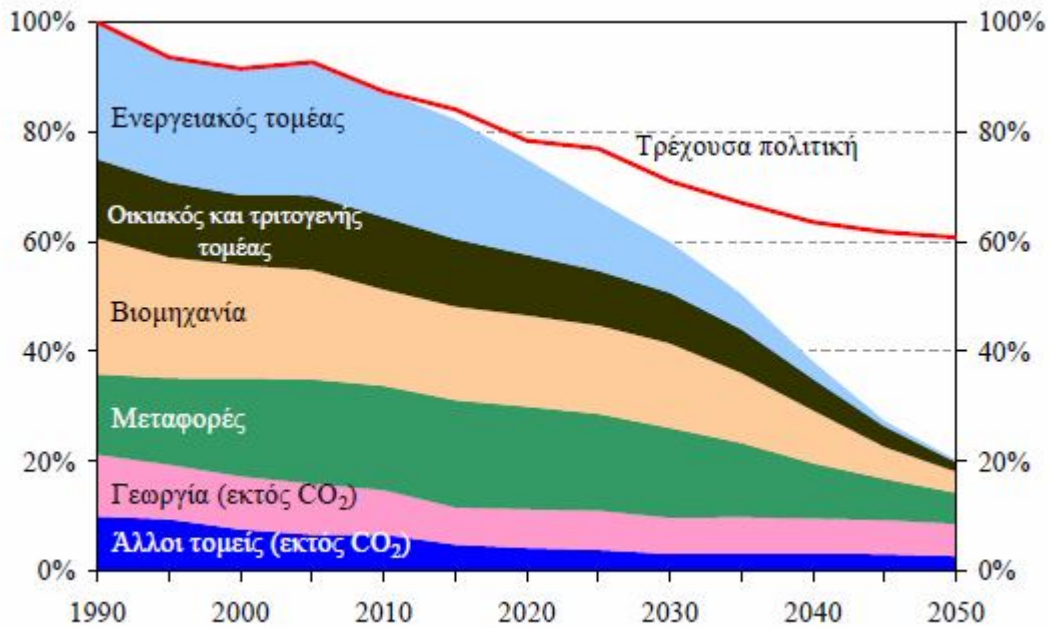
1.2.1 Ο τομέας των μεταφορών στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλού άνθρακα έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στον ενεργειακό τομέα όσο και στον τομέα των μεταφορών σε παγκόσμιο επίπεδο, με μεγαλύτερη πρόκληση τη δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Κύριο στρατηγικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής πολιτικής αποτελεί η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η δέσμευση για μείωση σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, των εκπομπών των αερίων ρύπων του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Στο πλαίσιο λοιπόν, της στρατηγικής της Ευρώπης για το 2020, μία από τις βασικές προτεραιότητες είναι η «Διατηρήσιμη Ανάπτυξη» με στόχο την προώθηση αποδοτικότερης, πιο ανταγωνιστικής και πιο πράσινης οικονομίας στη χρήση των πόρων με τους εξής στόχους:

- Αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση των ενεργειακών πόρων
- Στήριξη της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα
- Αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Εκσυγχρονισμός του τομέα μεταφορών
- Ενθάρρυνση της ενεργειακής αποδοτικότητας

Αντίστοιχα έχουν συμφωνηθεί δεσμευτικοί στόχοι για την Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2020, σε σχέση με τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τη διείσδυση των ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας (Γιαννακοπούλου, 2013).

Το Μάρτιο του 2011 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε τον "Οδικό χάρτη" για μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050, με σκοπό τον μετασχηματισμό της ευρωπαϊκής οικονομίας σε βιώσιμη οικονομία μέχρι το έτος 2050 (EU, 2011). Στον οδικό χάρτη περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η οικονομική ανάπτυξη με αποδοτική χρήση των ενεργειακών πόρων, προσδιορίζονται οι τομείς οικονομικής δραστηριότητας που καταναλώνουν τους περισσότερους ενεργειακούς πόρους και προτείνονται εργαλεία και δείκτες που θα βοηθήσουν στην καθοδήγηση της δράσης στην Ευρώπη και διεθνώς. Η μετάβαση σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων εκπομπών CO₂ σημαίνει ότι η ΕΕ θα πρέπει να προετοιμαστεί για μειώσεις των εγχώριων εκπομπών της μέχρι το 2050 κατά 80% σε σύγκριση με το 1990. Στο σχήμα 1.1 επεξηγείται η πορεία προς τη μείωση κατά 80% μέχρι το 2050, σε πενταετή στάδια.



Σχήμα 1.1 Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της ΕΕ προς την κατεύθυνση εγχώριας μείωσης κατά 80% (100% = 1990), (Γιαννακοπούλου, 2013).

Μια ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μια κλειστή αγορά. Συνεπώς, υφίσταται όλες τις ευνοϊκές ή αρνητικές επιδράσεις διεθνών εξελίξεων. Μεταξύ των εξωγενών παραμέτρων που έχουν επίδραση στον ενεργειακό τομέα είναι οι γεωπολιτικές μεταβολές, οι προσπάθειες καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής και η παγκοσμιοποίηση της οικονομίας (ΥΠΙΑΝ, 2009). Η τεχνολογική καινοτομία μπορεί να συμβάλει στη μετάβαση σε ένα πιο αποδοτικό και βιώσιμο ευρωπαϊκό σύστημα μεταφορών, επιδρώντας σε τρεις κύριους παράγοντες: α) στην απόδοση των οχημάτων μέσω νέων κινητήρων, υλικών και σχεδιασμού, β) στην καθαρότερη χρήση ενέργειας μέσω νέων καυσίμων και συστημάτων πρόωσης και γ) στην καλύτερη χρήση των δικτύων και λειτουργία με μεγαλύτερη ασφάλεια και προστασία μέσω συστημάτων πληροφοριών και επικοινωνιών.

Μέχρι το 2025, η βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων είναι πιθανόν να παραμείνει η βασική κινητήρια δύναμη για την αντιστροφή της ανοδικής τάσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον συγκεκριμένο τομέα. Σε περίπτωση που η ηλεκτροκίνηση δεν εξαπλωθεί σε μεγάλη κλίμακα, τα βιοκαύσιμα και λοιπά

εναλλακτικά καύσιμα θα πρέπει να διαδραματίσουν μεγαλύτερο ρόλο για να επιτευχθεί το ίδιο επίπεδο μείωσης των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών. Αυτό επιτείνει την ανάγκη να σημειωθεί πρόοδος στα βιοκαύσιμα δεύτερης και τρίτης γενεάς (Γιαννακοπούλου, 2013).

Οι επιχειρήσεις θα έχουν κίνητρο να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν νέες και οικονομικά συμφέρουσες τεχνολογίες που συμβαδίζουν με τις ισχύουσες νομοθεσίες και κανονισμούς. Το κόστος της ενέργειας θα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τις επενδύσεις στις εναλλακτικές τεχνολογίες και στις ΑΠΕ, ενώ ένα σταθερό κλίμα επένδυσης θα χρειαστεί, για να ανακαλυφθούν νέα αποθέματα υδρογονανθράκων και να αναπτυχθούν εναλλακτικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ERTRAC, 2009).

Τα λιγνοκυτταρινούχα υλικά είναι τα πιο άφθονα οργανικά στοιχεία στη βιόσφαιρα, συμμετέχοντας περίπου στο 50% της παγκόσμιας βιομάζας (Sousa-Aguiar, 2012). Τα βιοκαύσιμα γίνονται όλο και πιο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση των βιοκαυσίμων διαθέτει μια σειρά από πλεονεκτήματα κατάλληλα για την επίτευξη των ενεργειακών, περιβαλλοντικών, γεωργικών και εμπορικών πολιτικών. Ως αποτέλεσμα, τα βιοκαύσιμα εμφανίζονται ως ένα δημοφιλές βήμα προς ένα πιο βιώσιμο τομέα μεταφορών και πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν εισαγάγει προηγμένες πολιτικές για τη στήριξη της παραγωγής και της χρήσης των βιοκαυσίμων (Rutz και Janssen, 2007). Η επέκταση της χρήσης των βιοκαυσίμων απαιτεί συνεχείς βελτιώσεις στη διαδικασία και την αποτελεσματικότητα της χρήσης της γης καθώς και συνεχείς μειώσεις του κόστους, αλλά δεν απαιτεί την επέκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων (Kromer et al., 2010).

1.2.2 Ο τομέας των μεταφορών στην Ελλάδα

Η πρόβλεψη του Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας το 2010 επιβεβαιώνει ότι στην Ε.Ε. θα υπάρξει μια μείωση στη ζήτηση του αργού πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών που συνδέεται με βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των κινητήρων και στην ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων (EUROPIA, 2011). Ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης η Ελλάδα βιώνει μια μείωση στη ζήτηση ενέργειας στις μεταφορές, τάση που θα συνεχιστεί στο άμεσο μέλλον και συνοδεύεται από αντίστοιχη πτωτική τάση του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (Paragiannaki and Diakoulaki, 2009). Στην Ελλάδα το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) ανά κάτοικο για το έτος 2010 ήταν 22.500\$, πολύ χαμηλότερα από το μέσο όρο της Ε.Ε. και του ΟΟΣΑ, μειωμένο κατά 4,4%, ενώ αναμένεται να μειωθεί κι άλλο (OECD/IEA, 2011a).

Η πολιτική για τα εναλλακτικά καύσιμα στην Ελλάδα είναι σε πλήρη συμμόρφωση με την Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα τελευταία χρόνια το παραγωγικό δυναμικό της εγχώριας βιομηχανίας παραγωγής βιοντίζελ είναι πάνω από 700.000 τόνους/έτος που αντιστοιχούν σε 14 βιομηχανικές μονάδες (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2011). Παρά το γεγονός ότι, κατά τη διάρκεια του 2006, τις περισσότερες από τις πρώτες ύλες για βιοντίζελ (~70%) εισήχθησαν από τους Έλληνες παραγωγούς - κυρίως το κραμβέλαιο και το σογιέλαιο (European Biodiesel Board, 2006), από το 2011 η πλειονότητα των απαιτούμενων πρώτων υλών (βαμβακέλαιο, ηλιέλαιο και χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια) είναι εγχώριας παραγωγής.

Η Ελλάδα σκοπεύει ν' αυξήσει το μερίδιο των ΑΠΕ στο 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 (σχεδόν να τριπλασιάσει το μερίδιο του 6,9% του 2005). Επίσης, για το ίδιο έτος έχει στόχο το 40% του ηλεκτρισμού και το 20% της πρώτης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη να παράγεται από ΑΠΕ. Η κυβέρνηση βλέπει να "πρασινίζει" η οικονομία ως τρόπος προώθησης νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα στον τομέα των ΑΠΕ. Η κύρια συνεισφορά στη μείωση εκπομπών CO₂ για την εκπλήρωση του στόχου, θα προέλθει από τη χρήση των ΑΠΕ, τη λήψη μέτρων στην αποδοτικότητα της ενέργειας και την αλλαγή καυσίμων παραγωγής ενέργειας, από λιγνίτη και πετρέλαιο σε φυσικό αέριο. Η μετάβαση προς ένα σύστημα μεταφορών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως επιτάσσει και η νέα Ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών, θα επιβάλλει μια ουσιαστική αναμόρφωση του συστήματος μεταφορών κάτι το οποίο απαιτεί σημαντική και καλά συντονισμένη προσπάθεια και χρηματοδότηση. Η μετάβαση αυτή θα βασισθεί κυρίως στην προώθηση των ενεργειακά φιλικών προς το περιβάλλον οχημάτων και καυσίμων (ηλεκτρικά, υβριδικά, με καύσιμα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) και των συναφών υποδομών τους, αλλά και στην ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής για καύσιμα μηδενικού ή ουδέτερου ή χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα (Γιαννακοπούλου, 2013).

Στην Ελλάδα η βιομάζα αποτέλεσε για πολλά χρόνια την κυριότερη μορφή ΑΠΕ που συμμετείχε στο ενεργειακό σύστημα της χώρας. Παρόλα αυτά η εκμετάλλευσή της δεν είναι συστηματική ακόμη και σήμερα. Η αξιοποιούμενη σήμερα ποσότητα βιομάζας αποτελεί ένα μικρό ποσοστό του διαθέσιμου δυναμικού της χώρας. Τα βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα περιλαμβάνουν κυρίως αγροτικά και δασικά υπολείμματα, προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών και στερεά αστικά απορρίμματα (Γερασίμου, 2013). Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας περιλαμβάνει τεχνολογίες:

- α) θερμικής επεξεργασίας της βιομάζας, η οποία παρέχει τη δυνατότητα είτε άμεσης εκμετάλλευσης του θερμικού περιεχομένου της σε μονάδες καύσης ή συνδυασμένης καύσης με ορυκτά καύσιμα, είτε έμμεσης εκμετάλλευσης σε εγκαταστάσεις πυρόλυσης ή εξαερίωσης όπου παράγεται αέριο προϊόν που μετά τον καθαρισμό του αποτελεί άριστη καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού
- β) βιοαποικοδόμησης της βιομάζας μέσω της οποίας παράγεται καύσιμο βιοαέριο
- γ) φυσικής και χημικής επεξεργασίας της που οδηγεί στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, όπως το βιοντίζελ που μπορεί να τροφοδοτήσει κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Στόχος των ερευνών παγκοσμίως αποτελεί η παραγωγή βιοκαυσίμων δεύτερης και τρίτης γενιάς αποκλειστικά από την απόβλητη και υπολειμματική βιομάζα, στα πλαίσια κάθετων επιχειρηματικών μοντέλων που θα συμβάλουν στην ανάπτυξη.

1.2.3 Λήψη αποφάσεων με χρήση Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΙΔ) – Analytic Hierarchy Process (AHP), είναι μια μέθοδος περιγραφικής λήψης απόφασης. Η ΑΙΔ υπολογίζει τη σημασία της σχέσης και της ποσόστωσης, διαμέσου της ανά ζεύγη σύγκρισης των κριτηρίων και των εναλλακτικών με τη μέθοδο του ζυγισμένου αθροίσματος (Liberator and Nydick, 2003). Η εναλλακτική με την υψηλότερη βαθμολογία είναι η καλύτερη (Wang et al., 2009). Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία αποτελεί ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων απόφασης. Χρησιμοποιεί μια πολυεπίπεδη ιεραρχική δομή των στόχων, των κριτηρίων, υποκριτηρίων και τις εναλλακτικές λύσεις. Τα σχετικά δεδομένα προέρχονται από τη χρήση ενός συνόλου συγκρίσεων κατά ζεύγη. Αυτές οι συγκρίσεις χρησιμοποιούνται για τη λήψη των βαρών σημαντικότητας των κριτηρίων λήψης αποφάσεων καθώς και των σχετικών μετρήσεων απόδοσης των εναλλακτικών λύσεων όσον αφορά κάθε επιμέρους κριτήρια απόφασης (Triantaphyllou and Mann, 1995). Η ΑΙΔ αποτελεί μία προσέγγιση ιδιοτιμής στα ζεύγη σύγκρισης. Παρέχει επίσης μια μεθοδολογία για τη βαθμονόμηση της αριθμητικής κλίμακας για τις μετρήσεις τόσο των ποσοτικών όσο και ποιοτικών παραστάσεων (Vaidya and Kumar, 2006).

Η τρέχουσα βιβλιογραφία περιλαμβάνει εφαρμογές της ΑΙΔ στις οποίες εξετάζονται δυνατότητες που μειώνουν τις εκπομπές θερμοκηπίου και την κατανάλωση πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών. Οι Kromer et al. (2010) επικεντρώνονται σ' ένα συνδυασμό από εναλλακτικά καύσιμα και αλλαγές συμπεριφορών από τους καταναλωτές που προσφέρουν μια προσέγγιση για συνάντηση μακροπρόθεσμων στόχων, ενώ ελαχιστοποιούν τα περιβαλλοντικά και οικονομικά κόστη. Οι Edwards et al. (2008) συμπέραναν ότι το υδρογόνο και οι κυψέλες καυσίμου (fuel cells) έχουν μαζί το δυναμικό παραγωγής μιας πράσινης επανάστασης στις μεταφορές, μέσω της μείωσης των εκπομπών CO₂.

Οι Köhler et al. (2009) συζητούν την καινοτόμο φύση του μοντέλου μετάβασης των μεταφορών και ιδιαίτερα την δυνατότητα να θεωρεί πολλές εναλλακτικές λύσεις, ώστε να αντανakλάσουν τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις παλιές και στις καινούργιες τεχνολογίες σε μια προσομοίωση κοινωνικο-τεχνολογικών αλλαγών.

Η μέθοδος ΑΙΔ εφαρμόζεται για ν' αναλύσει και ν' αξιολογήσει και τα καύσιμα και την πολιτική στον τομέα των μεταφορών για την Σιγκαπούρη από τους Poh και Ang, 1999. Η έρευνά τους αναφέρεται σε πολιτικές και σχεδιασμούς σχετικά με την επιλογή του καλύτερου εναλλακτικού καυσίμου για τις οδικές μεταφορές στα χρόνια 2020-2030. Βρέθηκε ότι για τους ιδιοκτήτες οχημάτων, μια αλλαγή από τα υφιστάμενα καύσιμα στα οχήματα που βασίζονται στο πετρέλαιο και στον ηλεκτρισμό, δεν αποτελεί το πιο ελκυστικό σχήμα και κάθε μετατροπή θα πρέπει να ενισχύεται με κίνητρα. Η μέθοδος ΑΙΔ χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει πολιτικές που θα μειώσουν το παραπάνω πρόβλημα. Το συμπέρασμα είναι ότι τα οικονομικά κίνητρα είναι τα περισσότερο αποτελεσματικά εργαλεία, για να ωθηθούν οι καταναλωτές προς τις επιθυμητές κοινωνικές αλλαγές που υποστηρίζονται επίσης από την κατασκευή και παροχή της αναγκαίας υποδομής.

Οι Winebrake και Creswick (2003) ερευνούν την εμπορευματοποίηση των μελλοντικών τεχνολογιών των καυσίμων, εφαρμόζοντας την ΑΙΔ σε συνδυασμό με ένα σενάριο ανάλυσης προοπτικών. Πέντε εναλλακτικές τεχνολογίες αξιολογούνται για τα τρία σενάρια.

Δύο μέθοδοι πολυκριτηριακής λήψης απόφασης, οι VIKOR και TOPSIS που βασίζονται στην ΑΙΔ, προτείνονται από τους Tzeng et al., (2005) για να χρησιμοποιήσουν σενάρια ανάλυσης και να δομήσουν ένα μοντέλο αξιολόγησης εναλλακτικών καυσίμων για τα λεωφορεία στις δημόσιες μεταφορές. Και οι δύο μέθοδοι συγκρίθηκαν και εφαρμόστηκαν για να καθορίσουν τους σχετικούς τρόπους

αξιολόγησης των κριτηρίων, ενώ και οι δύο μέθοδοι κατέληξαν ότι τα υβριδικά ηλεκτρικά λεωφορεία αποτελούν την πιο κατάλληλη λύση σε σχέση με τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Αυτά τα οχήματα θα αντικατασταθούν στο μέλλον όταν θα βελτιωθούν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι Nava και Daim (2007) προτείνουν ένα πλαίσιο πρόβλεψης που ενσωματώνει την ΑΙΔ με τις τεχνικές ανάλυσης σεναρίων για να ερευνήσουν την εμπορευματοποίηση των τεχνολογιών του μελλοντικών καυσίμων κίνησης στις ΗΠΑ, αναλύοντας τις επιπτώσεις της αβεβαιότητας των τιμών του πετρελαίου. Προτείνεται μια σειρά από κριτήρια αξιολόγησης, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών, πολιτιστικών, περιβαλλοντικών και τη βιωσιμότητα.

Συμβατικά και προηγμένα υγρά βιοκαύσιμα εκτιμούνται με τη μέθοδο της ΑΙΔ αξιολογώντας την ολοκληρωμένη αλυσίδα παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων από τους Papalexandrou et al. (2008). Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται είναι το κόστος υποκατάστασης των βιοκαυσίμων έναντι των συμβατικών καυσίμων, η δυνατότητα υποκατάστασης, οι συνολικές εκπομπές του κύκλου ζωής και η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται. Τη μεγαλύτερη βαθμολογία πήρε η βιοαιθανόλη που παράγεται από άχυρα σίτου. Μια σύγκριση της οικονομικής και περιβαλλοντικής επίδοσης της διαδικασίας παραγωγής της αιθανόλης στην περίπτωση της Κολομβίας πραγματοποιήθηκε για διάφορες πρώτες ύλες και ανέδειξε ως βέλτιστη την παραγωγή αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο (Quintero et al., 2008).

Οι Pilavachi et al. (2009a) προτείνουν την αξιολόγηση των διαφόρων διαδικασιών παραγωγής υδρογόνου με χρήση ΑΙΔ σε σχέση με πέντε κριτήρια που περιλαμβάνουν τις εκπομπές CO₂, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος κεφαλαίου, το κόστος πρώτων υλών και το κόστος παραγωγής υδρογόνου. Οι Pilavachi et al. (2009b) αναλύουν εννέα τύπους δυνατοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπου το φυσικό αέριο και το υδρογόνο χρησιμοποιούνται ως καύσιμο. Η λήψη αποφάσεων βασίζεται σε ΑΙΔ, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα στοιχεία κόστους και εκπομπών. Καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κυριαρχεί είναι η καύση υδρογόνου.

1.2.4 Αξιολόγηση σεναρίων με χρήση λογισμικού LEAP

Το Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο μοντελοποίησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, της παραγωγής και του τρόπου χρήσης των πόρων σε όλους

τους τομείς της οικονομίας (Connolly et al., 2010). Η κεντρική ιδέα του LEAP είναι η ανάλυση βάση σεναρίων χρήσης ενέργειας (Heaps, 2012). Το λογισμικό χρησιμοποιείται για να αναλύσει την τρέχουσα ενεργειακή σκηνή και για να προσομοιώσει εναλλακτικές τάσεις ενέργειας μαζί με περιβαλλοντικές εκπομπές στο πλαίσιο μιας σειράς υποθέσεων που καθορίζονται από το χρήστη. Αντί να αποτελεί ένα μεμονωμένο και στατιστικά προκαθορισμένο μοντέλο ζήτησης ενέργειας, το σύστημα LEAP είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο μοντελοποίησης (Bose, 1996). Σχεδιάζει διαφορετικά σενάρια της μελλοντικής ζήτησης ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων με βάση το πώς η ενέργεια καταναλώνεται, μετατρέπεται και παράγεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή κάτω από ένα εύρος τιμών για παραμέτρους όπως η αύξηση του πληθυσμού, η οικονομική ανάπτυξη, αξιοποίηση της τεχνολογίας και ο πληθωρισμός (Cai et al., 2008).

Οι εφαρμογές του LEAP στον τομέα της ενέργειας και των μεταφορών εμφανίζονται ευρέως στη βιβλιογραφία. Στη μελέτη τους οι Das και Parikh (2004), αναλύουν το σύστημα αστικών μεταφορών σε σχέση με τις ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις του για δύο μεγαλουπόλεις της Ινδίας, το Δελχί και τη Βομβάη. Εξετάζουν τις επιπτώσεις μιας σειράς από σενάρια οικονομικής ανάπτυξης για τον μεταφορικό τομέα, τη ζήτηση ενέργειας και τις εκπομπές. Η μελέτη υποθέτει τη συνέχιση του σημερινού προτύπου που στηρίζεται στην επέκταση της μετακίνησης και στην κατανάλωση ενέργειας με κάπως πιο αποτελεσματικά και λιγότερο ρυπογόνα οχήματα.

Ο τομέας των μεταφορών στην Ονδούρα αναλύεται από τους Flores et al. (2011). Τα σενάρια ανάπτυξης του ενεργειακού τομέα της χώρας συγκρίνονται με ένα βασικό σενάριο. Στα σενάρια αυτά εφαρμόζονται διάφορες πολιτικές που μειώνουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων και θα πρέπει να ενθαρρυνθούν, όπως είναι η προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων, η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, η αύξηση στην κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας, η εισαγωγή των υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων και η ενθάρρυνση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Η ανάλυση αυτή παρέχει ένα εργαλείο για τη διευκόλυνση του σχεδιασμού του ενεργειακού τομέα, σύμφωνα με τις βασικές πολιτικές που θεωρούνται από τους φορείς λήψης αποφάσεων.

Στη μελέτη των Feng et al. (2012), τρία εναλλακτικά σενάρια σχεδιάστηκαν με τη χρήση του εργαλείου μοντελοποίησης LEAP να αντιπροσωπεύουν διαφορετικές πορείες ανάπτυξης στο ενεργειακό μέλλον του Πεκίνου από το 2007 έως το 2030. Τα

αποτελέσματα δείχνουν ότι τα μοντέλα οικονομικής ανάπτυξης, καθώς και οι κυβερνητικές πολιτικές θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας και στις εκπομπές άνθρακα. Επίσης, η εφαρμογή των εναλλακτικών καυσίμων του οχήματος, όπως το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (Compressed Natural Gas - CNG), ο ηλεκτρισμός και το υδρογόνο θα μειώσει την εξάρτηση από καύσιμα που περιέχουν άνθρακα. Όσον αφορά στον τομέα του ενεργειακού εφοδιασμού, η εφαρμογή των μέτρων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) βελτιώνει την αποδοτικότητα των καυσίμων.

Οι κύριοι στόχοι της μελέτης των Cai et al. (2008) είναι να προσδιορίσει βασικούς τομείς εκπομπών, να αξιολογήσει σημαντικές τεχνολογίες σε τομείς στόχους και να προσδιορίσει το αντίστοιχο κόστος. Τα αποτελέσματα θα δώσουν την πληροφόρηση στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για τη δημιουργία εφικτών και πρακτικών πολιτικών.

1.3 Αντικείμενο της διατριβής

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε, είναι φανερό η μεταστροφή του τομέα των οδικών μεταφορών σε νέα καύσιμα και τεχνολογίες που μειώνουν σημαντικά το ανθρακικό αποτύπωμα. Τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες που προτείνονται, προέρχονται κυρίως από βιομάζα ή παράγονται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα σενάρια που παρουσιάζονται, αναφέρονται σε διαφορετικά ποσοστά διείσδυσης ανά τύπο καυσίμου (βιοκαύσιμα επόμενων γενεών, ηλεκτροκίνηση και κυψέλες καυσίμου) καθώς και την επίδραση τεχνολογικών, οικονομικών και πολιτικών κριτηρίων.

Τα μοντέλα αξιολόγησης που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία μέχρι σήμερα παρουσιάζουν ελλείψεις καθώς, κάποια εξετάζουν περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών καυσίμων (Poh και Ang, 1999) ή οχημάτων εφαρμογής (Tzeng et al, 2005) είτε περιορίζονται μόνο σε υγρά βιοκαύσιμα (Papalexandrou et al., 2008). Σημαντικός παράγοντας αβεβαιότητας για όλα τα μοντέλα αξιολόγησης είναι η διαθεσιμότητα δεδομένων για τα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης καθώς και η επιλογή του μίγματος των προτεινόμενων εναλλακτικών καυσίμων έως το 2050. Προηγούμενες προσεγγίσεις στη δημιουργία μοντέλων οδικών μεταφορών χρησιμοποιούν περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών καυσίμων και σεναρίων διείσδυσης (Das και Parikh, 2004 & Flores et al, 2011 & Feng et al, 2012).

Η διατριβή αυτή έχει ως στόχο να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης των παραπάνω παραλείψεων και διευρύνει σημαντικά την γκάμα των νέων καυσίμων που αξιολογούνται ως εναλλακτικές λύσεις για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα.

Στην παρούσα διατριβή αξιολογείται μια ευρεία γκάμα νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών που περιλαμβάνει:

- α) υγρά βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς,
- β) υγρά βιοκαύσιμα 3^{ης} γενιάς,
- γ) αέρια βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς,
- δ) κυψέλες καυσίμου

καθώς και τα υφιστάμενα καύσιμα και τεχνολογίες στις μεταφορές που περιλαμβάνουν:

- α) MEK με βενζίνη ή πετρέλαιο,
- β) αεριοκίνηση,
- γ) υγρά βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς,
- δ) ηλεκτροκίνηση.

Η πλειονότητα των δεδομένων προέρχεται από βιβλιογραφικές αναφορές και παραδοχές από παρόμοια καύσιμα που μειώνουν την αβεβαιότητα, ιδιαίτερα για τα καύσιμα επόμενων γενεών που βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο (π.χ. βιοκαύσιμα από άλγη) ή δεν έχουν ακόμα αναπτυχθεί σε βιομηχανική κλίμακα (π.χ. βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς).

Το ποσοστό διείσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών βασίζεται ιδιαίτερα στις πολιτικές που θα επιλεγούν και θα εφαρμοσθούν από τις Κυβερνήσεις, καθώς πρέπει να ενισχυθούν οικονομικά για να καταστούν βιώσιμες. Ωστόσο, στο χρονικό ορίζοντα των επόμενων τριών δεκαετιών, τεχνολογικές εξελίξεις ενδέχεται να υπερκεράσουν σημερινά εμπόδια και να αναδιατάξουν τη σειρά και τα ποσοστά διείσδυσης των προτεινόμενων εναλλακτικών καυσίμων σε σχέση με τις αρχικές επιλογές.

Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται το σύνολο των υφιστάμενων και νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών, θεωρώντας πιθανή τη χρήση του συνόλου τους στο μελλοντικό μίγμα καυσίμων. Ιδιαίτερα κατά τη μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα έως το 2050, εξετάζονται πολλαπλά σενάρια διαφορετικής διείσδυσης καυσίμων και συγκρίνονται μεταξύ τους.

Το μοντέλο αξιολόγησης νέων καυσίμων και τεχνολογιών που προτείνεται στηρίζεται στη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και χρησιμοποιεί ταυτόχρονα τόσο το σύνολο των παραμέτρων αξιολόγησης που ήδη έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία όσο και νέων παραμέτρων. Οι νέες παράμετροι που εξετάζονται είναι: η δημιουργία απασχόλησης, οι επιπτώσεις στον κοινωνικό πλούτο και η δημόσια αποδοχή των νέων καυσίμων και τεχνολογιών, όπως και θέματα οικονομικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ωρίμανση της τεχνολογίας και τη δημιουργία νέων υποδομών ή τη σημαντική επίπτωση στις τιμές τροφίμων λόγω του ανταγωνισμού χρήσης της βιομάζας.

Η παρούσα διατριβή μοντελοποιεί τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και δομεί σενάρια διείσδυσης των υφιστάμενων και υπό ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών έως το 2050, με στόχο την αξιολόγηση των αντίστοιχων ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια. Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει το σύνολο του στόλου ελαφρών και βαρέων οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα.

Η ανάλυση των διαφόρων σεναρίων διείσδυσης καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών της Ελλάδος, αξιολογεί τις επιπτώσεις που θα έχουν το 2050: α) στον στόλο των οχημάτων, β) στις πωλήσεις των νέων οχημάτων, γ) στην κατανάλωση ενέργειας και δ) στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

1.4 Δομή των κεφαλαίων της διατριβής

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μία συμβολή στην ανάλυση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Εξετάζεται η μετάβαση στη νέα ενεργειακή πραγματικότητα χαμηλών εκπομπών CO₂ και συσχετίζονται τεχνολογικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί και πολιτικοί παράμετροι με ορίζοντα το 2050.

Ειδικότερα, προτείνονται μοντέλα αξιολόγησης νέων καυσίμων και τεχνολογιών με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και αναλύονται σενάρια διείσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα με τη χρήση του λογισμικού LEAP. Γίνεται διεξοδική διερεύνηση των παραμέτρων, της δομής και των κριτηρίων αξιολόγησης κάθε μοντέλου, με στόχο την επιλογή των βέλτιστων εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών. Μοντελοποιείται ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα, προσομοιώνεται η παρούσα τάση

εξέλιξης και συγκρίνεται με εναλλακτικά σενάρια διεϊσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών ως προς την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂.

Αναλυτικότερα:

Στο Κεφάλαιο 1 με τίτλο "Εισαγωγή", γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση των εργασιών που έχουν ασχοληθεί με μοντέλα αξιολόγησης τεχνολογιών και καυσίμων στο τομέα της ενέργειας και των μεταφορών με τη χρήση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και του λογισμικού LEAP. Διαπιστώνονται τα προς επίλυση προβλήματα και αναλύεται ο σκοπός της διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 2 με τίτλο "Καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα μεταφορών", περιγράφονται τα διάφορα καύσιμα και οι τεχνολογίες του τομέα των μεταφορών.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα υφιστάμενα καύσιμα και τεχνολογίες στις μεταφορές: α) Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, β) Φυσικό Αέριο και Υγραέριο, γ) Υγρά Βιοκαύσιμα 1ης γενιάς (βιοντίζελ και βιοαιθανόλη) και δ) Ηλεκτροκίνηση (υβριδικά οχήματα, επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα και ηλεκτρικά οχήματα). Ακολούθως, παρουσιάζονται τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των μεταφορών που δεν είναι σε εμπορική εφαρμογή σήμερα: α) υγρά βιοκαύσιμα 2ης γενιάς (βιοντίζελ 2ης γενιάς, βιοαιθανόλη 2ης γενιάς, βιομεθανόλη, ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης), β) υγρά βιοκαύσιμα 3ης γενιάς από άλγη, γ) αέρια βιοκαύσιμα 2ης γενιάς (βιο-υδρογόνο, βιοσυνθετικό φυσικό αέριο, βιοδιμεθυλαιθέρας) και δ) κυψέλες καυσίμου.

Στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο "Αξιολόγηση νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών", αξιολογούνται τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των οδικών μεταφορών και συγκρίνονται με τα υφιστάμενα. Με τη χρήση της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας συσχετίζονται τεχνολογικοί, οικονομικοί, πολιτικοί και κοινωνικοί παράμετροι, ώστε να αξιολογηθούν διάφορα σενάρια καυσίμων και να υπολογισθούν οι βέλτιστες επιλογές νέων καυσίμων και τεχνολογιών. Οι παράμετροι που εξετάζονται ως κριτήρια είναι α) τεχνολογικοί (τεχνολογική ωριμότητα και διαθεσιμότητα υποδομών), β) οικονομικοί (κόστος παραγωγής ενέργειας, κόστος επένδυσης, κόστος υποδομών, κόστος εφαρμογής και κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας), γ) πολιτικοί (δημιουργία απασχόλησης, ενεργειακή ασφάλεια και εκπομπές CO₂) και δ) κοινωνικοί (κοινωνικός πλούτος, δημόσια αποδοχή και ανταγωνισμός με τρόφιμα). Παρουσιάζεται το λογισμικό Expert Choice που υλοποιεί τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και παρατίθενται τα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών της Ελλάδος. Ακολούθως, αναπτύσσεται μια νέα δομή

ιεραρχίας με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας για την αξιολόγηση σεναρίων καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα. Παρουσιάζονται τα δεδομένα των κριτηρίων αξιολόγησης, αναλύονται τα διάφορα σενάρια και τέλος συγκρίνονται και σχολιάζονται τα διάφορα αποτελέσματα.

Στο Κεφάλαιο 4 με τίτλο "Μοντελοποίηση του τομέα οδικών μεταφορών στην Ελλάδα", μοντελοποιείται ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα με τη χρήση του λογισμικού Long-range Energy Alternative Planning (LEAP). Περιγράφεται ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και παρατίθενται δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης ανά καύσιμο και τύπο οχημάτων (ελαφρά - βαριά). Παρουσιάζεται το λογισμικό LEAP και ο τρόπος λειτουργίας του καθώς και η χρήση του στη μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα.

Στο Κεφάλαιο 5 με τίτλο "Ανάλυση των σεναρίων διεύθυνσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα", αναλύονται διάφορα σενάρια διεύθυνσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Αρχικά, προσομοιώνεται η παρούσα τάση εξέλιξης που λειτουργεί ως σενάριο αναφοράς, ώστε να υπολογισθεί η προβολή στο μέλλον (2050) των καυσίμων και των αντίστοιχων εκπομπών τους, χωρίς την εφαρμογή νέων πολιτικών και μέτρων (σε σχέση με τις υφιστάμενες του 2010). Ακολούθως, σχεδιάζονται διάφορα εναλλακτικά σενάρια με διαφορετικό βαθμό διεύθυνσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον στόλο των οχημάτων, αναλύονται ως προς την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ και συγκρίνονται τόσο με το σενάριο αναφοράς όσο και μεταξύ τους. Τέλος, μελετάται η τυχόν μακροχρόνια έλλειψη διαθεσιμότητας ή περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας πρωτογενών καυσίμων (αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας) και οι επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας.

Στο Κεφάλαιο 6 με τίτλο "Αποτελέσματα - Συζήτηση", γίνεται ανασκόπηση των μεθόδων που αναπτύχθηκαν και αναλύονται τα αποτελέσματα της διατριβής.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και αναλύονται η καινοτομία και η συμβολή της διατριβής. Επίσης, προτείνονται νέα πεδία έρευνας και μελέτης ως συνέχεια της παρούσας διατριβής.

Κεφάλαιο 2. Καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα μεταφορών

Ο τομέας των μεταφορών προβλέπεται ότι θα συνεχίσει να αποτελεί τον κύριο καταναλωτή ενέργειας, με το μερίδιό του να παρουσιάζει συνεχώς αυξητικές τάσεις. Βάσει των προβλέψεων, το έτος 2030 ο τομέας των μεταφορών στην Ελλάδα θα απορροφά σχεδόν το 50% της καταναλισκόμενης ενέργειας και για το λόγο αυτό, πρέπει να αναγνωριστεί η σημασία του καθορισμού ειδικών μέτρων και πολιτικών, με στόχο τη συμβολή του στην διαμόρφωση εθνικής αναπτυξιακής στρατηγικής που συνδέεται με την αποδοτική χρήση ενέργειας (Γιαννακοπούλου, 2013). Οι αυξομειώσεις στις τιμές των ενεργειακών προϊόντων και πρώτων υλών, οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και αύξηση των πολιτικών περιπλοκών στην παροχή αξιόπιστης πρόσβασης σε πετρελαικά αποθέματα οδηγούν στην αναζήτηση νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών.

2.1 Υφιστάμενες τεχνολογίες και καύσιμα στις μεταφορές

Το πετρέλαιο αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας για την Ελλάδα, πάνω από το 50% της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης καλύπτεται από πετρέλαιο (Eurostat, 2012). Το πετρέλαιο αποτελεί το κυρίαρχο καύσιμο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, επειδή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα: υπερέχει από άποψη οικονομικής απόδοσης, είναι εύκολη η μεταφορά του, είναι ασφαλές, επίσης η ενεργειακή υποδομή είναι σχεδιασμένη με βάση αυτό. Το φυσικό αέριο είναι η καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας, μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου και συνεπώς περιορίζει την ατμοσφαιρική ρύπανση (Γιαννακοπούλου, 2013).

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μια υποσχόμενη λύση για το πρόβλημα της απεμπλοκής του τομέα των μεταφορών από τα συμβατικά καύσιμα. Περίπλοκα ζητήματα όπως τα διαθέσιμα αποθέματα, η αποδοτικότητα κάθε τεχνολογίας και κυρίως η τιμή της βενζίνης, θα καθορίσουν το μέλλον της βιοαιθανόλης και του βιοντίζελ 1^{ης} γενιάς (Μπορν, 2007).

Στην παρούσα διατριβή θεωρήσαμε ως υφιστάμενες τεχνολογίες και καύσιμα στις μεταφορές τις μηχανές εσωτερικής καύσης, το φυσικό αέριο, τα υγρά βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς και την ηλεκτροκίνηση.

2.1.1 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) είναι θερμικές μηχανές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια. Το όνομά τους προέρχεται από το γεγονός ότι η ενεργειακή μετατροπή πραγματοποιείται στο εσωτερικό του κινητήρα και όχι εκτός αυτού, π.χ. σε καυστήρα (Sweethanol, 2012). Η συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσης λειτουργεί ως επί το πλείστον με τη χρήση βενζίνης ή ντίζελ και αποτελεί το μέτρο σύγκρισης με τις νέες τεχνολογίες καυσίμων. Οι MEK έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν το αποτύπωμα CO₂ σημαντικά μόνο μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής τους απόδοσης. Μετά το 2020, ωστόσο, περαιτέρω βελτιώσεις στην απόδοση του κινητήρα εκτιμάται ότι θα είναι περιορισμένες και σχετικά δαπανηρές. Εκτιμάται ότι οποιαδήποτε βελτίωση και αν επιτευχθεί στην τεχνολογία των συμβατικών επιβατικών οχημάτων, η μέγιστη δυνατή μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που μπορεί να επιτευχθεί δεν θα υπερβαίνει το 30% έως 35% (McKinsey, 2010).

Οι υφιστάμενες MEK χωρίς καμία τροποποίηση χρησιμοποιούν επίσης περιορισμένα μίγματα βενζίνης ή ντίζελ και βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς (αιθανόλης ή βιοντίζελ αντίστοιχα). Αυτά τα βιοκαύσιμα παράγονται ήδη σε εμπορική κλίμακα όπως η βιοαιθανόλη από ζάχαρα και άμυλο και το βιοντίζελ από ελαιούχους σπόρους.

2.1.2 Φυσικό αέριο

Όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφορών, το φυσικό αέριο συνήθως συμπιέζεται και αποθηκεύεται σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης σε πιέσεις που κυμαίνονται από 2500-3500psi (170 μέχρι 240 bar) και αναφέρεται απλά ως Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο – Compressed Natural Gas (CNG). Το καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσης μετά από κατάλληλη μετατροπή και μερικά εμπορικά μοντέλα που μπορούν να λειτουργήσουν τόσο με CNG όσο και με βενζίνη είναι διαθέσιμα (Οικονομίδης κ.α., 2013). Η χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου μεταφορών σήμερα δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, κυρίως λόγω έλλειψης

των αντίστοιχων υποδομών. Ωστόσο, η αξιοποίηση του σχιστολιθικού αερίου κυρίως στις ΗΠΑ, δημιουργεί σημαντικές ευκαιρίες για μεγαλύτερη διείσδυση του φυσικού αερίου ως εναλλακτικού καυσίμου στις μεταφορές, καθώς συμβάλει στην απεξάρτηση από το εισαγόμενο αργό πετρέλαιο (Michelin, 2012).

2.1.3 Υγρά βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς

Με στόχο τη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο, τα βιοκαύσιμα παρέχουν έναν τρόπο μετάβασης σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα, συχνά με ελάχιστες αλλαγές στα υφιστάμενα οχήματα και στις υποδομές διανομής (Timilsina and Shrestha, 2010). Τα μίγματα συμβατικών καυσίμων – βιοκαυσίμων έως 10% δεν παρουσιάζουν καμία απολύτως διαφορά ως προς τον τρόπο διανομής ωστόσο, στα μείγματα υψηλότερης περιεκτικότητας, υπάρχουν καίρια στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη (BIONETT, 2008).

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς χρησιμοποιούν το σάκχαρο ή τμήματα φυτών που έχουν άμυλο (όπως τεύτλα και ζαχαροκάλαμο) ως πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης, καθώς και ελαιούχους σπόρους (ελαιοκράμβη, ηλίανθος, σόγια κλπ.) για την παραγωγή βιοντίζελ (Rutz και Janssen, 2007). Το μειονέκτημα των βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς είναι ότι παράγονται από βρώσιμη βιομάζα και ανταγωνίζονται τη διατροφική αλυσίδα, ανεβάζοντας το κόστος των τροφίμων. Ως συνέπεια, οι ποσότητες βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς που μπορούν να παραχθούν είναι περιορισμένες και μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρά κοινωνικο-πολιτικά προβλήματα (Στεφανίδης κ.α., 2015).

Στην πραγματικότητα η καλλιέργεια των φυτών για την παραγωγή βιοκαυσίμων απαιτεί τη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή λιπασμάτων, τη συγκομιδή και την επεξεργασία των καρπών. Οι πραγματικές λοιπόν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου επί του συνόλου του κύκλου ζωής των βιοκαυσίμων εξαρτώνται και από τις μεθόδους καλλιέργειας (Bionett, 2008). Οι καλλιέργειες αυτές έχουν επίσης κατηγορηθεί για φαινόμενα αποδάσωσης και αλλαγής χρήσης εδαφών, απώλεια της βιοποικιλίας και ενίσχυσης τοπικών διενέξεων για τη χρήση της γης. Παράλληλα εντείνεται ο ανταγωνισμός των εδαφών για τα τέσσερα F: Food (τρόφιμα), Feed (ζωοτροφές), Fiber (υφάσματα) και Fuel (καύσιμα).

Τα πιο διαδεδομένα υγρά βιοκαύσιμα 1^{ns} γενιάς είναι η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ που χρησιμοποιούνται σε μίγμα με τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα ντίζελ και βενζίνης.

2.1.3.1 Βιοαιθανόλη 1^{ns} γενιάς

Η βιοαιθανόλη 1^{ns} γενιάς παράγεται από σακχαρούχες ή αμυλούχες πρώτες ύλες, που προέρχονται από ειδικές καλλιέργειες. Οι σημαντικότερες σακχαρούχες καλλιέργειες είναι το ζαχαροκάλαμο, το γλυκό σόργο και το ζαχαρότευτλο. Από τις καλλιέργειες αυτές παράγεται ένας γλυκός χυμός από απλά ζάκχαρα που με ζύμωση μετατρέπονται σε αιθανόλη. Οι πιο σημαντικές αμυλούχες καλλιέργειες είναι τα δημητριακά και κονδυλώδεις ρίζες. Τα παραπροϊόντα της γεωργικής βιομηχανίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης προέρχονται από τη ζύμωση της μελάσας, από τη βιομηχανία κρασιού και την παραγωγή χυμών φρούτων (Sweethanol, 2012).

2.1.3.2 Βιοντίζελ 1^{ns} γενιάς

Το βιοντίζελ 1^{ns} γενιάς είναι μεθυλεστέρας ή αιθυλεστέρας λιπαρών οξέων που παράγεται από παρθένα φυτικά λάδια (τόσο βρώσιμα όσο και μη βρώσιμα) και ζωϊκά λίπη. Η διαδικασία παραγωγής του είναι μέσω της μεθεστεροποίησης των λαδιών και λιπών, δηλαδή της αντίδρασης των τριγλυκεριδίων τους με μεθανόλη ή αιθανόλη. Στη διαμόρφωση της τιμής αγοράς των βιοκαυσίμων σημαντική επίδραση έχει το είδος της πρώτης ύλης και το κόστος παραγωγής της, καθώς και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καυσίμου (Γερονικολού και Κυρίτσης, 2005). Οι παράγοντες περιορισμού του υψηλού κόστους αντιμετωπίζονται με συνεχείς προσπάθειες έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης, που αναφέρονται σε όλα τα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας των βιοκαυσίμων. Ειδικότερα, σημαντικές προσπάθειες έρευνας γίνονται στην ανάπτυξη νέων πρώτων υλών, καινοτομικών τεχνολογιών παραγωγής και διεύρυνσης της γκάμας προϊόντων και παραπροϊόντων (Παπαποστόλου και Κονδύλη, 2009). Ταυτόχρονα, σε τοπικό επίπεδο δημιουργούνται νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες με την κατασκευή μονάδων παραγωγής αλλά και με τη δημιουργία σύγχρονων καθετοποιημένων μονάδων.

2.1.4 Ηλεκτροκίνηση

Στην υφιστάμενη αγορά ηλεκτροκίνητων οχημάτων υπάρχουν τρεις κατηγορίες: τα υβριδικά, τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά και τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα.

Η πρώτη κατηγορία είναι τα υβριδικά οχήματα που συνδυάζουν μπαταρία και ηλεκτρικό κινητήρα με μία μηχανή εσωτερικής καύσης. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα επαναφορτιζόμενα (plug-in) υβριδικά, μια τεχνολογία που θα μπορούσε να είναι η γέφυρα για τη πληρέστερη διείσδυση των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (Frank, 2007; Romm, 2006) που αποτελούν και την τρίτη κατηγορία. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σε φάση έναρξης μαζικής παραγωγής, ωστόσο η τεχνολογία θα μπορούσε να διεισδύσει σημαντικά στην αγορά μόνο ξεπερνώντας μια σειρά τεχνολογικών και οικονομικών εμποδίων, ιδιαίτερα σε σχέση με θέματα συσσωρευτών (Steenhof and McInnis, 2008).

2.1.4.1 Υβριδικά οχήματα

Τα υβριδικά οχήματα αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο που συνδέει το συμβατικό βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα με το ηλεκτροκίνητο όχημα και διαθέτουν δύο πρωσθήριες μονάδες. Αυτές είναι ένας θερμικός κινητήρας που λειτουργεί με υγρό ή αέριο καύσιμο (ορυκτό ή βιοκαύσιμο) και ένας ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από μία ηλεκτρογεννήτρια μηχανικά συνδεδεμένη με τον θερμικό κινητήρα ή από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ίδιου του οχήματος που συλλέγεται και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του κατά τις φάσεις επιβράδυνσης, πέδησης και κίνησης σε κατωφέρεις (ΥΠΕΚΑ, 2012). Τα υβριδικά οχήματα έχουν ήδη μια μικρή συνεισφορά στο μικρού κυβισμού στόλο οχημάτων και μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, τα οχήματα που χρησιμοποιούν ακόμα ΜΕΚ δε θα επαρκούν για την επίτευξη του στόχου της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, ακόμη και αν χρησιμοποιούνται βιοκαύσιμα για να τροφοδοτήσουν τη ΜΕΚ (Thomas, 2009).

Τα υβριδικά οχήματα δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών τους από εξωτερική πηγή, διότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα ίδια τα οχήματα. Για αυτό το λόγο, η διείσδυσή τους στην αγορά αποδείχτηκε σχετικά εύκολη διότι χρησιμοποιούν τις ίδιες υποδομές προμήθειας ενέργειας (υγρών

καυσίμων) που χρησιμοποιούνται από τα συμβατικά οχήματα και επομένως, δεν απαιτούν επενδύσεις σε νέες υποδομές υποστήριξης, επίσης προσφέρουν στο χρήστη σημαντική οικονομία καυσίμου. Στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους εξαιτίας του μεγαλύτερου βάρους τους, έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση από τα συμβατικά ΜΕΚ, αλλά η υβριδοποίηση των συμβατικών κυρίως μεγάλων και μεσαίων κυβικών, μπορεί να θεωρηθεί ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής επάρκειας διαμέσου της ηλεκτροποίησης, καθώς επιτρέπει την εξοικονόμηση ενέργειας έως και 25-35% σε αστικούς κύκλους (Badin and Vinot, 2007). Η εφαρμογή της υβριδοποίησης σε μεγάλη κλίμακα θα βοηθήσει στην συμμόρφωση με τους στόχους CO₂ για την Ευρώπη για το 2015. Έτσι, στα επόμενα χρόνια, θα προκύψει μια σειρά από υβριδικά οχήματα (ERTRAC, 2009). Ο συνδυασμός από τη μηχανή εσωτερικής καύσης και της ηλεκτρικής προώθησης σε αυτά τα οχήματα αποφεύγει τη μερική λειτουργία μηχανών με χαμηλή απόδοση. Τα υβριδικά οχήματα επιπλέον μειώνουν την κατανάλωση καυσίμου, επιτρέποντας την ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση του οχήματος (Retrans, 2010).

2.1.4.2 Επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα

Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα αποτελούν εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας, στα οποία ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους. Αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη μετάβαση από τις υβριδικές λύσεις στην πλήρη ηλεκτροκίνηση ακόμα και για μεγάλα οχήματα τα οποία μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες των ιδιοκτητών τους για μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Η μονάδα του θερμικού κινητήρα που διαθέτουν δεν συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος και επομένως, δεν σχετίζεται καθόλου με την προώθησή του. Το όχημα κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (ή τους ηλεκτροκινητήρες) που σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πάντοτε ηλεκτρική όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά οχήματα. Η θερμική μονάδα αξιοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση μίας συνεζευγμένης ηλεκτρικής γεννήτριας. Η λειτουργία τους είναι απλή διότι λειτουργούν όπως και τα οχήματα με συσσωρευτές. Όταν η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια των συσσωρευτών γίνει μικρότερη από μία οριακή τιμή, τίθεται αυτόματα σε λειτουργία η ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, που χρησιμοποιεί συμβατικό ή

εναλλακτικό καύσιμο (υγρό, αέριο) και η οποία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή/και φορτίζει τον συσσωρευτή, έτσι ώστε το όχημα να συνεχίζει απρόσκοπτα την κίνησή του (ΥΠΕΚΑ, 2012).

Το κύριο εμπόδιο είναι η έλλειψη υποδομών για την φόρτιση μεγάλου αριθμού μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων - ιδιαίτερα σε κοινόχρηστους χώρους (IEA-HEV, 2011). Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα μπορεί να είναι είτε πλήρως υβριδικά με αυξημένη χωρητικότητα της μπαταρίας καθώς και δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο για να αυξήσουν την ηλεκτρική αυτονομία τους είτε ηλεκτρικά οχήματα τα οποία είναι κυρίως εξοπλισμένα με μπαταρία και ένα μικρό κινητήρα εσωτερικής καύσης που λειτουργεί αποκλειστικά για την επαναφόρτισή της (Retrans, 2010).

2.1.4.3 Ηλεκτρικά οχήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα κινούνται μόνο με μια ηλεκτρική μηχανή που τροφοδοτείται από μπαταρία, που φορτίζεται από το δίκτυο. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν εκπομπές καυσαερίων και όταν φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών CO₂ και της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Η δημιουργία ενός μεγάλης κλίμακας στόλου ηλεκτρικών οχημάτων και των συναφών υποδομών φόρτισης είναι μια σημαντική πρόκληση, στην οποία πολλοί ενδιαφερόμενοι κρατούν ένα ρόλο και με πολλούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη (IEA-HEV, 2011). Περαιτέρω βελτιώσεις στα συστήματα αποθήκευσης απαιτούνται για να αυξηθεί η αποδοτικότητα των επιδόσεων, η αυτονομία των οχημάτων ανάμεσα σε φορτίσεις και να μειωθεί το κόστος (OECD/IEA, 2009a). Επιπλέον, η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων, ιδιαίτερα σε περιόδους αιχμής της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, σε συνδυασμό με έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα (smart grids) δίνει τη δυνατότητα στα οχήματα αυτά να χρησιμοποιούνται για να παρέχουν αποθηκευμένη ενέργεια πίσω στο δίκτυο (vehicle-to-grid). Στο σενάριο αυτό, τα ηλεκτρικά οχήματα θα λειτουργούν ως ενδιάμεσες αποθήκες ενέργειας.

Είναι φανερό ότι δημιουργείται άμεσα η ανάγκη ανάπτυξης δικτύων κοινοχρήστων σταθμών ηλεκτρικής παροχής στους οποίους θα μπορεί να πραγματοποιείται η φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτά τα δίκτυα είναι απαραίτητα για να αυξηθεί η απόσταση αυτονομίας των ηλεκτρικών οχημάτων και σε αρκετές χώρες έχει ξεκινήσει ένας μηχανισμός υλοποίησης τέτοιων δικτύων. Η

ανάπτυξη αυτής της υποδομής υποστήριξης των ηλεκτρικών οχημάτων θα πραγματοποιείται σταδιακά και θα επιτείνει τις επιχειρηματικές δράσεις. Αυτοί οι σταθμοί φόρτισης θα μπορούν να ανήκουν σε φορείς με δημόσιο χαρακτήρα π.χ. σε Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, σε επιχειρηματικούς φορείς με αντικείμενο εργασίας την εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμων (πρατήρια) ή σε νέους επιχειρηματικούς φορείς που θα θελήσουν να δραστηριοποιηθούν π.χ. εμπορικά κέντρα, υπεραγορές, κλπ. (ΥΠΕΚΑ, 2012).

2.2 Νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των μεταφορών

Τα εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα είναι νέοι φορείς ενέργειας στις μεταφορές που μπορούν να αντικαταστήσουν τμήμα από τα συμβατικά καύσιμα. Ως συνέπεια της μελλοντικής αύξησης των παγκόσμιων δραστηριοτήτων στις μεταφορές μπορεί να προβλεφθεί ότι για τα συμβατικά καύσιμα πλησιάζει μία κρίση διαρθρωτικού χαρακτήρα, που εκδηλώνεται με συχνές εντάσεις στην αγορά των καυσίμων, στην ενεργειακή ασφάλεια και σε αυξανόμενες ανάγκες επενδύσεων σε υποδομές (Grassi, 2005). Αν οι επενδύσεις κατά την επόμενη δεκαετία καταφέρουν να βελτιώσουν τις διαδικασίες παραγωγής και να μειώσουν το κόστος, τα βιοκαύσιμα θα έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν ταυτόχρονα μια σημαντική συμβολή στην αντιμετώπιση της ενεργειακής ασφάλειας και της κλιματικής αλλαγής (Froggatt and Levi, 2009). Προκειμένου τα βιοκαύσιμα να μπορέσουν να αντικαταστήσουν αποδοτικά τα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα, δύο προϋποθέσεις πρέπει να ικανοποιούνται: να εκπέμπουν σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους μικρότερες ποσότητες ρύπων από ότι τα ορυκτά καύσιμα και να τα ανταγωνίζονται οικονομικά (Γερονικολού και Κυρίτσης, 2005).

Στην παρούσα διατριβή θεωρήσαμε ως νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα μεταφορών τα υγρά βιοκαύσιμα 2^{ns} γενιάς, τα υγρά βιοκαύσιμα 3^{ns} γενιάς, τα αέρια βιοκαύσιμα 2^{ns} γενιάς και τις κυψέλες καυσίμου.

2.2.1 Υγρά βιοκαύσιμα 2^{ns} γενιάς

Τα βιοκαύσιμα 2^{ns} γενιάς προέρχονται από μη βρώσιμη βιομάζα, όπως για παράδειγμα λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα που μπορεί να προέρχεται από γεωργικά και

δασικά υπολείμματα και χρησιμοποιημένα έλαια. Τα βιοκαύσιμα 2ης γενιάς δεν ανταγωνίζονται τη διατροφική αλυσίδα, παράγονται από φθηνή, άφθονη και τοπικά διαθέσιμη πρώτη ύλη, ενώ συμβάλλουν παράλληλα στη διαχείριση και την αξιοποίηση των αποβλήτων (Στεφανίδης κ.α., 2015). Οι περισσότερες υφιστάμενες συμβατικές τεχνολογίες βιοκαυσίμων χρειάζεται να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της μετατροπής βιομάζας, το κόστος και την συνολική βιωσιμότητα της διαδικασίας. Τα προηγμένα βιοκαύσιμα χρειάζεται να αναπτυχθούν εμπορικά, οπότε απαιτούνται σημαντικές περαιτέρω επενδύσεις στην έρευνα και την ανάπτυξη, καθώς και ιδιαίτερη υποστήριξη για την κατασκευή προηγμένων εργοστασίων βιοκαυσίμων. Αυτά τα βιοκαύσιμα βασίζονται στις τεχνολογίες μετατροπής που είναι ακόμα σε φάση έρευνας και ανάπτυξης ή σε πιλοτικό στάδιο. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει υδροεπεξεργασμένο φυτικό έλαιο, βιοκαύσιμα που βασίζονται σε λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα και γενικότερα τη μετατροπή βιομάζας σε υγρά βιοκαύσιμα - Biomass to Liquid (BtL) (OECD/IEA, 2011b). Ωστόσο, τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς δεν είναι εμπορικά βιώσιμα σήμερα. Η κυτταρίνη απαιτεί μια ριζικά διαφορετική και πιο σύνθετη προσέγγιση για την απελευθέρωση της ενέργειας που αποθηκεύεται μέσα της. Ένα πλήθος από ειδικά ένζυμα χρησιμοποιείται για να σπάσει τα πολλά διαφορετικά σάκχαρα σε ένα φυτό καθώς και για το διαχωρισμό τους (Shell, 2007).

Τα υγρά βιοκαύσιμα 2ης γενιάς περιλαμβάνουν τη βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς, τη βιομεθανόλη, το βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς και το ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης.

2.2.1.1 Βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς

Η παραγωγή κυτταρινικής βιοαιθανόλης μπορεί να οδηγήσει σε ένα καύσιμο με καθαρή ενεργειακή απόδοση με σχεδόν ουδέτερο αποτύπωμα CO₂ (Solomon et al., 2007). Η παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας είναι πολύπλοκη, λόγω της υψηλότερης δαπάνης επεξεργασίας για την υδρόλυση και την ζαχαροποίησή του π.χ. ξύλου ή άχυρου για την αλκοολική ζύμωση. Οι ερευνητικές προσπάθειες εστιάζονται κυρίως στην ανάπτυξη των τεχνολογιών πολτοποίησης λιγνίνης και κυτταρίνης, αποτελεσματικότερα ένζυμα και περαιτέρω βελτιστοποίηση εργοστασίων βιοαιθανόλης σε βιομηχανική κλίμακα (ICS-UNIDO, 2007). Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε βιοαιθανόλη από υδρόλυση και επακόλουθη ζύμωση. Η λιγνοκυτταρίνη συχνά υδρολύεται μέσω επεξεργασίας με

οξέα. Το υδρόλυμα που λαμβάνεται στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη ζύμωση βιοαιθανόλης από μικροοργανισμούς όπως ζυμομύκητες (Balat, 2011). Το κόστος της παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα υλικά είναι σχετικά υψηλό με βάση τις τρέχουσες τεχνολογίες και οι κύριες προκλήσεις είναι η χαμηλή απόδοση και το υψηλό κόστος της διαδικασίας της υδρόλυσης. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν μια σταθερή απόδοση των γενετικά τροποποιημένων ενζύμων σε εμπορικής κλίμακας διεργασίες ζύμωσης, την ανάπτυξη πιο αποδοτικών τεχνολογιών προεπεξεργασίας για λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα και την ενσωμάτωση του βέλτιστου εξοπλισμού σε συστήματα παραγωγής οικονομικής βιοαιθανόλης (Sun και Cheng, 2002). Η ανάπτυξη των λιγότερο ενεργοβόρων και πιο αποτελεσματικών μεθόδων προεπεξεργασίας επιτρέπει τη χρήση χαμηλότερων ποσών ενζύμων κάτι που μπορεί να μειώσει σημαντικά το συνολικό κόστος της κυτταρινικής αιθανόλης (Talebnia et al., 2010).

2.2.1.2 Βιομεθανόλη

Η μετατροπή βιομάζας από αστικά, γεωργικά και δασικά απόβλητα σε βιομεθανόλη μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη (Vogt et al., 2009). Θα μπορούσε να είναι το προτιμώμενο καύσιμο για τα οχήματα κυψελών καυσίμου με την «εν κινήσει» μετατροπή της σε υδρογόνο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε υδρογόνο (Grassi, 2005). Η μεθανόλη που προέρχεται από βιομάζα είναι πιθανό να γίνει ένα μελλοντικό ανταγωνιστικό καύσιμο, καθώς η μεθανόλη και το υδρογόνο μπορούν να παραχθούν από βιομάζα μέσω αεριοποίησης. Αρκετές μέθοδοι που περιλαμβάνουν συμβατικές, εμπορικές ή προηγμένες τεχνολογίες, οι οποίες βρίσκονται σε εξέλιξη, αποτελούν πιθανές προσεγγίσεις. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής βιομεθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα συνήθως αποτελούνται από τα ακόλουθα βασικά βήματα: προ-επεξεργασία, αεριοποίηση και παραγωγή αερίου σύνθεσης – synthesis gas (ή syngas), ένα μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂) – καθαρισμό του αερίου σύνθεσης, αναμόρφωση τυχόν υδρογονανθράκων και τέλος την σύνθεση της βιομεθανόλης. Ο καθαρισμός του αερίου σύνθεσης είναι σημαντικός καθώς απομακρύνονται πίσσα, αλκάλια και αλογόνα που δηλητηριάζουν τους καταλύτες και οξειδώνουν τον εξοπλισμό. Η αναμόρφωση των υδρογονανθράκων που παράγονται γίνεται με ατμό (steam reforming) παρουσία καταλύτη νικελίου που τους μετατρέπει σε αέριο σύνθεσης. Η

βιομεθανόλη συνθέτεται με την υδρογόνωση οξειδίων του άνθρακα παρουσία καταλύτη (Hamelinck και Faaij, 2002).

2.2.1.3 Βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς

Η πρώτη ύλη για το βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς είναι μη βρώσιμη βιομάζα ή γεωργικά υπολείμματα που σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση μετατρέπονται σε αέριο σύνθεσης – synthesis gas (syngas) ένα μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H₂), και στη συνέχεια σε υγρό βιοκαύσιμο. Η παραγωγή βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς βασίζεται στην τεχνολογία Fischer-Tropsch που αναπτύχθηκε αρχικά το 1920 στην περίοδο του μεσοπολέμου στη Γερμανία, για τη μετατροπή άνθρακα και φυσικού αερίου σε συμβατικά υγρά καύσιμα (IFP Energies nouvelles, 2011).

Το καύσιμο που προέρχεται από την επεξεργασία βιομάζας με τη μέθοδο Fischer-Tropsch είναι ισοδύναμο και σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερο ως προς τα χαρακτηριστικά του ντίζελ, καθώς η καύση του παράγει λιγότερες εκπομπές σωματιδίων και οξειδίων του αζώτου (NO_x). Το βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή σε πρόσμιξη με ντίζελ σε MEK. Ένα σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί στην παραγωγή βιοντίζελ 2^{ης} γενιάς είναι η δυνατότητα χρήσης πολλαπλών πρώτων υλών, καθώς για τη λειτουργία βιομηχανικής κλίμακας μονάδων απαιτούνται τεράστιες ποσότητες βιομάζας. Ο καθαρισμός του αερίου σύνθεσης αποτελεί μια σοβαρή επίσης πρόκληση με επιπτώσεις στην οικονομικότητα της παραγωγής του βιοκαυσίμου (Michelin, 2012).

2.2.1.4 Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης

Μια άλλη προσέγγιση για τη μετατροπή διαφόρων τύπων στερεάς βιομάζας σε καύσιμα βασίζεται στη δημιουργία βιοελαίου (bio-oil) ως ένα ενδιάμεσο προϊόν. Το βιοέλαιο, που ονομάζεται επίσης και "βιο-αργό" μπορεί να ληφθεί μέσω πυρόλυσης ή μέσω υδροθερμικής αναβάθμισης - hydro thermal upgrading (HTU). Η υδροθερμική αναβάθμιση είναι μια θερμοχημική διεργασία για τη μετατροπή υγρής βιομάζας σε υποκρίσιμες συνθήκες νερού, ώστε να παραχθεί ένα υδροφοβικό στρώμα βιοελαίου, υδατικά παραπροϊόντα, αέρια, και μερικά στερεά υπολείμματα. Κατά τη διαδικασία υδροθερμικής αναβάθμισης η βιομάζα αντιδρά σε σταδιακά ανυψωμένη θερμοκρασία και πίεση (Demirbas, 2009).

Η διαδικασία υδροθερμικής αναβάθμισης επομένως πλεονεκτεί για βιομάζα που περιέχει υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, δεδομένου ότι η ξήρανση της βιομάζας δεν είναι πλέον απαραίτητη. Τα ελαφρύτερα κλάσματα του βιοελαίου μπορούν να αναβαθμιστούν σε συστατικά πετρελαίου. Το ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης παράγεται μέσω μιας καταλυτικής διαδικασίας που ονομάζεται αποξυγόνωση παρουσία νερού (hydro-deoxygenation). Μπορεί να αναμιχθεί με ορυκτό ντίζελ σε οποιαδήποτε αναλογία, χωρίς την ανάγκη τροποποίησης του κινητήρα ή της υποδομής (ICS-UNIDO, 2007). Μια απόδοση περίπου 20% στην παραγωγή ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης, που να βασίζεται σε μια ξηρή βάση βιομάζας είναι εφικτό να επιτευχθεί (Zeevalkink, 2008).

2.2.2 Υγρά βιοκαύσιμα 3^{ης} γενιάς

Αναφέρονται στα υγρά βιοκαύσιμα από άλγη (algal biofuels). Τα μικροφύκη είναι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί που μπορούν να παράγουν λιπίδια, πρωτεΐνες και καρβονυδρίλια σε μεγάλες ποσότητες και σε σύντομες χρονικές περιόδους. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να μεταποιηθούν τόσο σε βιοκαύσιμα όσο και σε χημικά. Τα έλαια από άλγη (algal oils) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ 3^{ης} γενιάς για αυτοκίνητα, φορτηγά και αεροπλάνα (Demirbas, 2011). Σημαντικό πλεονέκτημα της βιομάζας από άλγη είναι ότι μπορεί να μετατραπεί σχεδόν σε κάθε τύπο βιοκαυσίμου επόμενης γενιάς. Τα φύκη μπορεί να καλλιεργηθούν σε μεγάλες ανοικτές δεξαμενές ή σε κλειστούς φωτοβιοαντιδραστήρες που βρίσκονται σε μη καλλιεργήσιμη γη, σε μια ποικιλία κλιματικών συνθηκών. Πολλά είδη φυκών ευδοκούν στο θαλασσινό νερό ή ακόμα και σε νερό λυμάτων από αντίστοιχους σταθμούς επεξεργασίας. Τα βιοκαύσιμα από άλγη δεν είναι οικονομικό να παραχθούν χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη σήμερα τεχνολογία (US DoE, 2008). Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης βιοκαυσίμων που προέρχονται από μικροφύκη είναι ότι τα μικροφύκη: δεν έχουν συγκεκριμένη περίοδο καλλιέργειας και μπορούν να παραχθούν κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου (Schenk et al, 2008), μπορούν να καλλιεργηθούν σε υφάλμυρο νερό και σε μη καλλιεργήσιμη γη (Searchinger et al, 2008), ενώ μπορούν επίσης να παράγουν πολύτιμα παραπροϊόντα όπως πρωτεΐνες και υπολειμματική βιομάζα μετά από την εκχύλιση του ελαίου τους (Spolaore et al., 2006). Το βιοντίζελ από άλγη έχει παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με το ορυκτό ντίζελ και το βιοντίζελ 1^{ης} γενιάς από ελαιούχες καλλιέργειες και πληροί το διεθνές πρότυπο EN14214 (Brennan και

Owende, 2010). Παρόλο που έχει σημειωθεί αρκετή πρόοδος στο εργαστήριο, δεν υπάρχουν σήμερα μεγάλης κλίμακας υποδομές για παραγωγή βιοκαυσίμων από άλγη ενώ η οικονομικότητα της τεχνολογίας θα πρέπει ακόμα να αποδειχθεί (Knoshaug and Darzins, 2011). Η παραγωγή χαμηλού κόστους μικροφυκών βιοντίζελ απαιτεί πρωτίστως βελτιώσεις της βιολογίας φυκών μέσω της γενετικής και της μεταβολικής μηχανικής. Η δημιουργία βιοδιυλιστηρίων και οι εξελίξεις στη μηχανική φωτοαντιδραστήρων εκτιμάται ότι θα μειώσει περαιτέρω το κόστος παραγωγής (Singh et al., 2011a).

2.2.3 Αέρια βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς

Η παραγωγή αέριων βιοκαυσίμων 2^{ης} γενιάς βασίζεται στην επεξεργασία βιομάζας είτε με μικροοργανισμούς (ζύμωση) είτε με θερμοχημικές μεθόδους (Michelin, 2012). Τα παραγόμενα βιοκαύσιμα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα αέρια βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς. Το βιο-υδρογόνο είναι ένα από τα πλέον υποσχόμενα καύσιμα του μέλλοντος. Το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις υφιστάμενες υποδομές και κινητήρες, πρέπει να συμπιεσθεί ή να υγροποιηθεί αντίστοιχα. Ο βιοδιμεθυλαιθέρας έχει παρόμοιες ιδιότητες με το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου και να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο σε αντίστοιχους ντιζελοκινητήρες.

2.2.3.1 Βιο-υδρογόνο

Το βιο-υδρογόνο ορίζεται ως το υδρογόνο που προέρχεται από οποιαδήποτε πηγή βιομάζας. Το υδρογόνο έχει πολύ ιδιαίτερες ιδιότητες ως καύσιμο για τις μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων μια γρήγορη ταχύτητα καύσης, ένα υψηλό αποτελεσματικό αριθμό οκτανίων και καμία τοξικότητα ή δυναμικό σχηματισμού όζοντος (Balat and Kirtay, 2010). Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο με μεθόδους όπως αεριοποίηση, πυρόλυση και βιολογική επεξεργασία. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η αεριοποίηση (Kirtay, 2011). Μετά την αεριοποίηση της βιομάζας γίνεται αναμόρφωση με νερό (water-gas shift) και παράγεται υδρογόνο (Balat and Balat, 2009). Το κύριο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η αποσύνθεση της βιομάζας που οδηγεί σε σχηματισμό πίσσας (Swami et al., 2008).

Η τεχνολογία αεριοποίησης είναι υπό εντατική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις επίδειξης (demonstration facilities) έχουν

δοκιμαστεί και εμπορικές μονάδες αρχίζουν να κατασκευάζονται σε όλο τον κόσμο. Παρόλα αυτά, τα εμπόδια για την αεριοποίηση βιομάζας είναι περισσότερο οικονομικά παρά τεχνικά. Αν η αεριοποίηση της βιομάζας σε υδρογόνο συνδυάζεται με δέσμευση του άνθρακα, θεωρείται ότι επιτυγχάνεται αρνητικό ανθρακικό αποτύπωμα (Rutz and Janssen, 2007).

Η διεργασία παραγωγής υδρογόνου έχει κάποια οφέλη όπως: μείωση του κόστους διαχείρισης των αποβλήτων, αύξηση των εσόδων από την μετατροπή των υπολειμμάτων σε ενέργεια, μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα λόγω της χρησιμοποίησης της βιομάζας και την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων από βιοκαύσιμα (Li et al., 2012). Η αεριοποίηση βιομάζας προσφέρει την πιο ώριμη και οικονομική μέθοδο για την παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου (Kirtay, 2011).

2.2.3.2 Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο

Η παραγωγή του βιοσυνθετικού φυσικού αερίου από βιομάζα (bio-SNG) με τη μέθοδο της αεριοποίησης και αναβάθμισης του αερίου είναι μια ελκυστική επιλογή για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και την αντικατάσταση των ορυκτών αποθεμάτων φυσικού αερίου. Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι σχεδόν CO₂ ουδέτερη. Η παραγωγή bio-SNG μπορεί ακόμη και να είναι αρνητικού αποτυπώματος CO₂, δεδομένου ότι στο τελικό βήμα αναβάθμισης, μέρος του άνθρακα της βιομάζας απομακρύνεται μέσω του CO₂, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί (Meijden et al, 2010). Η βιομάζα αεριοποιείται σε υψηλή θερμοκρασία, παράγοντας ένα αέριο σύνθεσης το οποίο ψύχεται πριν εισέλθει στο τμήμα καθαρισμού αερίων. Το καθαρισμένο αέριο αποστέλλεται στη μονάδα μεθανιοποίησης όπου τα CO και H₂ μετατρέπονται σε CH₄ και CO₂. Μετά την απομάκρυνση του CO₂ και τη ξήρανση, το φυσικό αέριο είναι έτοιμο για έγχυση και στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Meijden et al., 2010).

Η παραγωγή bio-SNG χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σχετικά μικρές μονάδες μετατροπής μεγέθους από 10 έως 100 MWth. Έτσι, η μετατροπή από τοπική διαθέσιμη λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα είναι εφικτή. Η παραγωγή του βιοσυνθετικού φυσικού αερίου μπορεί να υλοποιηθεί επίσης, μέσω της αεριοποίησης της ξυλώδους βιομάζας με νερό ως μέσο αεριοποίησης, τον καθαρισμό του φυσικού αερίου και τη μετέπειτα μεθανίωση και αναβάθμιση (ICS-UNIDO, 2007). Το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις

υφιστάμενες υποδομές και κινητήρες, πρέπει να συμπιεσθεί ή να υγροποιηθεί αντίστοιχα.

2.2.3.3 Βιοδιμεθυλαιθέρας

Ο βιοδιμεθυλαιθέρας – bio-dimethyl-ether (bio-DME) μπορεί να παραχθεί από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα που μέσω αεριοποίησης μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης και στη συνέχεια σε διμεθυλαιθέρα παρουσία καταλύτη (Li et. al., 2010). Ο διμεθυλαιθέρας (DME) χρησιμοποιείται ως ένα καθαρό υψηλής απόδοσης συμπιεσμένο καύσιμο ανάφλεξης με μειωμένες εκπομπές κατά την καύση οξειδίων του αζώτου (NO_x) και του θείου (SO_x) και μικροσωματιδίων. Μπορεί να μετασχηματιστεί αποτελεσματικά σε υδρογόνο σε χαμηλές θερμοκρασίες (Semelsberger et al., 2006). Ο διμεθυλαιθέρας είναι ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο για τους κινητήρες ντίζελ, λόγω των ιδιοτήτων καύσης και τις εκπομπές του, δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο για το υγραέριο ή ως οξυγονωμένο πρόσθετο στη βενζίνη ή ως συστατικό ανάμειξης του καυσίμου ντίζελ ή ως υποκατάστατο καυσίμου για τροποποιημένους κινητήρες ντίζελ.

Σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα, η συμμετοχή του βιοδιμεθυλαιθέρα ως καύσιμο θεωρείται ιδιαίτερα πιθανή, αν και θα πρέπει να ανταγωνιστεί με το διμεθυλαιθέρα που προέρχεται από το φυσικό αέριο. Ο βιοδιμεθυλαιθέρας μπορεί να παραχθεί από bio-SNG (Grassi, 2005). Μία εργασία από τους Good et al. (1999) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η συμβολή του διμεθυλαιθέρα σε περιβαλλοντικά θέματα, είναι ιδιαίτερα σημαντική.

2.2.4 Κυψέλες καυσίμου

Τα οχήματα κυψελών καυσίμου (fuel cells) που τροφοδοτούνται από υδρογόνο μετατρέπουν το υδρογόνο και το οξυγόνο σε ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό να τροφοδοτήσουν έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Τα οικονομικά της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου υδρογόνου αποτελούν ένα σημαντικό εμπόδιο για την πλήρη εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις για την κατασκευή υποδομών υδρογόνου, δεδομένου ότι αυτό συνεπάγεται σημαντική επένδυση (Frank, 2007).

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν το αποθηκευμένο υδρογόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία κατευθύνεται είτε απευθείας στους τροχούς είτε

αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιώντας υδρογόνο για την τροφοδότηση των κυψελών, τα καύσιμα που απαιτούνται για την ηλεκτρόλυση ή τη θερμική πυρόλυση πρέπει να είναι χωρίς άνθρακα ή χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (Steenhof and McInnis, 2008). Παραμένουν όμως σοβαρές ανησυχίες και προκλήσεις σχετικά με την τεχνική δυνατότητα της χρήσης υδρογόνου καθώς είναι εξαιρετικά εύφλεκτο και εκρηκτικό σε ένα ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων στον αέρα και πρέπει να αποθηκεύεται σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης ή σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Προσπάθειες βρίσκονται σε εξέλιξη ώστε να βελτιωθεί η τεχνολογία για αποθήκευση υδρογόνου με την χρήση προσροφητικών υλικών και αυτό σίγουρα θα το καταστήσει πιο αποδοτικό ως καύσιμο (Οικονομίδης κ.α., 2013).

Στα οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου η αυτονομία και ο χρόνος που απαιτείται για τον ανεφοδιασμό τους είναι πλέον συγκρίσιμοι με τα συμβατικά αυτοκίνητα (MEK), σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα. Τα κύρια προβλήματα με τα οχήματα κυψελών καυσίμου και υδρογόνου σχετίζονται με τα τεχνικά προβλήματα της αποθήκευσης του υδρογόνου στα οχήματα και το υψηλό κόστος των κυψελών καυσίμου (Retrans, 2010).

Κεφάλαιο 3. Αξιολόγηση νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών

Στο παρόν κεφάλαιο, αξιολογούνται τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των οδικών μεταφορών και συγκρίνονται με τα υφιστάμενα. Η αξιολόγηση γίνεται με τη χρήση της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Εξετάζονται αναλυτικά δύο περιπτώσεις:

Περίπτωση α', στην οποία αξιολογούνται καύσιμα και τεχνολογίες,

Περίπτωση β', στην οποία αξιολογούνται καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα.

3.1 Συσχέτιση των τεχνολογικών, οικονομικών, πολιτικών και κοινωνικών παραμέτρων

Τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των οδικών μεταφορών περιλαμβάνουν τα βιοκαύσιμα (υγρά και αέρια προερχόμενα από επεξεργασία βιομάζας), την αεριοκίνηση, την ηλεκτροκίνηση (υβριδικά, επαναφορτιζόμενα υβριδικά πλήρως ηλεκτρικά οχήματα) και τις κυψέλες καυσίμου. Η βιομάζα έχει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα ως προς τη βιωσιμότητα, την ουδετερότητα σε εκπομπές άνθρακα, την πολιτική ενεργειακής ανεξαρτησίας και τα κατά τόπους οικονομικά οφέλη (Lee and Shah, 2012).

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών πραγματοποιείται σύμφωνα με τις τεχνολογικές, οικονομικές, πολιτικές και κοινωνικές παραμέτρους που ακολουθούν.

3.1.1 Τεχνολογικές παράμετροι

Η αυξανόμενη ζήτηση για τις μεταφορές και ειδικότερα για τις οδικές, υποδηλώνει την ανάγκη για ριζικές και όχι απλά σταδιακές τεχνολογικές βελτιώσεις, με στόχο τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης και την ενθάρρυνση της μετάβασης σε μεταφορές χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα (Kohler et al., 2009). Η τεχνολογία βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου, οδηγώντας σε μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας, υψηλότερες αποδόσεις κατά τη μετατροπή της ενέργειας και χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα (Berglund and Söderholm, 2006). Η τεχνολογική πρόοδος συνδέεται με τη

διαδικασία παραγωγής και εξέλιξής της στην αντίστοιχη χρονική περίοδο (Vliet et al., 2011). Για να καλυφθεί η ζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο πρέπει να εφαρμοσθεί μία πληθώρα διαφορετικών προσεγγίσεων που υιοθετούν τις τοπικές συνθήκες ανά χώρα. Οι λύσεις πρέπει να είναι τεχνολογικά τεκμηριωμένες και να βασίζονται τόσο σε υπάρχουσες όσο και σε υπό ανάπτυξη τεχνολογίες. Για να πετύχουμε μια μεγάλης κλίμακας αλλαγή σε εύθετο χρόνο, όλες οι τεχνολογικά οδηγούμενες λύσεις θα πρέπει να ενθαρρύνονται με οικονομικά κίνητρα και να υποστηρίζονται από δημόσιες πολιτικές (Ghoniem, 2011).

Οι επιμέρους τεχνολογικοί παράμετροι που μελετήθηκαν είναι: η τεχνολογική ωριμότητα και η διαθεσιμότητα υποδομών.

3.1.1.1 Τεχνολογική ωριμότητα

Η εξέλιξη της τεχνολογίας, η ανάπτυξη της έρευνας και τα πιλοτικά έργα επίδειξης που απαιτούνται για την εμπορική της εκμετάλλευση, αναφέρονται σε προηγμένες τεχνολογίες καυσίμων που είναι δαπανηρές και πολύπλοκες. Οι τεχνολογίες αυτές είναι απίθανο να αναπτυχθούν και να διατίθενται στο εμπόριο σε μία μόνο χώρα καθώς, είναι σημαντικές για την παγκόσμια αγορά (Faaij, 2006). Σημαντικές προκλήσεις πρέπει να ξεπεραστούν για μια ομαλή μετάβαση από την οικονομία που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα σε μία οικονομία μειωμένου αποτυπώματος άνθρακα. Ενδεικτικά για τα βιοκαύσιμα, υπάρχει ανάγκη να αναπτυχθούν μέθοδοι χαμηλού κόστους για την καλλιέργεια, τη συγκομιδή, τη μεταφορά και την επεξεργασία ενεργειακών καλλιεργειών και των υπολειμμάτων βιομάζας. Επιπλέον, αρκετά τεχνολογικά θέματα πρέπει να αντιμετωπιστούν, τα οποία εστιάζουν στην κατάλληλη σχεδίαση του βιο-αντιδραστήρα (Das et al., 2008). Η περαιτέρω ανάπτυξη στην τεχνολογία της κυτταρινικής αιθανόλης θα εξαρτηθεί από την επιτυχία των υφιστάμενων πιλοτικών εγκαταστάσεων, το κόστος του κεφαλαίου, τη διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιομάζας καθώς και τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης. Επί του παρόντος, οι απαιτήσεις του κόστους επένδυσης για την κατασκευή μιας εγκατάστασης βιοαιθανόλης 2¹⁵ γενιάς εκτιμάται σε πέντε φορές του αντίστοιχου κόστους μιας υφιστάμενης εγκατάστασης παραγωγής βιοαιθανόλης 1¹⁵ γενιάς, κυρίως λόγω έλλειψης τεχνολογικής ωριμότητας (Kromer et al., 2010).

Η τεχνολογική ωριμότητα αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.1.1.2 Διαθεσιμότητα υποδομών

Η έλλειψη των κατάλληλων υποδομών εμποδίζει την ανάπτυξη αρκετών νέων τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών (Tsita and Pilavachi, 2012). Οι άνθρωποι γενικά δεν αποδέχονται εύκολα την αλλαγή στη ζωή τους ή στις συνήθειές τους, εκτός αν υπάρχουν προφανή θετικά οφέλη. Πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την παροχή πληροφοριών και εκπαίδευσης της κοινωνίας σχετικά με τις ανάγκες για ενεργειακές υποδομές και τα οφέλη από την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (OECD/IEA, 2009a). Ιδιαίτερα οι νέες τεχνολογίες στον τομέα της βιοενέργειας, δεν μπορεί να φτάσουν σε ένα ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο χωρίς την παράλληλη ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών (Rosch and Kaltschmitt, 1999).

Η διαθεσιμότητα υποδομών αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.1.2 Οικονομικές παράμετροι

Η επίδραση των μεταβολών των τιμών της ενέργειας δεν εξαρτάται μόνο από τα καύσιμα και τον τρόπο παραγωγής τους, αλλά και τη διαθεσιμότητά τους καθώς και τον τρόπο που απορροφούνται από την κάθε οικονομική δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμοζόμενης νομισματικής πολιτικής (European Central Bank, 2010). Στις περισσότερες περιπτώσεις η ενέργεια χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα είναι πιο ακριβή από την ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Η παραγωγή καυσίμων υψηλού ενεργειακού περιεχομένου, όπως ο ηλεκτρισμός και τα βιοκαύσιμα οδηγούν σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις και προηγμένες τεχνολογίες μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη υψηλού κόστους καλλιεργήσιμη βιομάζα (Faaij, 2006). Αναμένεται ότι στο μέλλον η οικονομική αποδοτικότητα των εναλλακτικών καυσίμων θα υποστεί σημαντικές βελτιώσεις, ως αποτέλεσμα: α) των ερευνητικών προσπαθειών, β) των επενδύσεων και γ) της διεύρυνσής τους στην αγορά σε μεγάλη κλίμακα. Ωστόσο, η μελλοντική πρόοδος είναι εξαιρετικά αβέβαιη και εξαρτάται από τις πολιτικές επιλογές που θα επηρεάσουν την εξέλιξη του κόστους της

τεχνολογίας, τις υποδομές και το ρυθμιστικό πλαίσιο στον τομέα των μεταφορών (EC, DG for Mobility and Transport, 2011). Η εξέλιξη της τεχνολογίας είναι απαραίτητη για την επίτευξη του στόχου της απεξάρτησης από τον άνθρακα, καθώς και η κατασκευή των αντίστοιχων υποδομών που θα δώσουν την απαραίτητη ασφάλεια στους επενδυτές για τη μελλοντική ένταξη στην αγορά των νέων προϊόντων τους.

Οι επιμέρους οικονομικοί παράμετροι που μελετήθηκαν είναι: το κόστος εφαρμογής, το κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας, το κόστος παραγωγής ενέργειας, το κόστος επένδυσης και το κόστος υποδομών.

3.1.2.1 Κόστος εφαρμογής

Αφορά το συνολικό κόστος κτήσης ενός οχήματος νέας τεχνολογίας και το επιμερισμένο κόστος ανά όχημα της κατασκευής και της λειτουργίας των αντίστοιχων εγκαταστάσεων τροφοδοσίας του. Οι υπό εξέλιξη εναλλακτικές λύσεις, όπως π.χ. τα υβριδικά αυτοκίνητα και τα βιοκαύσιμα, είναι ευκολότερο να υιοθετηθούν τόσο ως προς τις υποδομές τροφοδοσίας τους, όσο και ως προς το κόστος απόκτησης σε σχέση με μια ευρεία μετάβαση σε ηλεκτρικά αυτοκίνητα ή σε αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου και τις απαιτούμενες υποδομές τους (Vliet et al., 2011). Οι κυψέλες καυσίμου, τα υβριδικά, τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά καθώς και τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα αποσβένουν το αντίστοιχο κόστος, μόνο εφόσον οι αποστάσεις οδήγησης είναι μεγάλες (περισσότερο από 200.000 χιλιόμετρα στο σύνολο της ζωής τους), εκτός εάν προβλέπονται φορολογικά κίνητρα για την ενίσχυση των οχημάτων αυτών των τεχνολογιών (Bartista et al., 2010). Η έλλειψη της κατάλληλης υποδομής εμποδίζει την ανάπτυξη πολλών νέων τεχνολογιών και εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Το κόστος εφαρμογής αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α'), μετράται σε k€/vehicle (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2).

3.1.2.2 Κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας

Αφορά το κόστος των επενδύσεων έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης (R&D) και κάθε πρόσθετο κόστος για τη βελτίωση της τεχνολογίας. Ορισμένες νέες τεχνολογίες βελτιώνονται σταδιακά ενώ άλλες προκαλούν τεχνολογική επανάσταση από τη στιγμή της ανακάλυψής τους. Δεν είναι ακόμα σαφές ποιος τύπος καυσίμου ή τεχνολογία

πρόκειται να κυριαρχήσει στον τομέα των μεταφορών στο μέλλον (Santos et al., 2010). Η επιδίωξη μιας σταθερής, οικονομικά βιώσιμης και φιλικής προς το περιβάλλον πηγής καυσίμων για τον τομέα των μεταφορών έχει οδηγήσει σε εκτεταμένες ερευνητικές προσπάθειες που επικεντρώνονται στην μετατροπή ποικίλων πρώτων υλών σε βιοκαύσιμα. Προκειμένου να επιτευχθεί μια υπολογίσιμη εισαγωγή στην αγορά, η προτεινόμενη τεχνολογία νέων καυσίμων θα πρέπει να είναι εμπορικά βιώσιμη και να υποστηρίζεται με κατάλληλες κυβερνητικές πολιτικές (IEA-AMF, 2011).

Το κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α'), μετράται σε k\$/vehicle (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2).

3.1.2.3 Κόστος παραγωγής ενέργειας

Η καθαρή ενέργεια για τις μεταφορές έχει αυξημένο κόστος παραγωγής. Στις περισσότερες χώρες, η αιθανόλη και το βιοντίζελ είναι σημαντικά πιο ακριβά από τα συμβατικά καύσιμα που αντικαθιστούν (βενζίνη και ντίζελ). Τα αυτοκίνητα που κινούνται με ηλεκτρισμό, πλήττονται από το υψηλό κόστος των συσσωρευτών, που μπορεί εύκολα να ακυρώσει το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας των οχημάτων αυτών (Levi et al., 2010). Το κόστος παραγωγής νέων καυσίμων μπορεί να διαφέρει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου και ανά περιοχή, ανάλογα με παράγοντες όπως οι τιμές των πρώτων υλών στις τοπικές αγορές και η κλίμακα παραγωγής τους. Οι τιμές των καυσίμων μπορεί να διαφέρουν ακόμη περισσότερο, δεδομένου ότι εξαρτώνται όχι μόνο από μεταβολές του κόστους παραγωγής, αλλά και από τις ιδιαιτερότητες κάθε αγοράς, όπως η προσφορά και η ζήτηση, ο ανταγωνισμός, και τοπικές πολιτικές επιδοτήσεων ή φόρων (OECD/IEA, 2009c). Το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμων υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό ετήσιο κόστος παραγωγής μιας μονάδας ως προς την παραγόμενη ποσότητα των καυσίμων. Οι μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής επωφελούνται από τα πλεονεκτήματα οικονομιών κλίμακας, ενώ το κόστος παραγωγής βιοκαυσίμων επηρεάζεται περίπου κατά 50% από τα κεφάλαια που επενδύθηκαν (Hamelinck and Faaij, 2002). Η παραγωγή καυσίμων από βιομάζα είναι μάλλον ακριβή και δύσκολη, με τη μείωση του κόστους παραγωγής τους και την αύξηση του ενεργειακού τους περιεχομένου, να αποτελούν τα κύρια σημεία έρευνας (Xuan et al., 2009). Σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, όπου η πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας είναι χωρίς

κόστος, στα βιοκαύσιμα η πρώτη ύλη αντιπροσωπεύει σημαντικό μερίδιο του συνολικού κόστους παραγωγής (Timilsina and Shrestha, 2011). Παρά το γεγονός ότι οι τεχνολογίες βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς είναι ακόμη σε στάδιο πιλοτικής εφαρμογής, το κύριο κόστος της διαδικασίας μετατροπής τείνει να μειωθεί με χρονικό ορίζοντα το 2020, καθώς αναμένεται να μειωθεί παράλληλα το κόστος κεφαλαίου, το κόστος εργασίας και άλλα πάγια έξοδα λειτουργίας (Neuwahl, et al., 2008).

Το κόστος παραγωγής ενέργειας αναφέρεται τόσο σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών, όσο και σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (δηλαδή και στις δύο περιπτώσεις), μετράται σε €/GJ (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2 & 3.4.2).

3.1.2.4 Κόστος επένδυσης

Τα έργα παραγωγής εναλλακτικών καυσίμων απαιτούν υψηλές επενδύσεις κεφαλαίου. Το κόστος χρηματοδότησης είναι επομένως ένα από τα βασικά στοιχεία, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα της κάθε επένδυσης (Seadi et al., 2008). Ενδεικτικά, οι δαπάνες για την παραγωγή βιοκαυσίμων κυριαρχούνται από το κόστος της πρώτης ύλης καθώς και από τα επενδυμένα κεφάλαια. Ως αποτέλεσμα η ενεργειακή απόδοση και η διαθεσιμότητα των εργοστασίων παραγωγής είναι μεγάλης σημασίας (ICS-UNIDO, 2007). Απότομες αλλαγές στην αγορά ενέργειας και την αγορά των πρώτων υλών μπορεί να οδηγήσουν τόσο σε μια σημαντικά χαμηλότερη οικονομική απόδοση της επένδυσης όσο και σε πρόσθετους εμπορικούς κινδύνους για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (Rosch and Kaltschmitt, 1999).

Το κόστος επένδυσης αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'), μετράται σε k\$/MW_{th} (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.1.2.5 Κόστος υποδομών

Οι υφιστάμενες ενεργειακές υποδομές κατά κύριο λόγο εξαρτώνται από τα ορυκτά καύσιμα και η αλλαγή των υποδομών αυτών μπορεί να υλοποιηθεί σταδιακά μόνο μέσα στις επόμενες δεκαετίες και με σοβαρές επενδύσεις (Ghoniem, 2011). Ωστόσο, οι σημαντικές αλλαγές στις υποδομές που απαιτούνται και η εφαρμογή πολλών από τα διαθέσιμα μέτρα και πολιτικές, χαρακτηρίζονται από καθυστερήσεις στους

χρόνους υλοποίησης (Forster et al., 2012). Μερικές από τις καινοτόμες τεχνολογίες που θα είναι καθοριστικές για το μέλλον των οδικών μεταφορών, θα είναι υψηλού κόστους, ενώ θα χρειαστεί να παρθούν σημαντικές αποφάσεις κατά την αξιολόγηση τέτοιων επενδύσεων. Αυτό είναι εφικτό να γίνει μέσω συνεργασιών του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Παράλληλα πρέπει από κοινού να υλοποιηθεί ένα πλαίσιο εφαρμογής για τη χρηματοδότηση της ανάπτυξης των υποδομών με στόχο: α) τη βελτιστοποίηση της απαιτούμενης δυναμικότητας, β) την ασφάλεια στο δρόμο και γ) την ενσωμάτωση των υποδομών σε αστικά και προαστιακά περιβάλλοντα (ERTRAC, 2009).

Το κόστος υποδομών αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'), μετράται σε bn\$ (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.1.3 Πολιτικές παράμετροι

Τον Απρίλιο του 2010, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιβεβαίωσε ότι «τα πράσινα οχήματα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που μπορούν να χρησιμοποιούν ηλεκτρισμό, υδρογόνο, βιοαέριο και υγρά βιοκαύσιμα σε υψηλή αναλογία, είναι πιθανό να συνεισφέρουν σημαντικά στις προτεραιότητες της Ευρώπης για το 2020 για την προώθηση μιας πιο αποδοτικής χρήσης πόρων, πιο πράσινης και πιο ανταγωνιστικής οικονομίας» (EU, 2010). Η σύνθεση του μελλοντικού στόλου οχημάτων θα καθοριστεί από τα διάφορα μέτρα και τις πολιτικές που θα εφαρμοσθούν στους επιμέρους τομείς ενός διασυνδεδεμένου συστήματος περιβαλλοντικών και κοινωνικών ιδιαιτεροτήτων (Mandell, 2009). Θα προτιμηθούν ευέλικτα εργαλεία πολιτικής που επωφελούνται από τους μηχανισμούς της αγοράς (Boarnet, 2010).

Οι επιμέρους πολιτικοί παράμετροι που μελετήθηκαν είναι: οι εκπομπές CO₂, η ενεργειακή ασφάλεια, η δημιουργία απασχόλησης και ο κοινωνικός πλούτος.

3.1.3.1 Εκπομπές CO₂

Αναφέρεται στην ποσότητα των εκπομπών CO₂ που σχετίζεται με κάθε τύπο ή τεχνολογία καυσίμου. Η διεθνής κοινότητα τιμολογεί τις εκπομπές άνθρακα, προκειμένου να περιορίσει την κατανάλωση, να προάγει την τεχνολογική καινοτομία, να επηρεάσει τις επιλογές σε καύσιμα και να τονώσει τις αντίστοιχες επενδύσεις (Pascual and Elkind, 2010). Το κόστος των εκπομπών άνθρακα υπαγορεύεται είτε από

υποχρεωτικού χαρακτήρα προαπαιτούμενα (π.χ. τεχνικά πρότυπα επιτρεπόμενων εκπομπών ρύπων), είτε από κίνητρα (π.χ. το σύστημα εμπορίας εκπομπών ρύπων), είτε από απευθείας φορολόγηση (European Biofuels Technology Platform, 2012). Το σύστημα εμπορίας εκπομπών ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ETS), μπήκε σε εφαρμογή στις αρχές του 2005, για τον έλεγχο των εκπομπών CO₂ της βαριάς βιομηχανίας και της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας. Από το 2005 έως και το 2012, τα ανώτατα όρια εκπομπών είχαν καθοριστεί σύμφωνα με τα εθνικά σχέδια κατανομής, ενώ αντικαταστάθηκαν το 2012 από ένα πανευρωπαϊκό ανώτατο όριο (European Central Bank, 2010). Ενδεικτικά, μόνο το 2008, εμπορεύτηκαν στο ETS περισσότεροι από 3 γιγατόνους δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ που αντιπροσωπεύουν συνολική αξία 63 δις ευρώ και ανέρχονταν στο 73% της παγκόσμιας αγοράς εκπομπών άνθρακα (World Bank, 2009). Οι πολιτικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής θα αυξήσουν την τιμή των ενεργειακών προϊόντων σε συνάρτηση με το περιεχόμενό τους σε άνθρακα (European Central Bank, 2010). Το κόστος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς εκτιμάται ότι θα είναι σημαντικά μικρότερο από το αντίστοιχο των βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς (RETRANS, 2010). Η πρόσφατη οικονομική κρίση είχε αρνητικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη καθαρών ενεργειακών προϊόντων και στις αγορές δικαιωμάτων εκπομπών ρύπων. Ενδεικτικά, η τιμή ανθρακικού δικαιώματος έχει μειωθεί σημαντικά από το υψηλό του 2008 (20€/ton) στο ελάχιστο του Μαΐου 2013 (3,5€/ton) (OECD/IEA, 2013). Στον τομέα των οδικών μεταφορών προωθούνται τόσο οι πολιτικές αύξησης της ενεργειακής απόδοσης όσο και η ανάπτυξη νέων καυσίμων με στόχο την μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος (OECD/IEA, 2012a).

Οι εκπομπές CO₂ αναφέρονται τόσο σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α'), όσο και σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'), μετρώνται σε g/km (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2 & 3.4.2).

3.1.3.2 Ενεργειακή ασφάλεια

Αναφέρεται στην εξάρτηση από λιγότερες εισαγωγές ορυκτών καυσίμων, υπό την προϋπόθεση ότι τα εναλλακτικά καύσιμα θα βασίζονται σε τοπικά παραγόμενες πρώτες ύλες. Η υφιστάμενη γεωπολιτική της αγοράς πετρελαίου καθορίζεται από την εξάρτηση του κόσμου από το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα στον τομέα των

μεταφορών και από την συγκέντρωση των πετρελαϊκών πόρων σε μια μικρή ομάδα κρατών (Morse, 2009). Το βασικό πρόβλημα είναι ότι η εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο εκθέτει τη μακροοικονομία σε απότομες αυξομειώσεις των τιμών, ενώ παράλληλα προκαλεί μακροπρόθεσμη πίεση στους προϋπολογισμούς των νοικοκυριών που αδυνατούν να αντιμετωπίσουν τα αυξανόμενα κόστη και την αστάθεια των τιμών του αργού (Pascual and Elkind, 2010). Το πεδίο εφαρμογής της νομοθεσίας της ΕΕ έχει διευρυνθεί σημαντικά από το 1990 για να συμπεριλάβει όχι μόνο την εύρυθμη λειτουργία των αγορών ενέργειας, αλλά επίσης την ενεργειακή ασφάλεια και τους στόχους της κλιματικής αλλαγής (European Central Bank, 2010). Πρόσφατες μελέτες σχετικά με την πιθανή σχέση μεταξύ των πολιτικών για το κλίμα και την ενεργειακή ασφάλεια βρήκαν ότι μπορεί να επιτευχθεί «διπλό μέρισμα» με παράλληλα οφέλη για το κλίμα και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Μελέτες από τον OECD/IEA (2007) υποδεικνύουν ότι η επίδραση της μείωσης των εκπομπών CO₂ στην ενεργειακή ασφάλεια εξαρτάται από τον τρόπο εφαρμογής. Για παράδειγμα, η χρήση ενεργειακών τεχνολογιών προερχόμενων από μη ορυκτά καύσιμα (π.χ. ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πυρηνική ενέργεια) έχουν θετικό αντίκτυπο στην ενεργειακή ασφάλεια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα καύσιμα επόμενης γενιάς που θα αντικαταστήσουν τη βενζίνη και το ντίζελ, λόγω των επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή, στην επάρκεια των αποθεμάτων υδρογονανθράκων, στις αυξομειώσεις στην τιμή του αργού και στην πολιτική αστάθεια των περισσότερων πετρελαιοπαραγωγών κρατών (Solomon et al., 2007).

Η ενεργειακή ασφάλεια αναφέρεται τόσο σε καύσιμα και τεχνολογίες (περίπτωση α'), όσο και σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2 & 3.4.2).

3.1.3.3 Δημιουργία απασχόλησης

Αναφέρεται στη δημιουργία άμεσων και έμμεσων νέων θέσεων εργασίας. Η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι υψηλότερης έντασης εργατικού δυναμικού από τη συμβατική παραγωγή ενέργειας, ενώ απαιτεί λιγότερα εισαγόμενα αγαθά και υπηρεσίες. Ορισμένες μελέτες τεκμηριώνουν θετικές επιπτώσεις στο ΑΕΠ και στην απασχόληση βραχυπρόθεσμα, ωστόσο μακροπρόθεσμα τα υψηλότερα κόστη παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας συχνά περιορίζουν το τελικό αποτέλεσμα

(Dannenberg et al., 2008). Οι αυστηροί περιβαλλοντικοί κανονισμοί και νόμοι μπορούν να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων και της οικονομίας προκαλώντας καινοτόμες λύσεις και τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον που οδηγούν στη μείωση του κόστους παραγωγής ή δημιουργούν άλλα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Αν και είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε μια ολοκληρωμένη εικόνα για την πράσινη απασχόληση, τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι θα δημιουργηθούν στην Ευρώπη περίπου 1 εκατομμύριο θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης μεταξύ 2010 και 2020 (EREC, 2004 και WWF, 2009), με περίπου 300.000 θέσεις εργασίας στον τομέα των βιοκαυσίμων (Neuwahl et al., 2008). Περίπου 200 εκατομμύρια άνθρωποι εργάζονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση συνολικά. Ο αριθμός των πράσινων θέσεων εργασίας εξακολουθεί να είναι ένα σχετικά μικρό μέρος αυτού του συνόλου, αλλά συγκρίνεται ευνοϊκά με τα 2,8 εκατομμύρια θέσεις εργασίας σε ρυπογόνες βιομηχανίες υψηλού αποτυπώματος άνθρακα (ορυχεία, φυσικό αέριο, χάλυβας κ.λπ.). Οι πολιτικές πράσινης ανάπτυξης αποτελούν μια σύγχρονη στρατηγική αναδόμησης της παραγωγικής βάσης, της ισορροπημένης περιφερειακής ανάπτυξης και της δημιουργίας νέων θέσεων απασχόλησης (SHIVAA, 2009). Στην εργασία των Neuwahl et al., (2008), τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταδεικνύουν ότι η δημιουργούμενη απασχόληση είναι συνδυασμός των θετικών επιπτώσεων στον αγροτοδιατροφικό τομέα και στον βιομηχανικό τομέα, κυρίως λόγω της υψηλής έντασης κεφαλαίου παραγωγής βιοκαυσίμων και των αρνητικών επιπτώσεων στον κλάδο της δύλισης. Τα βιοκαύσιμα επόμενης γενιάς προσφέρουν επίσης μια σημαντική νέα αγορά με ευκαιρίες δημιουργίας απασχόλησης και βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης (WWF, 2009). Μια έρευνα σε χώρες της Ασίας διαπιστώνει ότι το δυναμικό παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς από γεωργικά και δασικά υπολείμματα είναι περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το δυναμικό παραγωγής βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, ενώ η απασχόληση που δημιουργείται λόγω των βιοκαυσίμων 2ης γενιάς να είναι αντίστοιχα σημαντική (APEC, 2010).

Η δημιουργία απασχόλησης αναφέρεται τόσο σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών, όσο και σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα. Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2 & 3.4.2).

3.1.3.4 Κοινωνικός πλούτος

Αναφέρεται στο επίπεδο της κοινωνικής ευημερίας και του βιοτικού επιπέδου, μετρημένα σε ΑΕΠ. Στην ιδανική περίπτωση, η χάραξη πολιτικής θα πρέπει να βασίζεται σε αναλύσεις παραγωγής κοινωνικού πλούτου που αξιολογούν τα αντίστοιχα κόστη και οφέλη. Τα σημερινά οικονομικά μοντέλα παρέχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις άμεσου κόστους-οφέλους, ωστόσο είναι ευαίσθητα στο να αξιολογήσουν αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία που εκτείνονται σε βάθος δεκαετιών και που περιλαμβάνουν σε κάποιο βαθμό απρόβλεπτους οικονομικούς μετασχηματισμούς και νέες τεχνολογίες (Boarnet, 2010). Η αύξηση του κοινωνικού πλούτου μπορεί να επιτευχθεί με την επιβολή φόρων, την εμπορία δικαιωμάτων ρύπων ή άλλων εργαλείων ρυθμιστικής πολιτικής. Οι πολιτικές αυτές έχουν την τάση να αυξάνουν τις τιμές της ενέργειας, ενώ προσπαθούν να περιορίσουν τις εκπομπές ρύπων από την κατανάλωση ενέργειας στο βέλτιστο κοινωνικά επίπεδο (Common and Stiglitz, 2005). Σύμφωνα με τη θεωρία της βέλτιστης φορολογίας, οι φόροι που επιβάλλονται στα εμπορεύματα δημιουργούν διαταραχές με τη μορφή των απωλειών εισοδήματος (Atkinson and Stiglitz, 1980). Οι φόροι σε ενεργειακά προϊόντα ή άλλα μέτρα πολιτικής που αυξάνουν τις τιμές της ενέργειας δημιουργούν αντίστοιχες απώλειες. Οι στρεβλώσεις από την επιβολή φορολογίας μειώνονται με την ελαστικότητα της ζήτησης. Οι φόροι στα αγαθά με μη ελαστική ζήτηση, όπως ο ηλεκτρισμός ή η ενέργεια, μπορεί να έχουν θετικές οικονομικές επιπτώσεις, εάν αντικαταστήσουν φόρους σε αγαθά με υψηλότερη ελαστικότητα ζήτησης, ένα φαινόμενο που ονομάζεται «διπλό μέρισμα» (Dannenberg et. Al., 2008).

Ο κοινωνικός πλούτος αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.3.2).

3.1.4 Κοινωνικές παράμετροι

Οι παράλληλες επιπτώσεις από τη διαχείριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα των πολιτικών του τομέα των μεταφορών κατά τις επόμενες δεκαετίες. Οι πολιτικές χρήσεις γης και το συνεπαγόμενο κόστος τους θα καθορίσουν το ρυθμιστικό πλαίσιο, με γνώμονα τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή. Οι τοπικές πολιτικές θα έχουν ιδιαίτερη σημασία και επίδραση (Boarnet, 2010). Οι πολίτες ενδιαφέρονται κυρίως για τις κοινωνικές

επιπτώσεις της εισαγωγής μιας νέας τεχνολογίας στις μεταφορές που περιλαμβάνει την αύξηση της ευημερίας, τη μείωση των εξωτερικών παραγόντων (π.χ. τοπική ρύπανση, θόρυβος, ατυχήματα) και την κυκλοφοριακή συμφόρηση (EC, DG for Mobility and Transport, 2011). Δεδομένου ότι, η βιοενέργεια μπορεί να παραχθεί από ενεργειακές καλλιέργειες και υπολείμματα βιομάζας καθώς και οργανικά απόβλητα, υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες για νέες πηγές εισοδήματος σε όλη την αλυσίδα αξιοποίησής της, δηλαδή από την καλλιέργεια, τη συγκομιδή, την επεξεργασία και την μετατροπή σε ενέργεια. Αυτό μπορεί να ωφελήσει τους αγρότες και τους ιδιοκτήτες γης και να στηρίξει την αγροτική ανάπτυξη (OECD/IEA, 2012b).

Οι επιμέρους κοινωνικοί παράμετροι που μελετήθηκαν είναι: η δημόσια αποδοχή και ο ανταγωνισμός με τα τρόφιμα.

3.1.4.1 Δημόσια αποδοχή

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η στάση των πολιτών θα πρέπει να αλλάξει για να υιοθετηθούν πιο ριζοσπαστικά σενάρια σχετικά με την εφαρμογή των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας (Devine-Wright, 2008). Η δημόσια αποδοχή είναι ένα εξελισσόμενο και μεταβαλλόμενο φαινόμενο, διότι δεν αφορά μόνο την ίδια την τεχνολογία, αλλά και τα οικονομικά και τα κοινωνικά δίκτυα που δομούνται γύρω της (Brohmann et al., 2007). Σημαντική επέκταση της χρήσης βιοενέργειας δεν θα είναι εφικτή χωρίς την ευρύτερη δημόσια αποδοχή, η οποία θεσπίζεται πρωτίστως μέσω της δημόσιας εμπιστοσύνης και υποστήριξης που απαιτεί ένα πλαίσιο διαδραστικής επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών (Alasti, 2011). Ιδιαιτερότητες εμφανίζονται ακόμα και ως προς την επιλογή της πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιηθεί. Ενδεικτικά, οι πολίτες φαίνεται να προτιμούν την αξιοποίηση των αποβλήτων και της κοπριάς, ενώ οι μηχανικοί που δραστηριοποιούνται στον τομέα της αεριοποίησης βιομάζας δίνουν έμφαση στο ξύλο και το άχυρο ως την τεχνικά πιο ευνοϊκή λύση (Midden et al., 2007). Ένα σημαντικό εργαλείο για την αύξηση της αποδοχής είναι η δημοσίευση και η διάδοση παραδειγμάτων και βέλτιστων πρακτικών (Kristofel and Wopienka, 2011).

Η δημόσια αποδοχή αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.1.4.2 Ανταγωνισμός με τρόφιμα

Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς συνεισφέρουν στην αποτροπή της μετατροπής σε καύσιμα βασικών γεωργικών προϊόντων που είναι κατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο, ενώ μας δίνουν τη δυνατότητα ακόμα και να αξιοποιήσουμε τα υπολείμματα από τη γεωργική παραγωγή (Timilsina and Shresta, 2010). Υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό για την παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων, τα οποία αναμένεται να έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα συμβατικά βιοκαύσιμα όσον αφορά τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, απαιτήσεις ως προς τη χρήση της γης και τον ανταγωνισμό με τα βρώσιμα προϊόντα και το νερό (European Biofuels Technology Platform, 2012).

Ο ανταγωνισμός με τα τρόφιμα αναφέρεται αποκλειστικά σε καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β'). Ως μη μετρήσιμο μέγεθος, απεικονίζεται με τη χρήση λεκτικού ισοδυνάμου (λεπτομέρειες παρ. 3.4.2).

3.2 Μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (ΑΙΔ)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970, για να περιορίσει τη σύγχυση που προκαλείται σε περιπτώσεις που εμπλέκονται μεταξύ τους πολλά και διαφορετικής φύσης κριτήρια που αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Η μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας - Analytic Hierarchy Process αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty (1980) και βασίζεται στην αποσύνθεση ενός πολύπλοκου προβλήματος στα συστατικά του μέρη που οργανώνονται σε μια ιεραρχική δομή.

Η μέθοδος αυτή έχει βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς ανά τον κόσμο, όπως σε επιχειρήσεις, σε κυβερνήσεις, στις κοινωνικές μελέτες, στην έρευνα και ανάπτυξη, στην άμυνα και γενικότερα σε τομείς όπου απαιτείται η λήψη αποφάσεων, στις οποίες βασικό ρόλο παίζουν τα στοιχεία: α) της επιλογής, β) της προτεραιότητας και γ) της πρόβλεψης. Η ισχύς της μεθόδου εστιάζεται στο γεγονός ότι συνθέτει τόσο τα αντικειμενικά όσο και τα υποκειμενικά κριτήρια με ένα συστηματικό τρόπο και παρέχει στο λήπτη της απόφασης μια δομημένη όσο και απλή λύση σε προβλήματα πολυκριτηριακής ανάλυσης (Kamal, 2001).

Το κύριο πλεονέκτημα της ΑΙΔ είναι ότι μπορεί να διαχειριστεί και ποσοτικά αλλά και ποιοτικά κριτήρια (Macharis et al., 2004). Απλοποιεί τη διαδικασία όταν είναι

αναγκαία η αξιολόγηση μη μετρήσιμων μεγεθών, όπως περιβαλλοντικών ή κοινωνικών επιπτώσεων. Εμπεριέχει επίσης έλεγχο συνέπειας (consistency test), καθώς μπορεί να εξαγάγει τυχόν αντικρουόμενες αποφάσεις, γεγονός που καθιστά τα αποτελέσματα περισσότερο αξιόπιστα (Kablan, 2004). Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο αριθμός των ανά ζεύγη συγκρίσεων που πρέπει να γίνουν, μπορεί να είναι πολύ μεγάλος αυξάνοντας σημαντικά την αβεβαιότητα της διαδικασίας. Επιπλέον, η ΑΙΔ έχει επικριθεί για την αξιοπιστία της με βάση τις πεποιθήσεις και τις προτιμήσεις των ληπτών αποφάσεων.

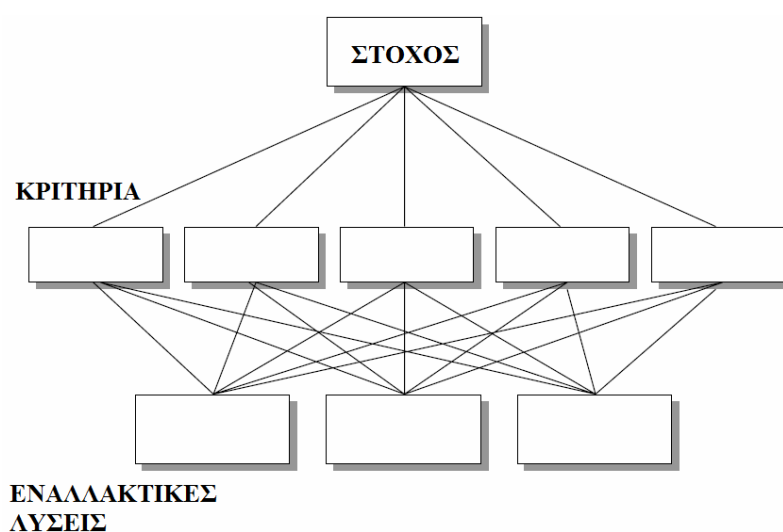
Στη μέθοδο ΑΙΔ ένα πολύπλοκο πρόβλημα αποσυντίθεται στα συστατικά του μέρη τα οποία οργανώνονται σε μια ιεραρχική δομή που ξεκινάει από το στόχο και κατεβαίνει σε διαδοχικά επίπεδα προς τα κριτήρια, τα υποκριτήρια και τις εναλλακτικές λύσεις. Υλοποιείται σε επιμέρους στάδια που περιλαμβάνουν: α) την ιεραρχική ανάλυση του προβλήματος απόφασης στα συστατικά του στοιχεία, β) την εισαγωγή των προτιμήσεων του λήπτη απόφασης των κατά ζεύγη συγκρίσεων σε πίνακες για κάθε επίπεδο της ιεραρχίας, γ) τον υπολογισμό των επιμέρους προτεραιοτήτων (βαρών) για τα κριτήρια και δ) την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος με την σύνθεση των επιμέρους προτεραιοτήτων και επιλογή της καλύτερης δυνατής εναλλακτικής λύσης (Ishizaka, 2009).

Η μέθοδος της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας βασίζεται σε ανά ζεύγη συγκρίσεις και στις αποφάσεις εμπειρογνομόνων για να εξάγουν κλίμακες προτεραιότητας. Οι συγκρίσεις γίνονται με βάση μια κλίμακα αποφάσεων που αντιπροσωπεύει, πόσο περισσότερο ένα στοιχείο κυριαρχεί σε ένα άλλο, σε σχέση με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό (Saaty, 2008). Έτσι, παρέχεται μια συνολική εικόνα των πολύπλοκων σχέσεων που ενυπάρχουν στην ανάλυση και βοηθά τον λήπτη απόφασης στο να εκτιμήσει κατά πόσον τα στοιχεία σε κάθε επίπεδο είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, έτσι ώστε να μπορεί να συγκρίνει τέτοια ομοιογενή στοιχεία με ακρίβεια (Chatzimouratidis and Pilavachi, 2007). Η ιεραρχική δομή επιτρέπει στον λήπτη της απόφασης να χωρίσει το πρόβλημα επιλογής σε μικρότερα συναφή προβλήματα με τη δομή στόχου, κριτηρίων και υποκριτηρίων, έτσι ώστε να επικεντρωθεί σε επιμέρους αποφάσεις και να τα συγκρίνει πιο αποτελεσματικά (Papadopoulos et al., 2011). Μειώνει το χρόνο λήψης απόφασης, ελαχιστοποιεί προβλήματα όπως η έλλειψη της εστίασης και του σχεδιασμού και παρέχει μια μέθοδο που μπορεί να ποσοτικοποιηθεί, ενώ η υποκειμενική κρίση του ατόμου που λαμβάνει αποφάσεις μπορεί πλέον να αξιολογηθεί (Chauhan, 2008). Η μέθοδος ΑΙΔ επιλέχθηκε καθώς είναι μια

αντισταθμιστική μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων που επιτρέπει την αποσύνθεση ενός περίπλοκου προβλήματος. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η εξισορρόπηση μεταξύ καλών και κακών αξιολογήσεων με βάση τα κριτήρια, ενώ η ιεραρχική δομή παρέχει τη δυνατότητα για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και πιο ακριβείς αξιολογήσεις (Papalexandrou et al., 2008). Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευελιξία να ενσωματωθεί σε διάφορες τεχνικές όπως το γραμμικό προγραμματισμό και την ασαφή λογική. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εξάγει οφέλη από όλες τις συνδυασμένες μεθόδους και ως εκ τούτου την επίτευξη του επιθυμητού στόχου με τον καλύτερο τρόπο (Vaidya and Kumar, 2006).

3.2.1 Λογισμικό Expert Choice

Το σύστημα υποστήριξης λήψης απόφασης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το λογισμικό Expert Choice. Δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από τον Thomas Saaty και τον Ernest Forman, ιδρυτή της Expert Choice Inc., και αποτέλεσε το πρώτο σύστημα υποστήριξης απόφασης που υλοποίησε τη μεθοδολογία της ΑΙΔ. Είναι από τα πλέον δημοφιλή λογισμικά λήψης απόφασης, αφού χρησιμοποιείται από επιχειρήσεις και δημόσιους οργανισμούς αλλά και εκπαιδευτικά ιδρύματα παγκοσμίως.



Σχήμα 3.1 Δομή δέντρου Αναλυτικής Ιεραρχίας Αξιολόγησης

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έγινε κυρίως για τη δομή της, την αποτελεσματικότητα και την ευκολία κατανόησης του τρόπου λειτουργίας της. Σημαντικό πλεονέκτημα του Expert Choice αποτελεί ότι ο χρήστης δεν εμπλέκεται με πολύπλοκες μαθηματικές έννοιες και υπολογιστικά μοντέλα, χρησιμοποιεί μια διαδικασία ιεράρχησης εύκολα απεικονίσιμη τόσο για την είσοδο των δεδομένων όσο και για το τελικό αποτέλεσμα. Συνεπώς, ο λήπτης της απόφασης έχει μια ξεκάθαρη εικόνα του προβλήματος, των συστατικών του μερών και των προσωπικών του προτιμήσεων ώστε να οδηγηθεί στη βέλτιστη δυνατή επιλογή.

Η ιεραρχία της ΑΙΔ αποτελείται από τρία επίπεδα: το στόχο του προβλήματος (goal), τις εναλλακτικές λύσεις (alternatives) και τα κριτήρια αξιολόγησης (criteria) που συνδέουν το στόχο με τις εναλλακτικές δραστηριότητες (Σχήμα 3.1). Τα κριτήρια μπορούν να διαιρεθούν περαιτέρω σε υποκριτήρια, υπο-υποκριτήρια κ.ο.κ. σε όσα επίπεδα το πρόβλημα απαιτεί. Κατασκευάζοντας την ιεραρχία, οι συμμετέχοντες εξερευνούν το πρόβλημα σε κάθε του πλευρά και επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνουν την κατανόηση που έχουν για το πρόβλημα, καθώς και τις σκέψεις και τα συναισθήματα όλων των εμπλεκόμενων ατόμων (Saaty, 1999).

Οι εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται ανά ζεύγη για κάθε κριτήριο αξιολόγησης και κάθε υποκριτήριο ως προς το βαθμό σημαντικότητάς τους. Έστω ότι A_1, A_2, \dots, A_n οι εναλλακτικές λύσεις, όπου n ο αριθμός των εναλλακτικών λύσεων και w_1, w_2, \dots, w_n τα βάρη των κριτηρίων που εκφράζουν τη συμμετοχή του κάθε κριτηρίου στην ικανοποίηση του στόχου. Με τις ανά ζεύγος συγκρίσεις δημιουργείται ο πίνακας σύγκρισης A , όπου το στοιχείο a_{ij} δείχνει τη σύγκριση της εναλλακτικής A_i σε σχέση με το A_j (Alonso and Lamata, 2006).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1j} & 1/a_{2j} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1/a_{in} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

όπου ισχύει (Saaty, 2008),

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \mathbf{n} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

ή πιο σύντομα $\mathbf{Aw}=\mathbf{nw}$. Σ' αυτή την εξίσωση είναι γνωστοί οι λόγοι των βαρών w_i/w_j , καθώς έχει ρωτηθεί γι' αυτούς ο λήπτης απόφασης, ενώ άγνωστα είναι τα βάρη w_j . Έτσι, οδηγούμαστε στην παρακάτω εξίσωση: $\mathbf{Aw}-\mathbf{nw}=\mathbf{0}$ ή $\mathbf{w}(\mathbf{A}-\mathbf{nI})=\mathbf{0}$. Η εξίσωση αυτή αποτελεί ένα σύστημα ομογενών γραμμικών εξισώσεων και για να έχει λύση εκτός της προφανούς μηδενικής $w=0$, θα πρέπει να ισχύει $|\mathbf{A} - \mathbf{nI}|=0$, δηλαδή το w να είναι το ιδιοδιάνυσμα του \mathbf{A} και το n η ιδιοτιμή του. Ο πίνακας \mathbf{A} έχει μόνο μια μη μηδενική ιδιοτιμή, τη n που είναι και η μέγιστη ιδιοτιμή.

Για κάθε εναλλακτική λύση υπολογίζεται η συνολική της προτεραιότητα, με βάση τους συντελεστές βάρους που ορίσαμε για κάθε κριτήριο

$$A_{AHP}^i = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j$$

Η μοντελοποίηση των δεδομένων της έρευνας με βάση την αναλυτική ιεραρχική δομή έγινε με το Expert Choice. Με την εισαγωγή των δεδομένων στο σύστημα (στόχος, κριτήρια, υποκριτήρια και εναλλακτικές) οικοδομείται η ιεραρχία του μοντέλου ενώ ακολουθεί ο προσδιορισμός των προτεραιοτήτων μεταξύ των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο.

Το λογισμικό παρέχει τρεις δυνατούς τρόπους σύγκρισης των κατά ζεύγη συγκρίσεων των εναλλακτικών λύσεων: τη λεκτική (verbal), την αριθμητική (numerical) και τη γραφική (graphical) μέθοδο σύγκρισης. Οι παραπάνω μέθοδοι διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο έκφρασης της σύγκρισης. Στο σχήμα 3.2 εικονίζεται ο λεκτικός τρόπος σύγκρισης. Στο σχήμα 3.3 εικονίζεται ο γραφικός τρόπος σύγκρισης και ο αριθμητικός καθώς το λογισμικό επιτρέπει την απευθείας πληκτρολόγηση του αντίστοιχου μεγέθους.

Το επόμενο βήμα στη διαδικασία λήψης απόφασης με τη χρήση του Expert Choice είναι η σύνθεση όλων των πληροφοριών που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο και η εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος. Το πρόγραμμα υπολογίζει την επιμέρους

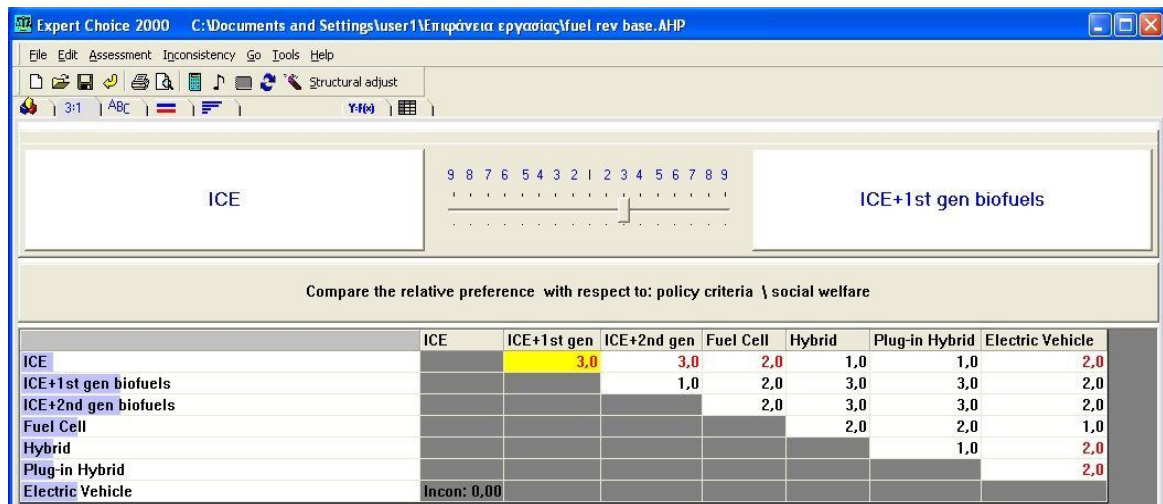
προτεραιότητα της κάθε εναλλακτικής για κάθε κριτήριο και τελικά συνθέτει τη συνολική προτεραιότητά της ως προς το στόχο του προβλήματος (Σχήμα 3.4).

Το λογισμικό επιπλέον παρέχει ένα εύκολο τρόπο εύρεσης των ασυνεπειών στον πίνακα των ανά ζεύγη συγκρίσεων. Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής των δεδομένων για τις δυαδικές συγκρίσεις στους αντίστοιχους πίνακες, το Expert Choice υπολογίζει αυτόματα το δείκτη ασυνέπειας.

Το τελευταίο στάδιο υλοποίησης του μοντέλου με το Expert Choice είναι η ανάλυση ευαισθησίας που εκτελείται για να ελεγχθεί πόσο ευαίσθητη είναι η τελική ιεράρχηση στις μεταβολές της σημαντικότητας των κριτηρίων. Το Expert Choice παρέχει πέντε τύπους ανάλυσης ευαισθησίας, την ανάλυση απόδοσης (performance), τη δυναμική απόδοση (dynamic), την ανάλυση κλίσης (gradient), ανάλυση δύο διαστάσεων (2D) και την ανάλυση αντιπαραβολής (head to head). Η ανάλυση ευαισθησίας εκτελείται για να απεικονίσει τις προτεραιότητες των εναλλακτικών αναφορικά με κάθε κριτήριο καθώς και το βαθμό ευαισθησίας του τελικού αποτελέσματος ως προς τις μεταβολές της σημαντικότητας των κριτηρίων (Forman and Selly, 2001).

	ICE	ICE+1st gen	ICE+2nd gen	Fuel Cell	Hybrid	Plug-in Hybrid	Electric Vehicle
ICE		3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	2,0
ICE+1st gen biofuels			1,0	2,0	3,0	3,0	2,0
ICE+2nd gen biofuels				2,0	3,0	3,0	2,0
Fuel Cell					2,0	2,0	1,0
Hybrid						1,0	2,0
Plug-in Hybrid							2,0
Electric Vehicle							
Incon: 0,00							

Σχήμα 3.2 Λεκτικός τρόπος σύγκρισης κατά ζεύγη των εναλλακτικών λύσεων στο Expert Choice



Σχήμα 3.3 Γραφικός τρόπος σύγκρισης κατά ζεύγη των εναλλακτικών λύσεων στο Expert Choice.

Alternative	Pairwise cost criteria implementation cost (L: 0,300)	Pairwise cost criteria technology maturity cost (L: 0,200)	Pairwise cost criteria cost of energy (L: 0,500)	Pairwise policy criteria CO2 emissions (L: 0,250)	Pairwise policy criteria energy security (L: 0,250)	Pairwise policy criteria employment (L: 0,250)	Pairwise policy criteria social welfare (L: 0,250)
✓ ICE	1,000	1,000	1,000	,430	,250	,222	,306
✓ ICE+1st gen	1,000	,630	,921	,459	1,000	1,000	1,000
✓ ICE+2nd gen	1,000	,346	,851	,874	1,000	1,000	1,000
✓ Fuel Cell	,223	,119	,448	,767	,500	,396	,565
✓ Hybrid	,704	,630	,663	,459	,500	,222	,306
✓ Plug-in Hybrid	,358	,346	,663	,683	,565	,222	,306
✓ Electric Vehicle	,358	,140	,663	1,000	,460	,396	,565

Σχήμα 3.4 Υπολογισμός των επιμέρους προτεραιοτήτων της κάθε εναλλακτικής για κάθε κριτήριο στο Expert Choice

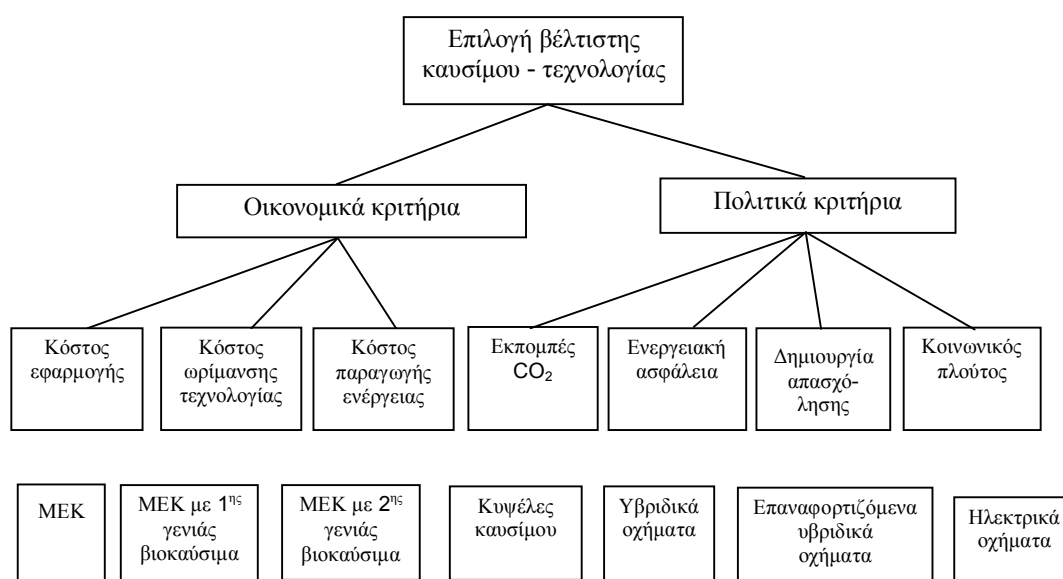
3.3 Αξιολόγηση καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών (περίπτωση α΄) με χρήση ΑΙΔ

Στο κεφάλαιο αυτό αξιολογούνται τα νέα καύσιμα και τεχνολογίες στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και συγκρίνονται με τα υφιστάμενα. Με τη χρήση της μεθόδου ΑΙΔ συσχετίζονται οικονομικοί και πολιτικοί παράμετροι, ώστε να αξιολογηθούν διάφορα σενάρια καυσίμων και να υπολογισθούν οι βέλτιστες επιλογές νέων καυσίμων και τεχνολογιών.

Οι παράμετροι που εξετάζονται ως κριτήρια είναι: α) οικονομικοί (κόστος εφαρμογής, κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας και κόστος παραγωγής ενέργειας) και β) πολιτικοί (εκπομπές CO₂, ενεργειακή ασφάλεια, δημιουργία απασχόλησης και κοινωνικός πλούτος).

3.3.1 Δομή ιεραρχίας ΑΙΔ και κριτήρια αξιολόγησης

Η ιεραρχία δομής δέντρου που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Σχ. 3.5. Ο στόχος είναι η επιλογή του καλύτερου καυσίμου ή τεχνολογίας για τον τομέα των ελληνικών οδικών μεταφορών. Τα δύο βασικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην ιεραρχία είναι οικονομικά και πολιτικά. Τα οικονομικά κριτήρια περιλαμβάνουν τρία υποκριτήρια, δηλαδή "κόστος εφαρμογής", "κόστος τεχνολογικής ωρίμανσης" και "κόστος παραγωγής ενέργειας". Τα πολιτικά κριτήρια περιλαμβάνουν τέσσερα επιμέρους κριτήρια, δηλαδή "εκπομπές του CO₂", "ενεργειακή ασφάλεια", "δημιουργία απασχόλησης" και "κοινωνικός πλούτος".



Σχήμα 3.5 Ιεραρχία δομής δέντρου αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών

Στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας παρουσιάζονται τα εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες. Οι εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη του στόχου περιλαμβάνουν: οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης, οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς, οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς, κυψέλες καυσίμου, υβριδικά οχήματα, επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα και ηλεκτρικά οχήματα.

3.3.2 Δεδομένα κριτηρίων αξιολόγησης

Στους Πίνακες 3.1α & 3.1β εικονίζονται όλα τα αριθμητικά δεδομένα των επιμέρους κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για τα εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες υπό αξιολόγηση. Τα δεδομένα για τα κριτήρια αξιολόγησης συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία και εναρμονίστηκαν στις ιδιαιτερότητες των ελληνικών οδικών μεταφορών. Όλα τα οικονομικά κριτήρια που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1α, είναι παγκοσμίως εφαρμόσιμα, λαμβάνοντας επίσης υπόψη το γεγονός ότι δεν υπάρχει αυτοκινητοβιομηχανία στην Ελλάδα.

Για τον σκοπό της παρούσας διατριβής θεωρήσαμε ότι το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση μπαταριών ή για την παραγωγή υδρογόνου παράγεται αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης, θεωρήσαμε ότι όλη η παραγωγή βιοκαυσίμων προέρχεται μόνο από τοπικά παραχθείσα πρώτη ύλη ή αγροτικά υπολείμματα, ενισχύοντας τόσο την ενεργειακή ασφάλεια και τα στοιχεία εργασίας στην Ελλάδα όσο και την αύξηση του κοινωνικού πλούτου. Το ακαδημαϊκό προσωπικό και το επιστημονικά εξειδικευμένο προσωπικό της Ελλάδας συμβάλλουν σημαντικά στην έρευνα που σχετίζεται με τις κυψέλες καυσίμου, τα ηλεκτρικά οχήματα, τα έξυπνα δίκτυα και τα βιοκαύσιμα (OECD/IEA, 2011a), με θετικό αντίκτυπο τόσο στη δημιουργία απασχόλησης όσο και στην αύξηση του κοινωνικού πλούτου (Πίνακας 3.1β).

Η δημιουργία απασχόλησης και νέων θέσεων εργασίας αναφέρεται: α) στην εγκατάσταση και την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σε νέες απαιτήσεις υποδομών με παράλληλες τροποποιήσεις του στόλου για την ηλεκτροδότηση της κινητικότητας και νέους επιστήμονες-ερευνητές για την αύξηση της τεχνολογικής ωριμότητας και β) στην παραγωγή βιοκαυσίμων, εστιάζοντας κυρίως στις τοπικά παραγόμενες πρώτες ύλες.

Πίνακας 3.1α Αριθμητικά δεδομένα για τα οικονομικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα & τεχνολογίες	Κόστος εφαρμογής [k€/vehicle] (Vliet et al., 2011)	Κόστος ωρίμανσης τεχνολογίας [k\$/vehicle] (OECD/IEA, 2009b and Santos et al., 2010)	Κόστος παραγωγής ενέργειας [€/GJ] (Vliet et al., 2011 and Edwards et al., 2008)
ΜΕΚ	21	2.5	9.8
ΜΕΚ με 1 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	21	4.0	10.1
ΜΕΚ με 2 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	21	7.0	11.4
Κυψέλες καυσίμου	86	20.0	22.0
Υβριδικά	29	4.0	15.0
Επαναφορτιζόμενα υβριδικά	59	7.0	15.0
Ηλεκτρικά οχήματα	59	17.5	15.0

Πίνακας 3.1β Αριθμητικά δεδομένα για τα πολιτικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα & τεχνολογίες	Εκπομπές CO ₂ – WTW [g/km] (Baptista et al., 2010)	Ενεργειακή ασφάλεια (IEA-AMF, 2009 & OECD/IEA, 2011a)	Δημιουργία απασχόλησης (Dannenberg et. al., 2008 & OECD/IEA, 2011a)	Κοινωνικός πλούτος (Dannenberg et. al., 2008 & OECD/IEA, 2011a)
ΜΕΚ	167.5	-	-	-
ΜΕΚ με 1 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	161.2	+++	+++	++
ΜΕΚ με 2 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	83.8	+++	+++	++
Κυψέλες καυσίμου	95.4	+	+	+
Υβριδικά	158.2	+	-	-
Επαναφορτιζόμενα υβριδικά	105.8	+	-	-
Ηλεκτρικά οχήματα	72.9	+	+	+

Μια πρόσφατη μελέτη για τις νέες πράσινες θέσεις εργασίας στην Ελλάδα (Greenpeace, 2009) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μέχρι το 2020 μια σειρά από 98.500 έως 155.000 άμεσες θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης θα δημιουργηθούν στον τομέα της ενέργειας, των κατασκευών, της ανακύκλωσης και της γεωργίας. Η Ελλάδα έχει ένα σημαντικό δυναμικό καλλιεργήσιμης γης, όχι πλήρως εκμεταλλεύσιμο, κατάλληλο για την παραγωγή βιομάζας τόσο για τα 1^{ης} γενιάς όσο και για τα 2ης γενιάς βιοκαύσιμα.

Το διάστημα 2009-2014, λόγω της οικονομικής κρίσης η κατανάλωση υγρών καυσίμων μειώθηκε σημαντικά. Ενδεικτικά για το 2014, η κατανάλωση βενζίνης ήταν

~ 2,6 Mton και η κατανάλωση ντίζελ κίνησης ~2,3 Mton. Μετά το 2020, αναμένεται ότι η συνολική κατανάλωση καυσίμων θα επιστρέψουν στα προ οικονομικής κρίσης επίπεδα (περίπου 7 Mt συνολική ετήσια κατανάλωση). Λαμβάνοντας υπόψη μια διείσδυση 10% των βιοκαυσίμων μετά το 2020 (0,7 Mton) το ισοδύναμο της γης που απαιτείται για αυτή την παραγωγή βιομάζας είναι περίπου 6 εκατομμύρια εκτάρια. Στην Ελλάδα υπάρχει διαθέσιμη γη που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργεια είτε παραδοσιακών είτε καινούριων ενεργειακών φυτών. Το κυριότερο πρόβλημα σήμερα είναι το υψηλό κόστος παραγωγής βιομάζας παράλληλα με μια αλλοπρόσβαλη πολιτική επιδοτήσεων στον ελληνικό αγροτικό τομέα. Ως αποτέλεσμα, σημαντικό μέρος των τρεχουσών αναγκών για πρώτες ύλες ή ακόμη και τα 1^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα είναι εισαγόμενα.

Αναφορικά με τα πολιτικά κριτήρια, τα επιμέρους υποκριτήρια "ενεργειακή ασφάλεια", "δημιουργία απασχόλησης" και "κοινωνικός πλούτος" χαρακτηρίζονται με ένα κώδικα απεικόνισης "συν και πλην" που αντιστοιχεί σε ένα λεκτικό ισοδύναμο του: "πολύ ισχυρό", "ισχυρό", "μέτριο" ή "ίσης σημασίας" (Πίνακας 3.1β). Ενδεικτικά για την ενεργειακή ασφάλεια, η τεχνολογία MEK με 1ης γενιάς βιοκαύσιμα είναι 4 φορές πιο προτιμητέα από τη MEK με συμβατικά καύσιμα και 2 φορές πιο προτιμητέα από τα ηλεκτρικά οχήματα).

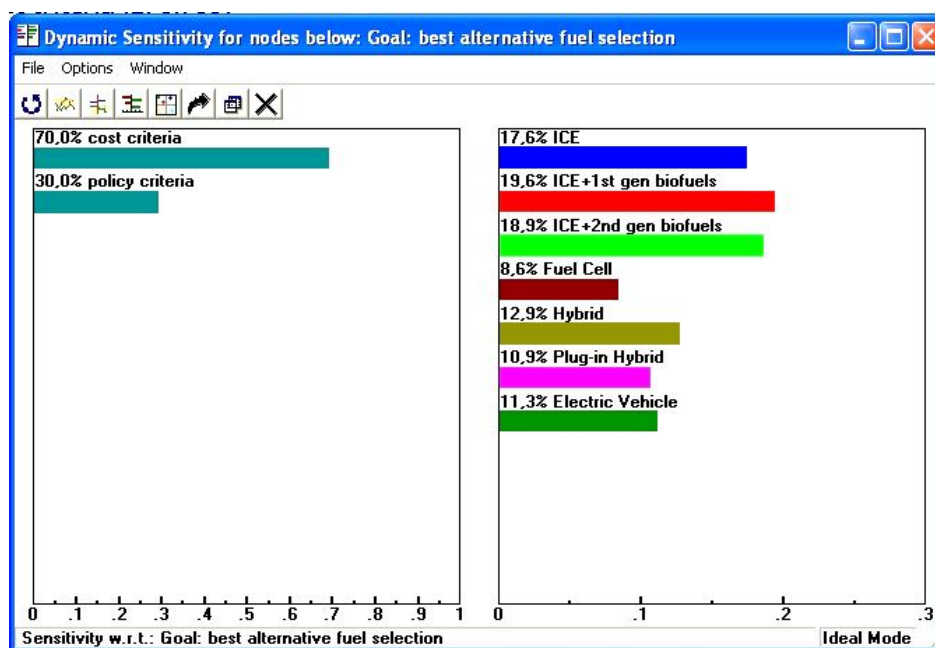
3.3.3 Ανάλυση σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα των οδικών μεταφορών (περίπτωση α')

Προκειμένου να αξιολογηθεί κάθε εναλλακτικό καύσιμο και τεχνολογία, παρουσιάζονται ένα βασικό σενάριο και δέκα εναλλακτικά σενάρια με διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας επιλογής ανά κριτήριο. Σύμφωνα με το βασικό σενάριο, τα κριτήρια κόστους επικρατούν με συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ τα κριτήρια πολιτικής σταθμίζονται με το υπόλοιπο 30%. Τα αντίστοιχα βάρη για τα οικονομικά υποκριτήρια είναι: 30% για το "κόστος εφαρμογής", το 20% για το "κόστος τεχνολογικής ωρίμανσης" και 50% για το "κόστος ενέργειας". Τα αντίστοιχα βάρη για τα πολιτικά υποκριτήρια είναι: 25% για τις "εκπομπές του CO₂", το 25% για την "ενεργειακή ασφάλεια", το 25% για τη "δημιουργία απασχόλησης" και 25% για "κοινωνικό πλούτο". Υπάρχει κι ένα σενάριο "μόνο πολιτική" στο οποίο λαμβάνονται υπόψη μόνο όλα τα κριτήρια πολιτικής, ενώ αγνοούνται όλα τα οικονομικά κριτήρια. Στο βασικό σενάριο η χρήση MEK με 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες (Σχήματα 3.6 -

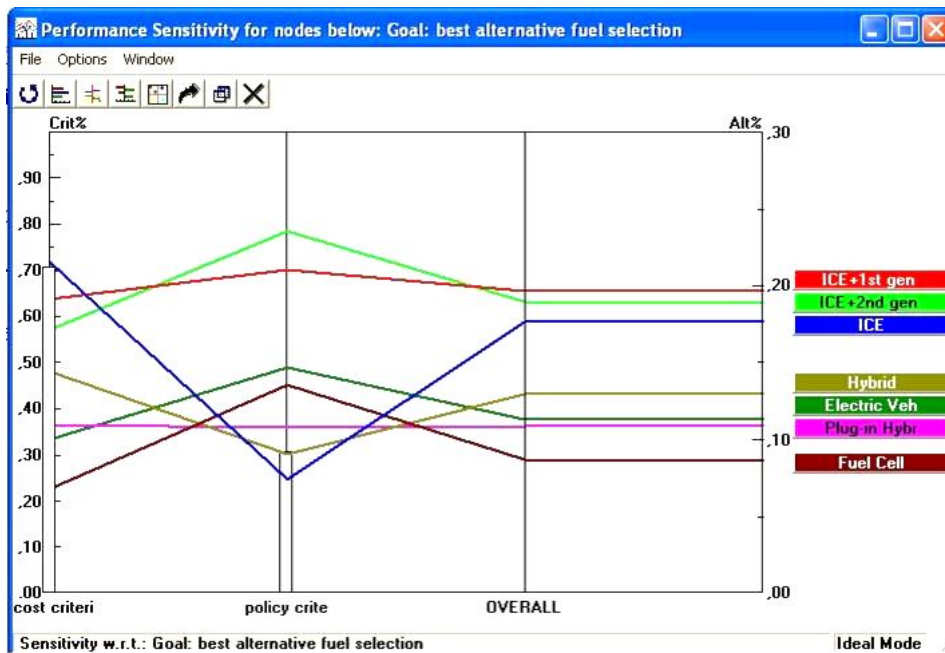
3.8). Τα αποτελέσματα αυτά είναι επίσης συμβατά με τις τρέχουσες πολιτικές της ΕΕ που προωθούν την αύξηση των βιοκαυσίμων σε ανάμειξη με συμβατικά καύσιμα μεταφορών (EU-Directive 2003/30/EC, 2003).

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η αξιολόγηση των εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών για το βασικό σενάριο. Η υψηλότερη βαθμολογία είναι 19,6% που αντιστοιχεί στο "καλύτερο" εναλλακτικό καύσιμο (MEK με 1^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα) ενώ η χαμηλότερη βαθμολογία είναι 8,6%, που αντιστοιχεί στη χειρότερη για το συγκεκριμένο σενάριο εναλλακτική τεχνολογία (κυψέλες καυσίμου).

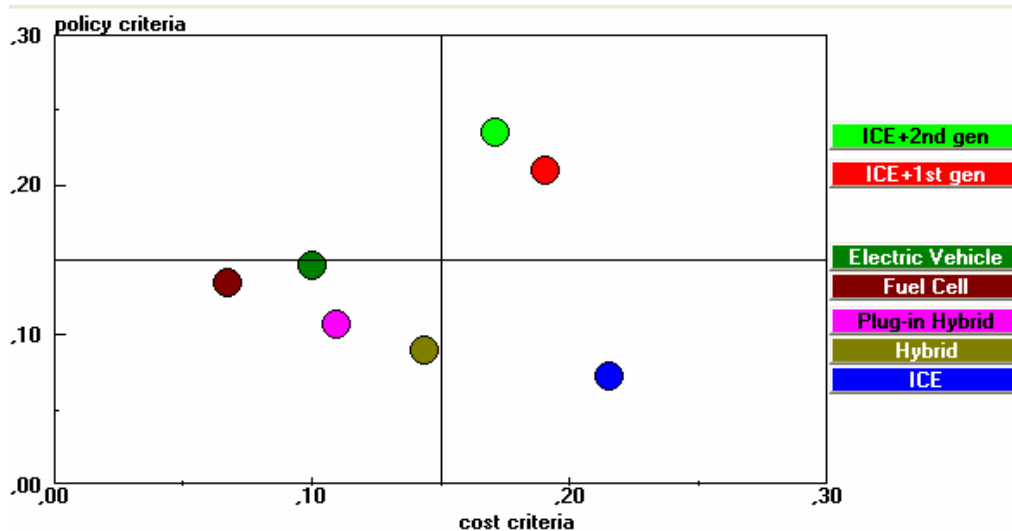
Τα Σχήματα 3.6 & 3.7 δείχνουν την τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με τα βάρη κριτηρίων. Στο Σχήμα 3.7 φαίνονται όλες οι πληροφορίες ανάλυσης ευαισθησίας σε ένα ενιαίο διάγραμμα, με οριζόντιες γραμμές για τις εναλλακτικές λύσεις που συνδυάζονται με τις κάθετες μπάρες που αντιστοιχούν στα κριτήρια (Liberator and Nydick, 2003). Το Σχήμα 3.8 δείχνει πως οι εναλλακτικές λύσεις μεταβάλλονται σε σχέση με δύο οποιαδήποτε κριτήρια (ανάλυση ευαισθησίας δύο διαστάσεων).



Σχήμα 3.6 Επιλογή βέλτιστου καυσίμου και τεχνολογίας για το βασικό σενάριο



Σχήμα 3.7 Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το βασικό σενάριο



Σχήμα 3.8 Ανάλυση ευαισθησίας δύο διαστάσεων για το βασικό σενάριο

Οι συντελεστές βάρους για τα έντεκα εναλλακτικά σενάρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Μετά τη λήψη απόφασης βαθμολόγησης των εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών για κάθε κριτήριο σε συνδυασμό με τα βάρη των κριτηρίων, η σύνθεσή

τους δίνει τη συνολική βαθμολογία και κατάταξη για το βασικό και τα εννέα εναλλακτικά σενάρια, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3. Ενδεικτικά για το 4^ο σενάριο η υψηλότερη βαθμολογία είναι το 0.199 που αντιστοιχεί σε MEK με 1^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα.

Στο 1^ο σενάριο τα κριτήρια πολιτικής ενισχύονται περαιτέρω με συντελεστή βαρύτητας 40%, ενώ τα οικονομικά κριτήρια μειώνονται στο 60%. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή, ξεπερνώντας τη χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς (Σχήμα 3.9α&β).

Στο 2^ο σενάριο τα οικονομικά κριτήρια ενισχύονται με ένα συντελεστή βαρύτητας 80%, ενώ τα κριτήρια πολιτικής σταθμίζονται με το υπόλοιπο 20%. Οι συντελεστές βαρύτητας για όλα τα επιμέρους κριτήρια είναι ίδιοι με το βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή (Σχήμα 3.10α&β). Αυτό είναι το μόνο σενάριο που οι συμβατικές MEK ξεπερνούν τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς, ως τη δεύτερη καλύτερη επιλογή καυσίμου.

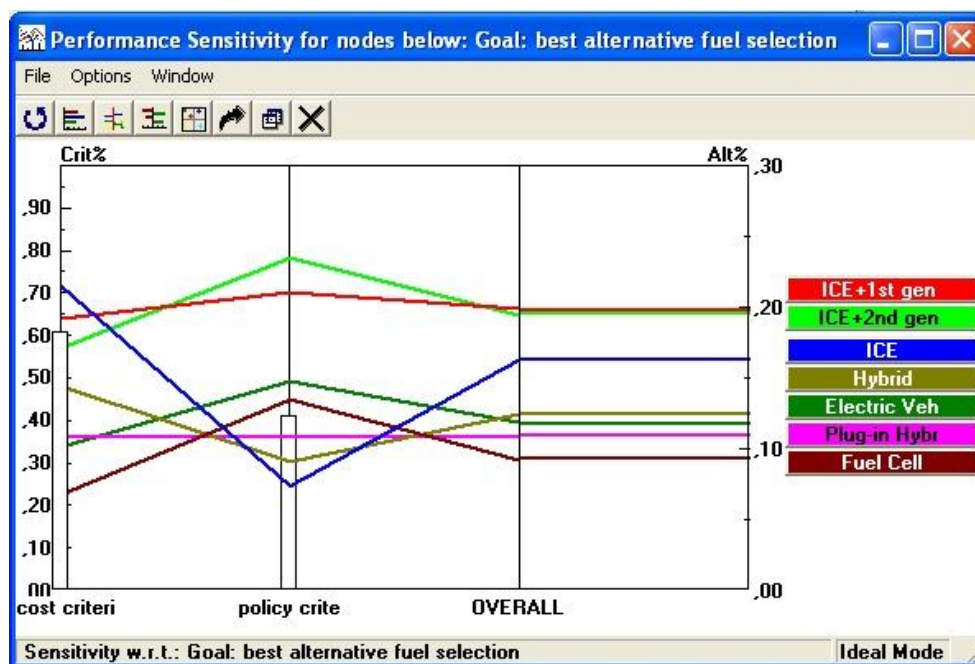
Πίνακας 3.2 Συντελεστές βάρους για όλα τα σενάρια

Σενάριο	Κριτήρια	Συντ. βάρους	Κόστος εφαρμογής	Κόστος ωρίμ. τεχνολογίας	Κόστος παραγ. ενέργειας	Εκπομπές CO ₂	Ενεργειακή ασφάλεια	Δημιουργία απασχ/σης	Κοινωνικός πλούτος
Βασικό	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	25%	25%	25%	25%
1	Οικονομικά	60%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	40%	---	---	---	25%	25%	25%	25%
2	Οικονομικά	80%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	20%	---	---	---	25%	25%	25%	25%
3	Οικονομικά	70%	20%	20%	60%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	25%	25%	25%	25%
4	Οικονομικά	70%	40%	20%	40%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	25%	25%	25%	25%
5	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	30%	40%	15%	15%
6	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	15%	15%	35%	35%
7	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	30%	30%	20%	20%
8	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	20%	20%	30%	30%
9	Οικονομικά	70%	30%	20%	50%	---	---	---	---
	Πολιτικά	30%	---	---	---	20%	50%	15%	15%
Μόνο πολιτική	Οικονομικά	---	---	---	---	---	---	---	---
	Πολιτικά	100%	---	---	---	25%	25%	25%	25%

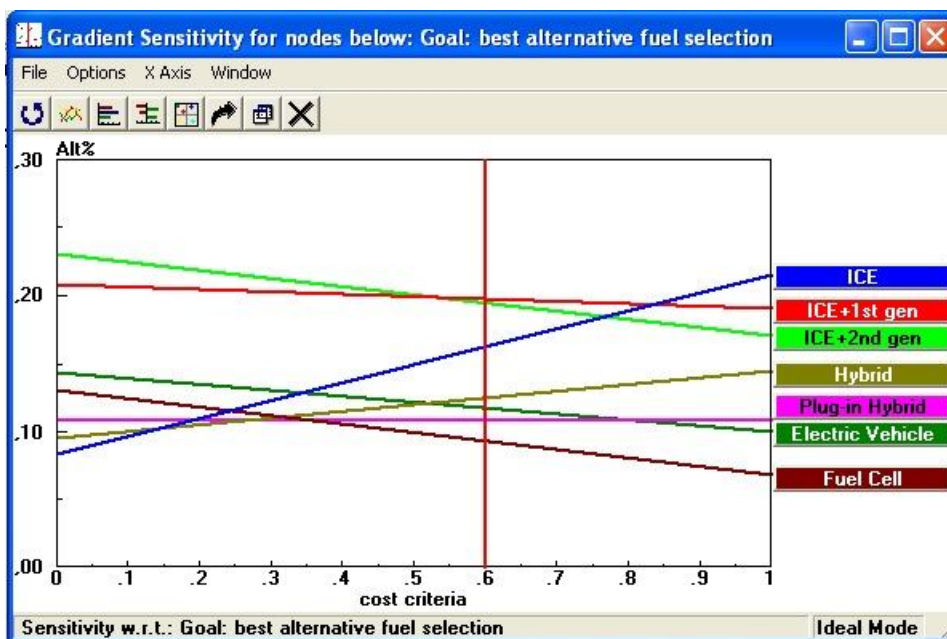
Πίνακας 3.3 Συνολική βαθμολογία εναλλακτικών καυσίμων για όλα τα σενάρια

Εναλλακτικά καύσιμα & τεχνολογίες	Σενάρια									
	Βασικό	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MEK	0.176	0.163	0.190	0.175	0.178	0.175	0.177	0.176	0.177	0.175
MEK με 1 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	0.196	0.198	0.195	0.193	0.199	0.193	0.202	0.194	0.199	0.197
MEK με 2 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	0.189	0.195	0.183	0.185	0.193	0.187	0.192	0.188	0.190	0.188
Κυψέλες καυσίμου	0.086	0.093	0.080	0.089	0.084	0.087	0.085	0.087	0.086	0.085
Υβριδικά	0.129	0.124	0.134	0.128	0.131	0.131	0.128	0.130	0.128	0.132
Επαναφορτιζόμενα υβριδικά	0.109	0.109	0.109	0.113	0.105	0.113	0.105	0.111	0.107	0.112
Ηλεκτρικά οχήματα	0.113	0.118	0.109	0.117	0.110	0.114	0.111	0.115	0.112	0.112

Στα σενάρια από 3 έως 9 τα οικονομικά κριτήρια κυριαρχούν με έναν συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ τα κριτήρια πολιτικής σταθμίζονται με 30%. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η χρήση MEK με μίγματα βιοκαυσίμων 1^{ης} γενιάς είναι η πιο προτιμητέα επιλογή ακολουθούμενη από τη χρήση MEK με βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς. Στο 3^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα οικονομικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας του "κόστους παραγωγής ενέργειας" στο 60% και μείωση του συντελεστή βαρύτητας του "κόστους εφαρμογής" στο 20%. Οι συντελεστές βάρους των πολιτικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή.



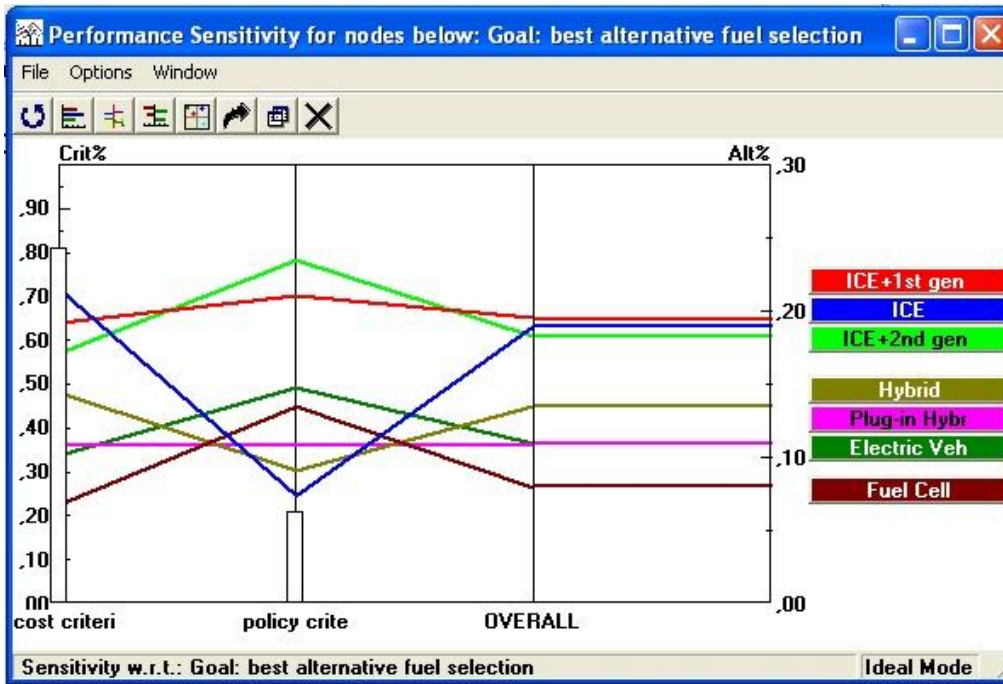
Σχήμα 3.9α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 1



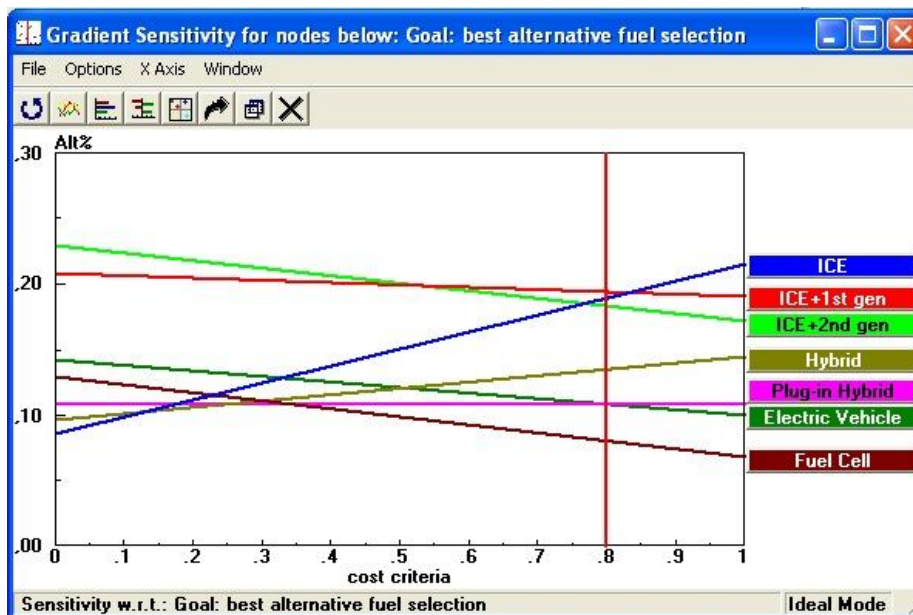
Σχήμα 3.9β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 1

Στο 4^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα οικονομικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας του "κόστους παραγωγής ενέργειας" στο 40% και αύξηση του συντελεστή βαρύτητας του "κόστους εφαρμογής" στο 40%. Οι συντελεστές βάρους των πολιτικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή.

Στο 5^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα πολιτικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας των "εκπομπών CO₂" στο 30%, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας της "ενεργειακής ασφάλειας" στο 40%, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας της "δημιουργίας απασχόλησης" στο 15% και μείωση του συντελεστή βαρύτητας του "κοινωνικού πλούτου" στο 15%. Οι συντελεστές βάρους των οικονομικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή.



Σχήμα 3.10α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 2



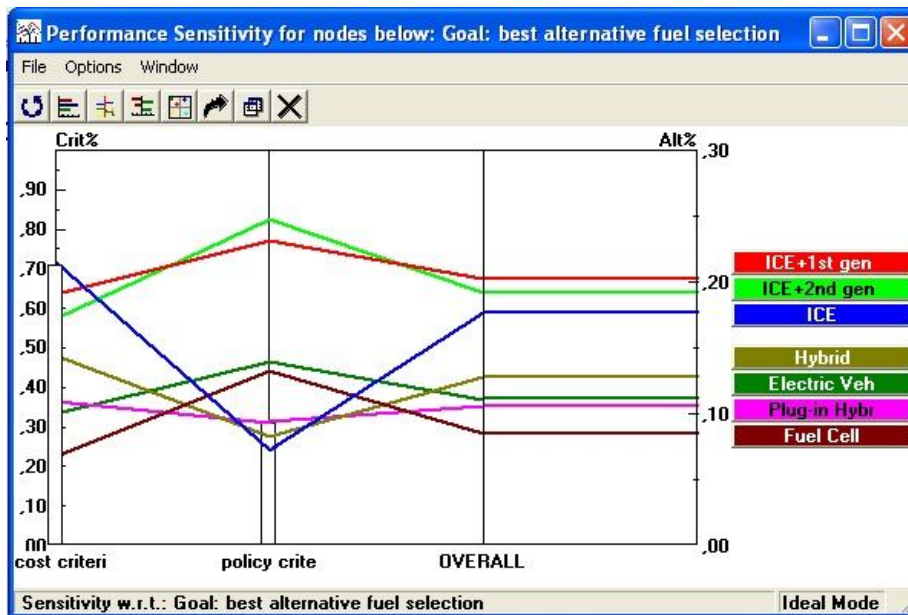
Σχήμα 3.10β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 2

Στο 6^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα πολιτικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας των "εκπομπών CO₂" στο 15%, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας της

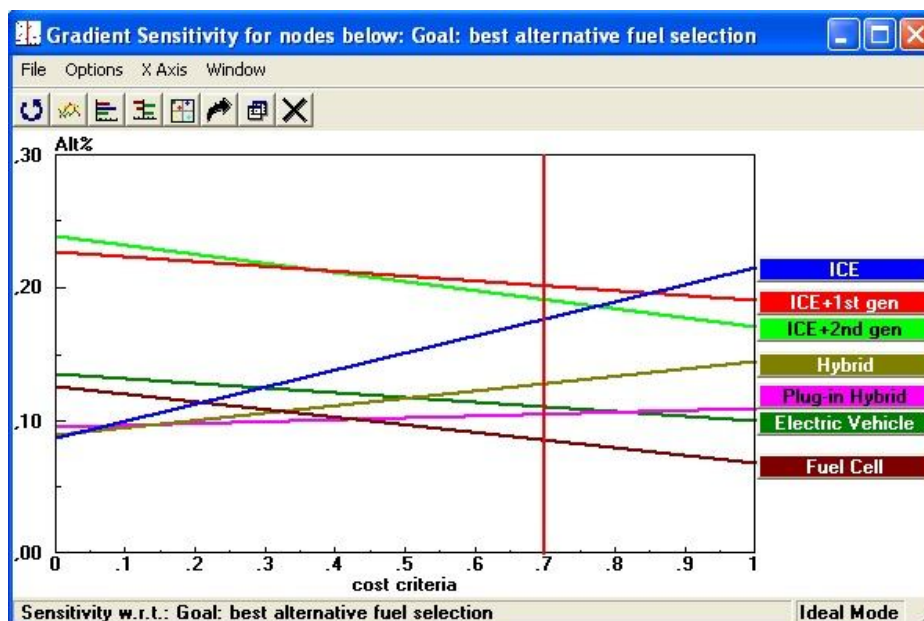
"ενεργειακής ασφάλειας" στο 15%, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας της "δημιουργίας απασχόλησης" στο 35% και αύξηση του συντελεστή βαρύτητας του "κοινωνικού πλούτου" στο 35%. Οι συντελεστές βάρους των οικονομικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή (Σχήμα 3.11α&β).

Στο 7^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα πολιτικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας των "εκπομπών CO₂" στο 30%, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας της "ενεργειακής ασφάλειας" στο 30%, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας της "δημιουργίας απασχόλησης" στο 20% και μείωση του συντελεστή βαρύτητας του "κοινωνικού πλούτου" στο 20%. Οι συντελεστές βάρους των οικονομικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή.

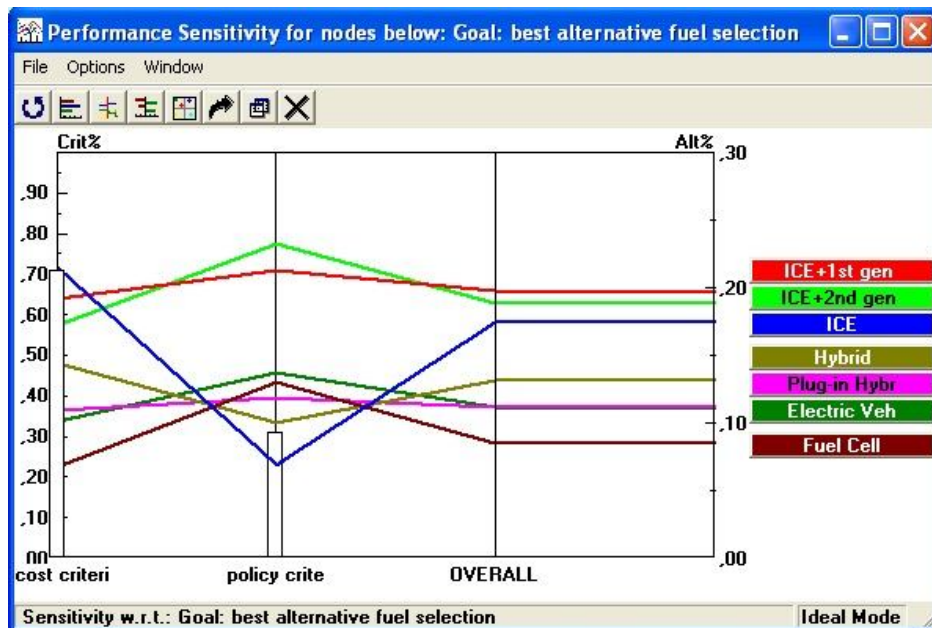
Στο 8^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα πολιτικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας των "εκπομπών CO₂" στο 20%, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας της "ενεργειακής ασφάλειας" στο 20%, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας της "δημιουργίας απασχόλησης" στο 30% και αύξηση του συντελεστή βαρύτητας του "κοινωνικού πλούτου" στο 30%. Οι συντελεστές βάρους των οικονομικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή.



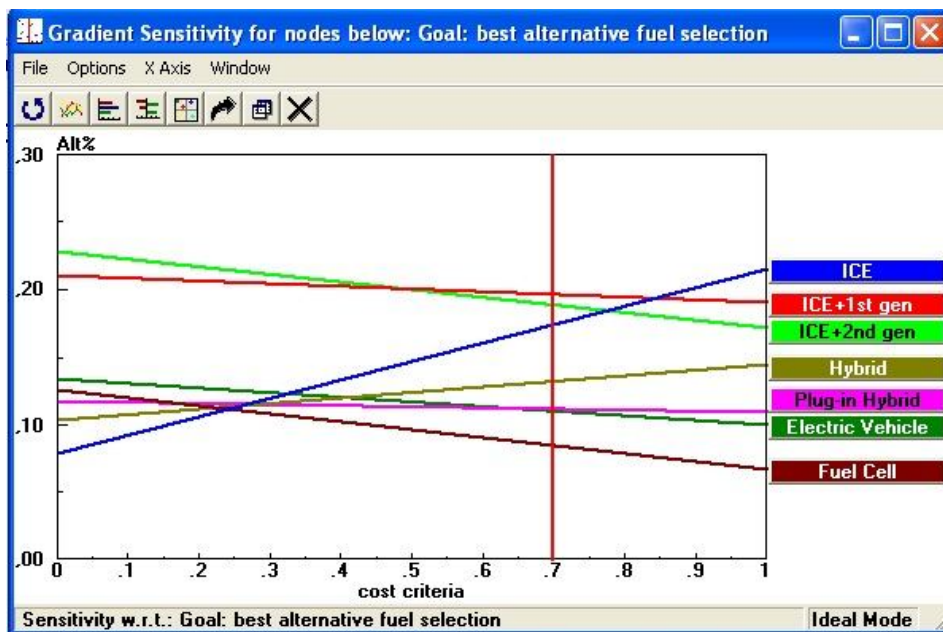
Σχήμα 3.11α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 6



Σχήμα 3.11β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 6



Σχήμα 3.12α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 9



Σχήμα 3.12β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 9

Στο 9^ο σενάριο οι συντελεστές βάρους μόνο στα πολιτικά υποκριτήρια διαφοροποιούνται σε σχέση με το βασικό σενάριο, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας των "εκπομπών CO₂" στο 20%, με αύξηση του συντελεστή βαρύτητας της "ενεργειακής ασφάλειας" στο 50%, με μείωση του συντελεστή βαρύτητας της

"δημιουργίας απασχόλησης" στο 15% και μείωση του συντελεστή βαρύτητας του "κοινωνικού πλούτου" στο 15%. Οι συντελεστές βάρους των οικονομικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου. Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή (Σχήμα 3.12α&β).

Τέλος, διερευνήθηκε το σενάριο "μόνο πολιτική". Στο σενάριο αυτό τα οικονομικά κριτήρια έχουν μηδενικό συντελεστή βαρύτητας, ενώ τα κριτήρια πολιτικής σταθμίζονται με το 100%. Οι συντελεστές βάρους των πολιτικών υποκριτηρίων παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του βασικού σεναρίου (25% για όλα τα υποκριτήρια). Σε αυτό το σενάριο η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 2^{ης} γενιάς αποτελεί την προτιμότερη επιλογή. Ακολουθούν ως επιλογές η χρήση MEK με τα βιοκαύσιμα 1^{ης} γενιάς, τα ηλεκτρικά οχήματα, τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου, τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά και τα υβριδικά οχήματα, ενώ τελευταία επιλογή είναι η χρήση MEK με συμβατικά καύσιμα.

3.3.4 Αποτελέσματα σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζεται η συχνότητα της κατάταξης της εμφάνισης του κάθε εναλλακτικού καυσίμου, από την 1^η έως την 7^η θέση, με βάση την βαθμολογία επιλογής καυσίμου του Πίνακα 3.3. Ενδεικτικά, η "MEK με τα 2^{ης} γενιά βιοκαύσιμα" εμφανίζεται ως 2^η επιλογή 9 φορές, ενώ η "MEK" εμφανίζεται μόνο 1 φορά στη 2^η θέση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.4, η χρήση MEK σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς είναι τα πιο κατάλληλα εναλλακτικά καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Πρόκειται για μια ρεαλιστική προσέγγιση, δεδομένου ότι η παραγωγή και η χρήση των βιοκαυσίμων μπορούν επίσης να παρέχουν παράπλευρα οφέλη, όπως η αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας, μέσω της μείωσης της εξάρτησης από τις εισαγωγές πετρελαίου και της αντιστάθμισης της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα μπορούν να στηρίξουν την οικονομική ανάπτυξη και τον κοινωνικό πλούτο μέσω της δημιουργίας νέων πηγών εισοδήματος στις αγροτικές περιοχές (OECD/IEA, 2011b).

Πίνακας 3.4 Συχνότητα κατάταξης της εμφάνισης του κάθε εναλλακτικού καυσίμου για το βασικό και τα σενάρια 1-9

Συχνότητα κατάταξης	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η	7 ^η
ΜΕΚ	-	1	9	-	-	-	-
ΜΕΚ με 1 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	10	-	-	-	-	-	-
ΜΕΚ με 2 ^{ης} γενιάς βιοκαύσιμα	-	9	1	-	-	-	-
Κυψέλες καυσίμου	-	-	-	-	-	-	10
Υβριδικά	-	-	-	10	-	-	-
Επαναφορτιζόμενα υβριδικά	-	-	-	-	1	9	-
Ηλεκτρικά οχήματα	-	-	-	-	9	1	-

Η χρήση ΜΕΚ με συμβατικά καύσιμα (βενζίνη, ντίζελ) κατατάσσεται 3^η σχεδόν σε όλα τα σενάρια. Μόνο στο σενάριο που τα βάρη κριτηρίων πολιτικής μειώθηκαν στο 20%, η ΜΕΚ παρέχει τη δεύτερη καλύτερη εναλλακτική λύση. Τα υβριδικά οχήματα είναι σαφώς η 4^η επιλογή. Τέλος, σε αυτή τη μελέτη, τα ηλεκτρικά οχήματα, τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά και οι κυψέλες καυσίμου κατατάσσονται ως οι τελευταίες επιλογές, δεδομένου ότι το κόστος ανάπτυξης για τα ηλεκτρικά οχήματα και τις κυψέλες καυσίμου και τις αντίστοιχες υποδομές είναι σήμερα σημαντικά υψηλότερο.

3.4 Αξιολόγηση καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα (περίπτωση β') με χρήση ΑΙΔ

Στο κεφάλαιο αυτό αξιολογούνται τα νέα καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα στον τομέα των οδικών μεταφορών. Με τη χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας συσχετίζονται διάφοροι οικονομικοί, τεχνολογικοί, κοινωνικοί και πολιτικοί παράμετροι, ώστε να αξιολογηθούν εναλλακτικά σενάρια και να υπολογισθούν οι βέλτιστες επιλογές νέων καυσίμων.

3.4.1 Δομή ιεραρχίας ΑΙΔ και κριτήρια αξιολόγησης

Η ιεραρχία δέντρου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.13. Ο στόχος είναι η επιλογή του καλύτερου καυσίμου που προέρχεται από βιομάζα για τον τομέα των οδικών μεταφορών. Τα τέσσερα βασικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην ιεραρχία είναι τα οικονομικά, τα τεχνολογικά, τα κοινωνικά και τα πολιτικά. Το κριτήριο του οικονομικού κόστους περιλαμβάνει τρία υποκριτήρια, δηλαδή "κόστος παραγωγής", "κόστος επένδυσης" και "κόστος υποδομών". Τα τεχνολογικά κριτήρια

περιλαμβάνουν δύο υποκριτήρια, τα οποία είναι "τεχνολογική ωριμότητα" και "διαθεσιμότητα υποδομών". Τα κοινωνικά υποκριτήρια περιλαμβάνουν δύο υποκριτήρια, "κοινωνική αποδοχή" και "ανταγωνιστικότητα με τρόφιμα". Τα πολιτικά κριτήρια περιλαμβάνουν τρία επιμέρους κριτήρια, δηλαδή, "δημιουργία απασχόλησης" "εκπομπές του CO₂" και "ενεργειακή ασφάλεια".

Στο χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας παρουσιάζονται τα εναλλακτικά καύσιμα. Οι εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη του στόχου περιλαμβάνουν καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα: το βιο-υδρογόνο (bio-hydrogen), το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο (bio-SNG), ο βιοδιμεθυλαιθέρας (bio-DME), η βιομεθανόλη (bio-methanol), το ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης (HTU-diesel), η βιοαιθανόλη (bio-ethanol), τα βιοκαύσιμα από άλγη (algal biofuel) και ο ηλεκτρισμός που προέχεται από καύση βιομάζας (electricity from combustion).

3.4.2 Δεδομένα κριτηρίων αξιολόγησης

Οι Πίνακες 3.5α, 3.5β, 3.5γ και 3.5δ εμφανίζουν όλα τα αριθμητικά δεδομένα των επιμέρους κριτηρίων για τα υπό αξιολόγηση εναλλακτικά καύσιμα. Τα περισσότερα από τα δεδομένα για τα κριτήρια προέρχονται από την βιβλιογραφία, ενώ κάποια από αυτά σχηματίζονται στη βάση μιας προσέγγισης κοινής λογικής. Για τα αριθμητικά δεδομένα των οικονομικών κριτηρίων (Πίνακας 3.5α) υποθέτουμε ότι:

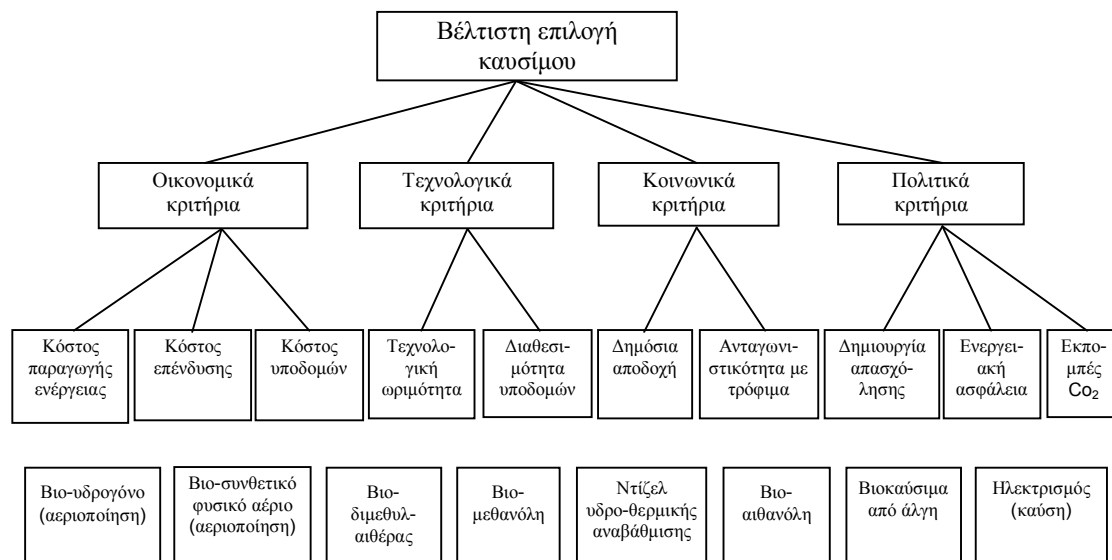
- α) Το κόστος παραγωγής ενέργειας αντιστοιχεί στο κόστος ανά παραγόμενη μονάδα. Επειδή περιλαμβάνονται διάφορες μονάδες στην βιβλιογραφία, όλα τα δεδομένα μετατράπηκαν σε \$/GJ. Η συναλλαγματική ισοτιμία που χρησιμοποιήθηκε είναι 1€=1,25\$ και 1£=1,5\$ (έτος αναφοράς 2014).
- β) Το κόστος επένδυσης είναι η κεφαλαιουχική δαπάνη που απαιτείται για την κατασκευή μίας μονάδας παραγωγής και εκφράζεται σε k\$/MWth. Για τη μονάδα παραγωγής ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης όπως και βιοκαυσίμων από άλγη, το κόστος αυτό θεωρείται ως 5.000K\$/MWth, δεδομένου ότι σήμερα υπάρχουν μόνο πιλοτικές εγκαταστάσεις (pilot plants) ή επιδεικτικές μονάδες (demonstration plants) με ιδιαίτερα υψηλό κόστος επένδυσης, ενώ οι αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές παρέχουν μόνο ενδεικτικές τιμές (Naber, 2008).
- γ) Το κόστος των υποδομών αντιστοιχεί σε ένα αθροιστικό κόστος που περιλαμβάνει τις ανάγκες για νέες υποδομές ή τροποποίηση των υφιστάμενων στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας ενός καυσίμου (διανομή, αποθήκευση και πρατήρια ανεφοδιασμού), εκφρασμένο σε \$bn με έτος αναφοράς το 2014, για την

αντικατάσταση της βενζίνης στις ΗΠΑ (Jones, 2000). Θεωρώντας ότι το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο, το ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης και τα βιοκαύσιμα από άλγη είναι παρόμοια ως προς τις υπάρχουσες υποδομές, οπότε το εκτιμούμε ως ίσο με το αντίστοιχο κόστος υποδομών της βιοαιθανόλης, δηλαδή 0.33bn\$ (Balagopal, 2010).

Η μέθοδος ΑΙΔ που χρησιμοποιείται επιτρέπει συγκρίσεις κατά ζεύγη της σχετικής προτίμησης σε σχέση με τα επιλεγμένα κριτήρια, για όλα τα εναλλακτικά καύσιμα. Αυτές οι συγκρίσεις είναι αριθμητικές ή λεκτικές (Liberator and Nydick, 2003). Για τα δεδομένα των υπολοίπων κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Για τα δεδομένα των τεχνολογικών κριτηρίων (Πίνακας 3.5β) υποθέτουμε ότι για:

- α) Την ωριμότητα της τεχνολογίας χρησιμοποιείται ο κώδικας "συν και πλην" σε αντιστοιχία με ένα λεκτικό ισοδύναμο του "ώριμες" για το "+" και "λιγότερο ώριμες" για "-".
- β) Τη διαθεσιμότητα των υποδομών χρησιμοποιείται ο κώδικας "συν και πλην" σε αντιστοιχία με ένα λεκτικό ισοδύναμο του "υφιστάμενη" για "+" και "δεν είναι διαθέσιμη" για "-". Το "---" είναι η χειρότερη περίπτωση αντιστοιχεί σε "υποδομές σε εμβρυικό στάδιο".



Σχήμα 3.13 Ιεραρχία δομής δέντρου αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα

Για τα δεδομένα των κοινωνικών κριτηρίων (Πίνακας 3.5γ) υποθέτουμε ότι για:

α) Τη δημόσια αποδοχή χρησιμοποιείται επίσης ο κώδικας "συν και πλην" που αντιστοιχούν σε ένα λεκτικό ισοδύναμο του "οριακής αποδοχής" για "+" μέχρι "σημαντική αποδοχή" για "+++".

β) Την ανταγωνιστικότητα με τα τρόφιμα ακολουθείται μια προσέγγιση κοινής λογικής, καθώς όλα τα βιοκαύσιμα επόμενων γενεών δεν είναι ανταγωνιστικά με τα τρόφιμα. Επιπλέον τα βιοκαύσιμα από άλγη και η ηλεκτρική ενέργεια από την καύση βιομάζας αξιολογούνται σε ακόμη καλύτερη θέση, καθώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν τόσο απόβλητα και θαλασσινό νερό για την ανάπτυξη των αλγών όσο και στερεά απορρίμματα (Solid Recovered Fuel - SRF).

Για τα δεδομένα των πολιτικών κριτηρίων (Πίνακας 3.5δ) υποθέτουμε ότι για:

α) Τη δημιουργία θέσεων εργασίας χρησιμοποιείται μόνο ο κώδικας "συν" που αντιστοιχεί σε ένα λεκτικό ισοδύναμο του "υποσχόμενες", "αυξημένες" και "σημαντικές" ευκαιρίες απασχόλησης (συμπεριλαμβανομένου του γεωργικού τομέα) για "+", "++" και "+++" αντίστοιχα.

β) Για την ενεργειακή ασφάλεια ακολουθείται επίσης μια προσέγγιση κοινής λογικής, ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε. Η "σημαντική ασφάλεια» σημειώνεται με "+++" και αντιστοιχεί στις πρώτες ύλες που προέρχονται από κατάλοιπα βιομάζας, διάφορα απόβλητα και στερεά απορρίμματα, ενώ το "αυξημένη ασφάλεια" σημειώνεται με "++" και αντιστοιχεί στις πρώτες ύλες που προέρχονται μόνο από κατάλοιπα βιομάζας και απόβλητα. Η απλή "ασφάλεια" σημειώνεται με ένα μόνο "+" και αντιστοιχεί στις πρώτες ύλες που προέρχονται κυρίως από κατάλοιπα βιομάζας, όπως η βιοαιθανόλη και το ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης.

γ) Τις εκπομπές CO₂ χρησιμοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ajanovic, 2010), μετρούμενα σε εκπομπές ισοδύναμου well-to-wheel CO₂ ανά km (g/km).

Πίνακας 3.5α Αριθμητικά δεδομένα για τα οικονομικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα	Κόστος παραγωγής ενέργειας [\$/GJ]	Κόστος επένδυσης [€/MWh]	Κόστος υποδομών [bn\$]
Βιο-υδρογόνο	25 (Balat and Kirtay, 2010)	660 (Faaij, 2006)	7.78 (Jones, 2005)
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	17 (Melin, 2011)	625 (Meijden et al., 2009)	0.33 (Jones, 2005)
Βιοδιμεθυλαιθέρας	30 (Xuan et al., 2009)	900 (Faaij, 2006)	0.56 (Jones, 2005)
Βιομεθανόλη	14 (Grassi, 2005)	860 (Faaij, 2006)	0.36 (Jones, 2005)
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	38 (OECD/IEA, 2012)	5,000 (Naber, 2008)	0.33 (Jones, 2005)
Βιοαιθανόλη	38 (Balat, 2011)	440 (Faaij, 2006)	0.33 (Jones, 2005)
Βιοκαύσιμα από άλγη	60 (US DoE, 2008a)	5,000 (Oilgae, 2011)	0.33 (Jones, 2005)
Ηλεκτρισμός	35 (Bridgewater et al., 2002)	1,530 (Black and Veatch, 2012)	7 (Balagopal et al., 2010)

Πίνακας 3.5β Δεδομένα για τα τεχνολογικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα	Τεχνολογική ωριμότητα	Διαθεσιμότητα υποδομών
Βιο-υδρογόνο	--- (Balat and Kirtay, 2010), Das et al., 2008)	--- (Semelsberger et al., 2006), (ICS-UNIDO, 2007)
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	-- (Meijden et al., 2010), (ICS-UNIDO, 2007)	+ (ICS-UNIDO, 2007)
Βιοδιμεθυλαιθέρας	--- (Li et al., 2010)	- (Semelsberger et al., 2006), (Grasii, 2005), (ICS-UNIDO, 2007)
Βιομεθανόλη	--- (Xuan et al., 2009)	- (ICS-UNIDO, 2007)
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	--- (Naber, 2008) (Patil et al., 2008)	+ (ICS-UNIDO, 2007)
Βιοαιθανόλη	-- (Talebnia et al., 2010) (Sun and Cheng, 2002) (Xuan et al., 2009)	+ (Kim et al., 2010), (Balat, 2011) (ICS-UNIDO, 2007)
Βιοκαύσιμα από άλγη	--- (Scott et al., 2010) (Singh et al., 2011a) (Knoshaug and Darzins, 2011), (Brennan and Owende, 2010), (US DoE, 2008a)	- (Singh et al., 2011a), (Knoshaug and Darzins, 2011),
Ηλεκτρισμός	+ (Faaij, 2006)	--- (Balagopal et al., 2010) (EC, 2011)

Πίνακας 3.5γ Δεδομένα για τα κοινωνικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα	Δημόσια αποδοχή	Ανταγωνιστικότητα με τρόφιμα
Βιο-υδρογόνο	++ (Brohmann et al., 2007)	-
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	++ (Brohmann et al., 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	-
Βιοδιμεθυλαιθέρας	+ (Brohmann et al., 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	-
Βιομεθανόλη	+ (Brohmann et al., 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	-
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	+ (Brohmann et al., 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	-
Βιοαιθανόλη	+ (Brohmann et al. 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	-
Βιοκαύσιμα από άλγη	+ (Brohmann et al., 2007), (Alasti, 2011), (Rohracher et al., 2004)	--
Ηλεκτρισμός	+++ (Brohmann et al., 2007), (Midden et al., 2007.)	--

Πίνακας 3.5δ Αριθμητικά δεδομένα για τα πολιτικά κριτήρια

Εναλλακτικά καύσιμα	Δημιουργία απασχόλησης	Ενεργειακή ασφάλεια	Εκπομπές CO ₂ WTW(g/km)
Βιο-υδρογόνο	+ (WWF, 2009)	++	16 (Cozens and Manson-Whitton, 2010)
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	++ (WWF, 2009)	++	18 (Ajanovic, 2010)
Βιοδιμεθυλαιθέρας	+ (WWF, 2009), (Neuwahl et al., 2008)	++	18 (Ajanovic, 2010)
Βιομεθανόλη	+ (WWF, 2009) (Neuwahl et al., 2008)	++	18 (Ajanovic, 2010)
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	+ (WWF, 2009), (Neuwahl et al., 2008)	+	18 (Ajanovic, 2010)
Βιοαιθανόλη	+ (WWF, 2009), (Neuwahl et al., 2008)	+	38 (Ajanovic, 2010)
Βιοκαύσιμα από άλγη	+ (WWF, 2009), (Neuwahl et al., 2008)	+++	18 (Ajanovic, 2010)
Ηλεκτρισμός	+++ (WWF, 2009), (Neuwahl et al., 2008)	+++	15 (Ajanovic, 2010)

3.4.3 Ανάλυση σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα

Προκειμένου να αξιολογηθεί κάθε εναλλακτικό καύσιμο παρουσιάζονται ένα βασικό σενάριο και πέντε εναλλακτικά σενάρια με παράγοντες διαφορετικής βαρύτητας επιλογής ανά κριτήριο. Σύμφωνα με το βασικό σενάριο, τα οικονομικά κριτήρια είναι η πιο κρίσιμη παράμετρος με συντελεστή βαρύτητας 50%. Τα πολιτικά κριτήρια έχουν μικρότερο αντίκτυπο με συντελεστή βαρύτητας 25%, ακολουθούμενα από τα κοινωνικά κριτήρια, με συντελεστή βαρύτητας 15%, ενώ τα τεχνολογικά κριτήρια έχουν τις λιγότερες επιπτώσεις που αντιστοιχούν σε συντελεστή βαρύτητας 10% (Σχήμα 3.14). Τα βάρη για τα οικονομικά υποκριτήρια είναι: 33,33% για "κόστος παραγωγής ενέργειας", 33,33% για "κόστος επενδύσεων" και 33,33% για "κόστος υποδομών". Τα βάρη για τα τεχνολογικά υποκριτήρια είναι: 50% για "τεχνολογική ωριμότητα" και 50% για "διαθεσιμότητα υποδομών". Τα βάρη για τα κοινωνικά υποκριτήρια είναι: 50% για "δημόσια αποδοχή" και 50% για "ανταγωνιστικότητα με τροφίμων". Τα βάρη για τα πολιτικά υποκριτήρια είναι: 33,33% για "δημιουργία απασχόλησης", 33,33% για "ενεργειακή ασφάλεια" και 33,33% για "εκπομπές CO₂".

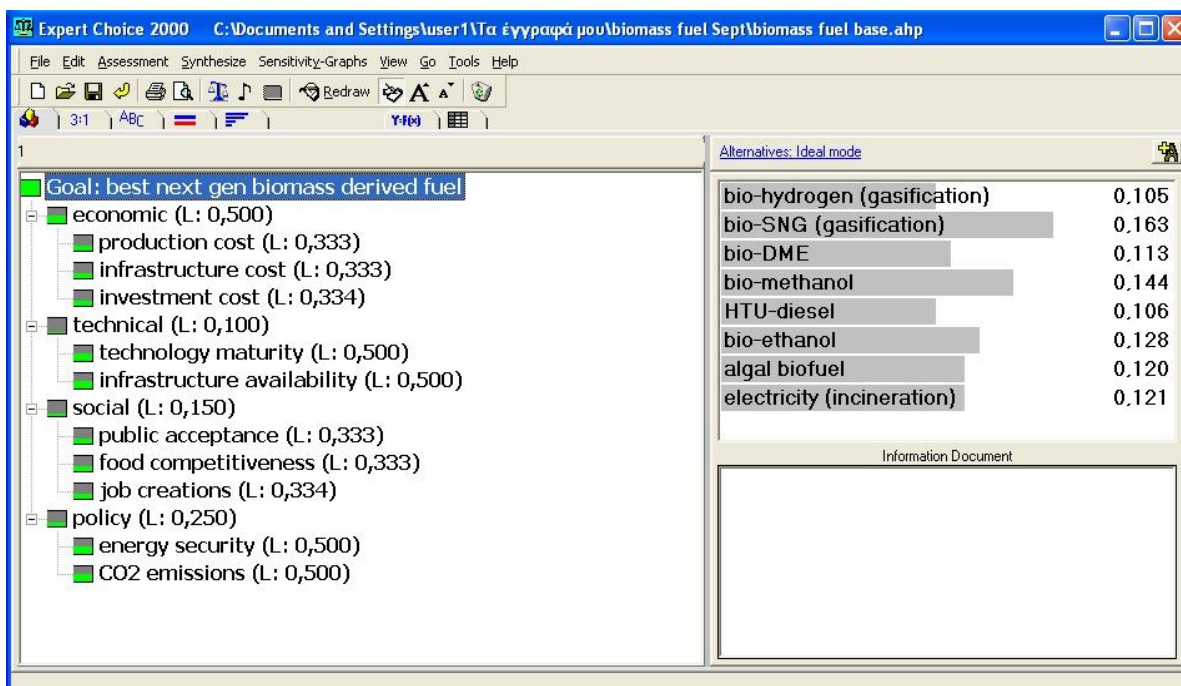
Στο βασικό σενάριο η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και βιομεθανόλης αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα (Σχήματα 3.15 - 3.18). Η υψηλότερη βαθμολογία είναι 16,3% που αντιστοιχεί στο "καλύτερο" εναλλακτικό καύσιμο (βιοσυνθετικό φυσικό αέριο) ενώ η χαμηλότερη βαθμολογία είναι 10,6%, που αντιστοιχεί στο χειρότερο για το συγκεκριμένο σενάριο εναλλακτικό καύσιμο (ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης).

Οι συντελεστές βάρους για το βασικό και τα πέντε εναλλακτικά σενάρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6. Μετά τη λήψη απόφασης βαθμολόγησης των εναλλακτικών καυσίμων για κάθε κριτήριο σε συνδυασμό με τα βάρη των κριτηρίων, η σύνθεσή τους δίνει τη συνολική βαθμολογία και κατάταξη για όλα τα σενάρια, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7.

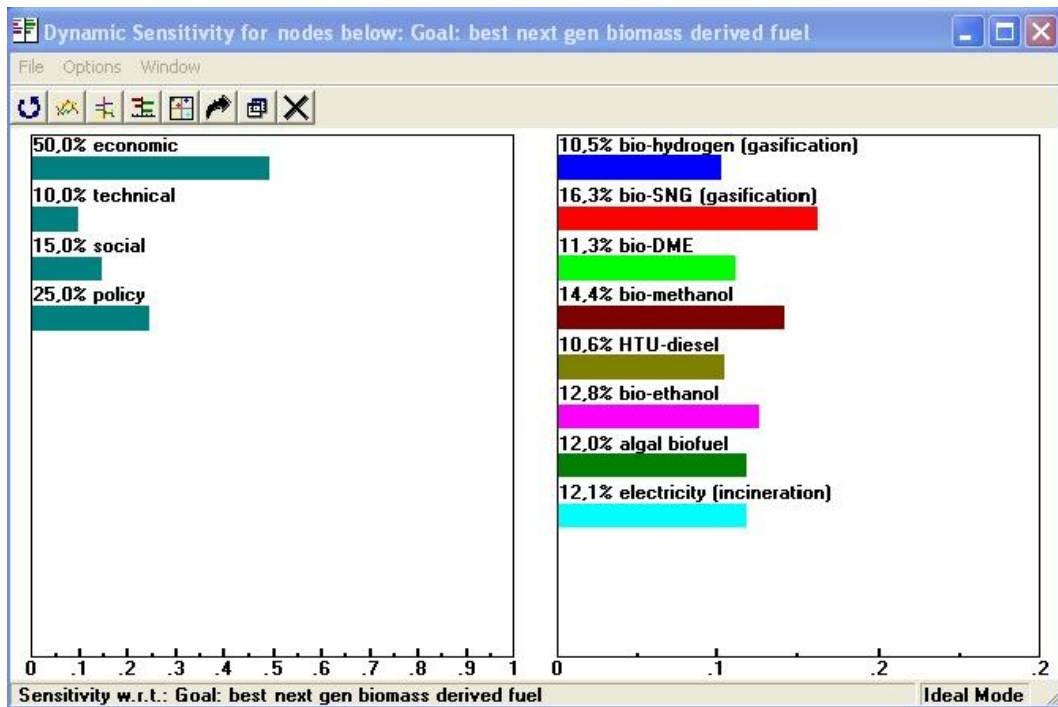
Ενδεικτικά για το 2^ο σενάριο η υψηλότερη βαθμολογία είναι το 0.177 που αντιστοιχεί σε βιοσυνθετικό φυσικό αέριο, ενώ για το 4^ο σενάριο η υψηλότερη βαθμολογία είναι το 0.195 που αντιστοιχεί σε ηλεκτρισμό από καύση βιομάζας.

Πίνακας 3.6 Συντελεστές βάρους για όλα τα σενάρια

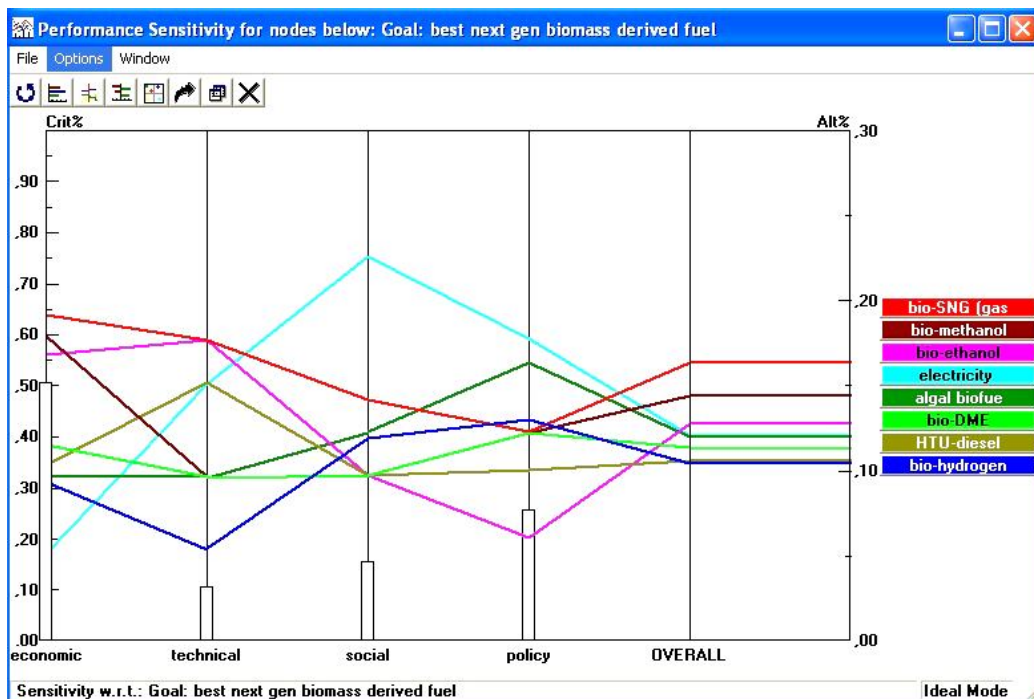
Σενάριο	Κριτήρια		Κόστος παραγωγής ενέργειας	Κόστος επένδυσης	Κόστος υποδομών	Τεχνολογική ωριμότητα	Διαθεσιμότητα υποδομών	Δημόσια αποδοχή	Ανταγων. με τρόφιμα	Δημιουργία απασχόλησης	Ενεργειακή ασφάλεια	Εκπομπές CO ₂
Βασικό	Οικονομικά	50%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	10%				50%	50%					
	Κοινωνικά	15%						50%	50%			
	Πολιτικά	25%								33.33%	33.33%	33.33%
1	Οικονομικά	25%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	25%				50%	50%					
	Κοινωνικά	25%						50%	50%			
	Πολιτικά	25%								33.33%	33.33%	33.33%
2	Οικονομικά	70%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	10%				50%	50%					
	Κοινωνικά	10%						50%	50%			
	Πολιτικά	10%								33.33%	33.33%	33.33%
3	Οικονομικά	10%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	70%				50%	50%					
	Κοινωνικά	10%						50%	50%			
	Πολιτικά	10%								33.33%	33.33%	33.33%
4	Οικονομικά	10%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	10%				50%	50%					
	Κοινωνικά	70%						50%	50%			
	Πολιτικά	10%								33.33%	33.33%	33.33%
5	Οικονομικά	10%	33.33%	33.33%	33.33%							
	Τεχνολογικά	10%				50%	50%					
	Κοινωνικά	10%						50%	50%			
	Πολιτικά	70%								33.33%	33.33%	33.33%



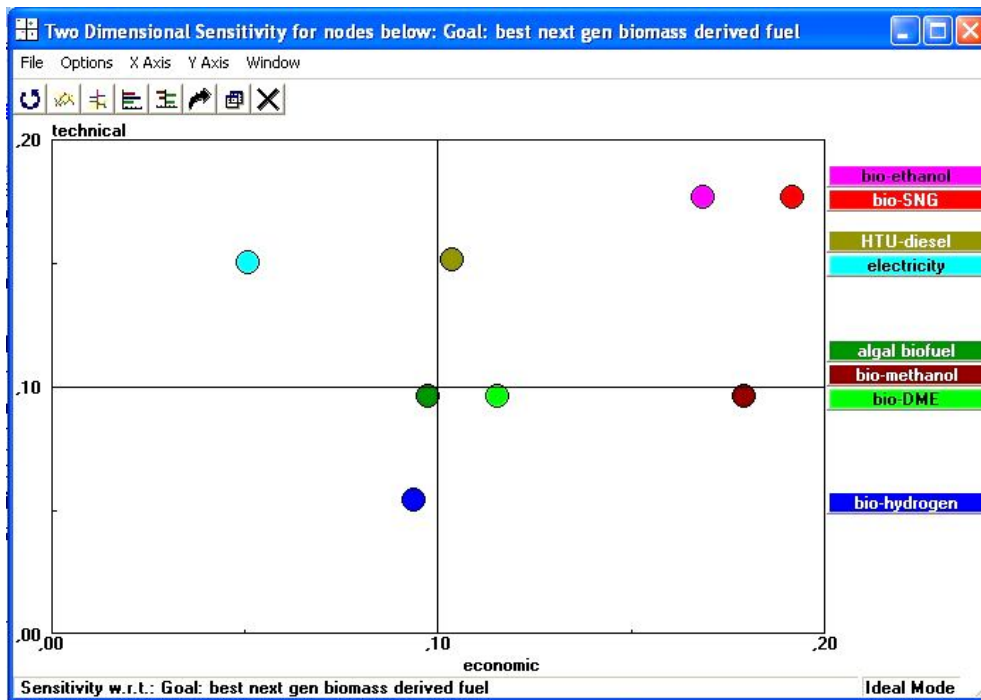
Σχήμα 3.14 Βασικό σενάριο αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα



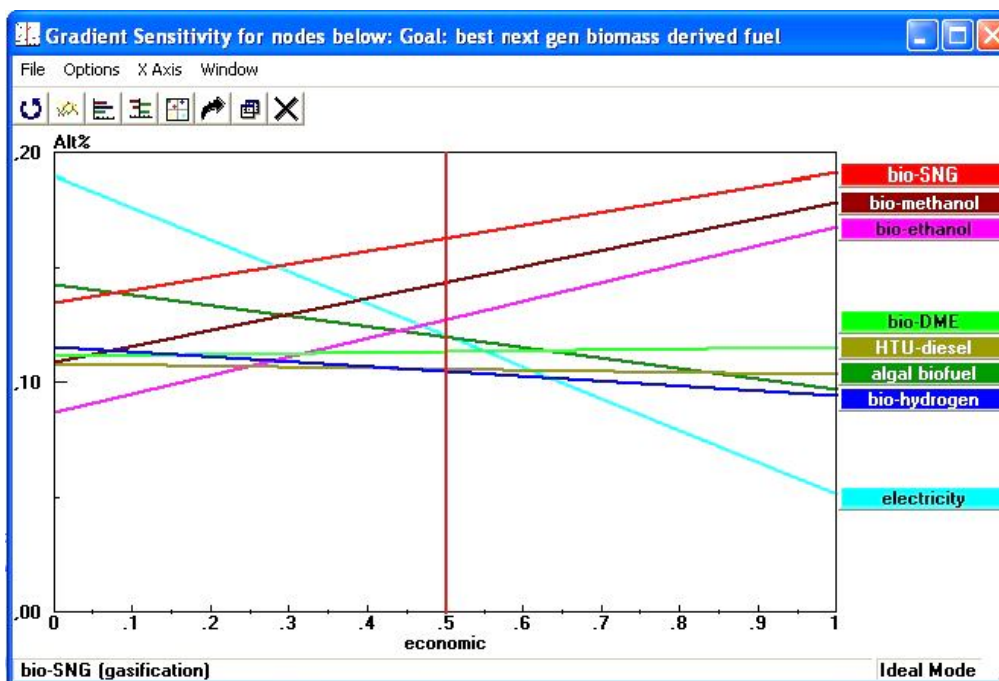
Σχήμα 3.15 Επιλογή βέλτιστου καυσίμου για το βασικό σενάριο (δυναμική ευαισθησία)



Σχήμα 3.16 Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το βασικό σενάριο



Σχήμα 3.17 Ανάλυση ευαισθησίας δύο διαστάσεων για το βασικό σενάριο



Σχήμα 3.18 Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το βασικό σενάριο

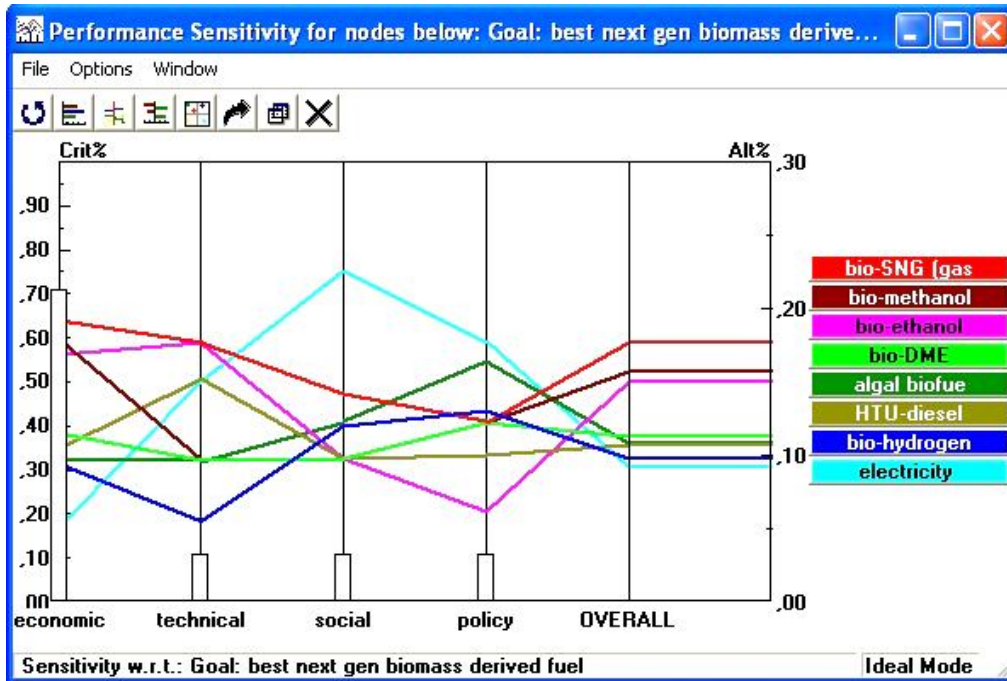
Στο 1^ο σενάριο και τα τέσσερα κριτήρια (οικονομικά, τεχνολογικά, κοινωνικά και πολιτικά) σταθμίζονται εξίσου με συντελεστή βαρύτητας 25% έκαστο. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο, τόσο το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο όσο και η ηλεκτρική ενέργεια από καύση βιομάζας αποτελούν τις προτιμητέες επιλογές.

Στο 2^ο σενάριο τα οικονομικά κριτήρια ενισχύονται περαιτέρω σε σχέση με το βασικό σενάριο με συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ για τα υπόλοιπα κριτήρια (τεχνολογικά, κοινωνικά και πολιτικά) ο συντελεστής βαρύτητας μειώνεται στο 10% για το καθένα. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και βιομεθανόλης αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα (Σχήμα 3.19α&β).

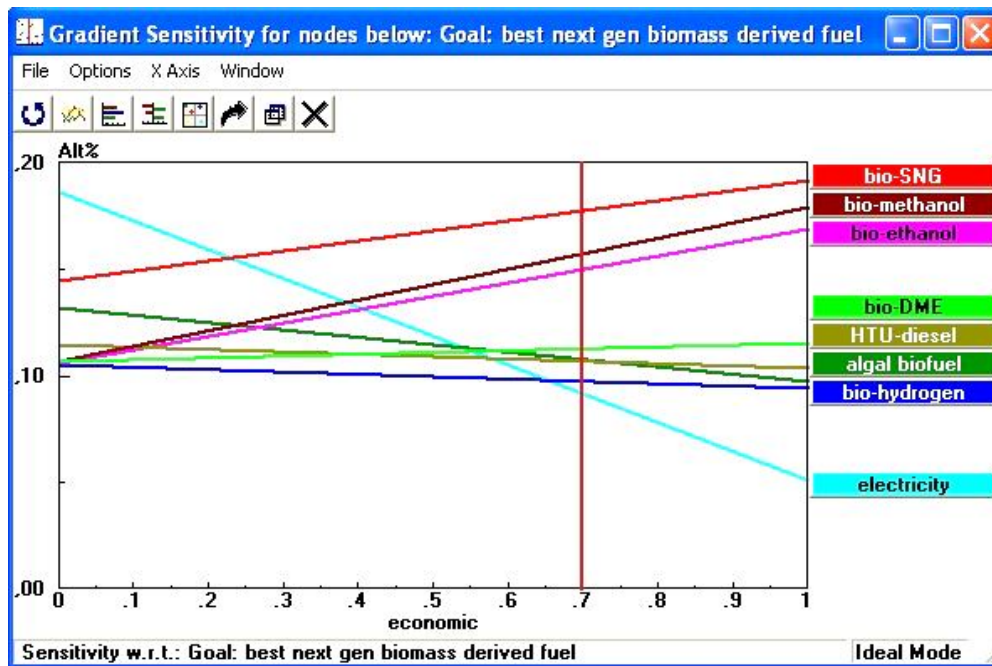
Στο 3^ο σενάριο τα τεχνολογικά κριτήρια ενισχύονται περαιτέρω σε σχέση με το βασικό σενάριο με συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ για τα υπόλοιπα κριτήρια (οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά) ο συντελεστής βαρύτητας μειώνεται στο 10% για το καθένα. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και βιοαιθανόλης αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα (Σχήμα 3.20α&β).

Πίνακας 3.7 Συνολική βαθμολογία εναλλακτικών καυσίμων για όλα τα σενάρια

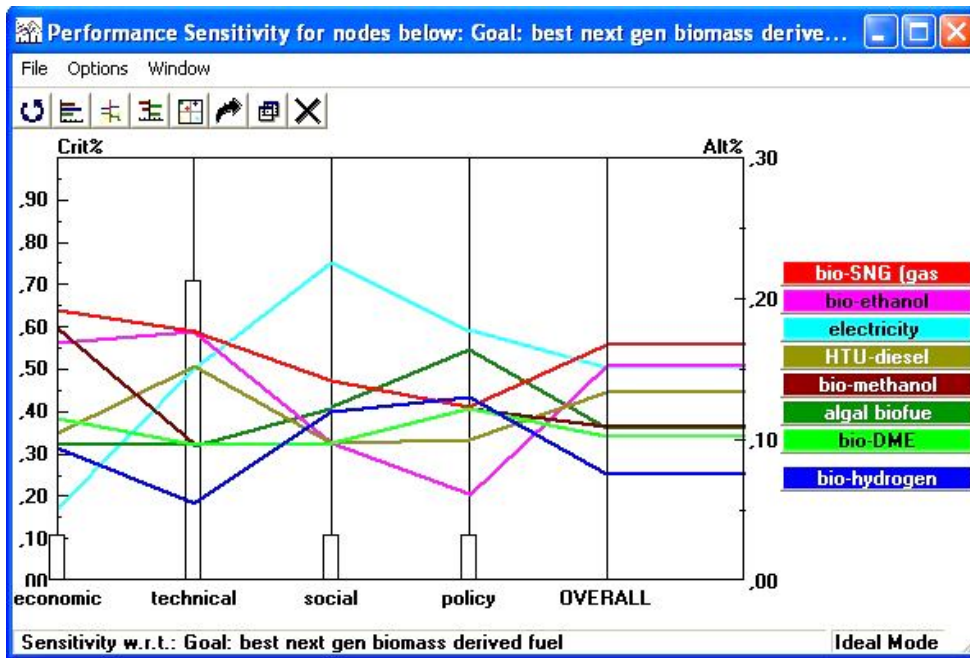
Εναλλακτικά καύσιμα	Σενάρια					
	Βασικό	1	2	3	4	5
Βιο-υδρογόνο	0,105	0,102	0,097	0,075	0,112	0,120
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	0,163	0,156	0,177	0,168	0,148	0,135
Βιοδιμεθυλαιθέρας	0,113	0,109	0,113	0,102	0,102	0,118
Βιομεθανόλη	0,144	0,125	0,157	0,109	0,109	0,123
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	0,106	0,112	0,107	0,134	0,103	0,104
Βιοαιθανόλη	0,128	0,121	0,149	0,153	0,107	0,083
Βιοκαύσιμα από άλγη	0,120	0,123	0,108	0,108	0,123	0,149
Ηλεκτρισμός (καύση)	0,121	0,152	0,091	0,151	0,195	0,168



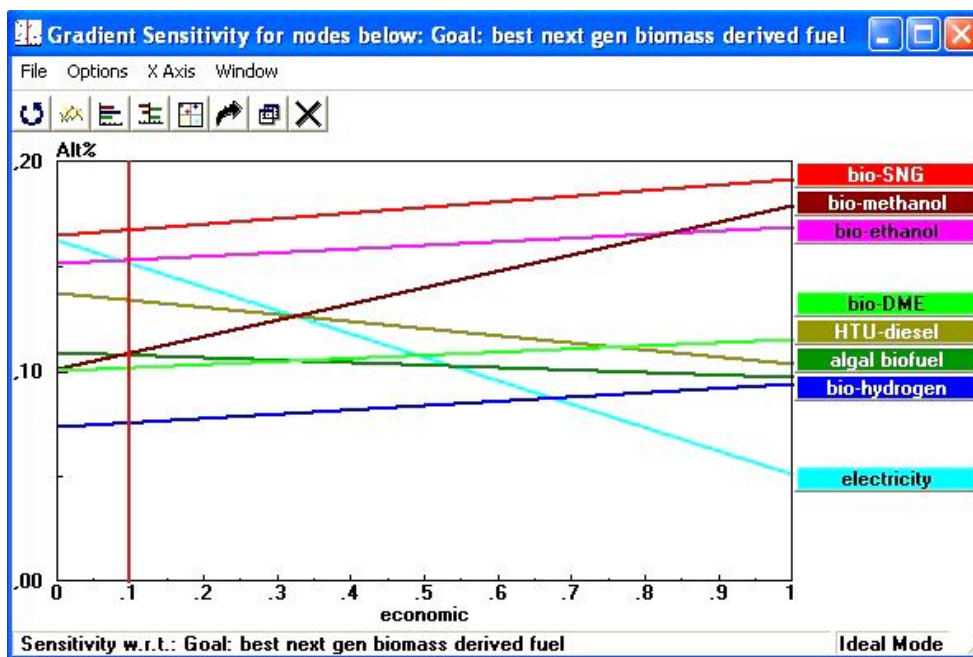
Σχήμα 3.19α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 2



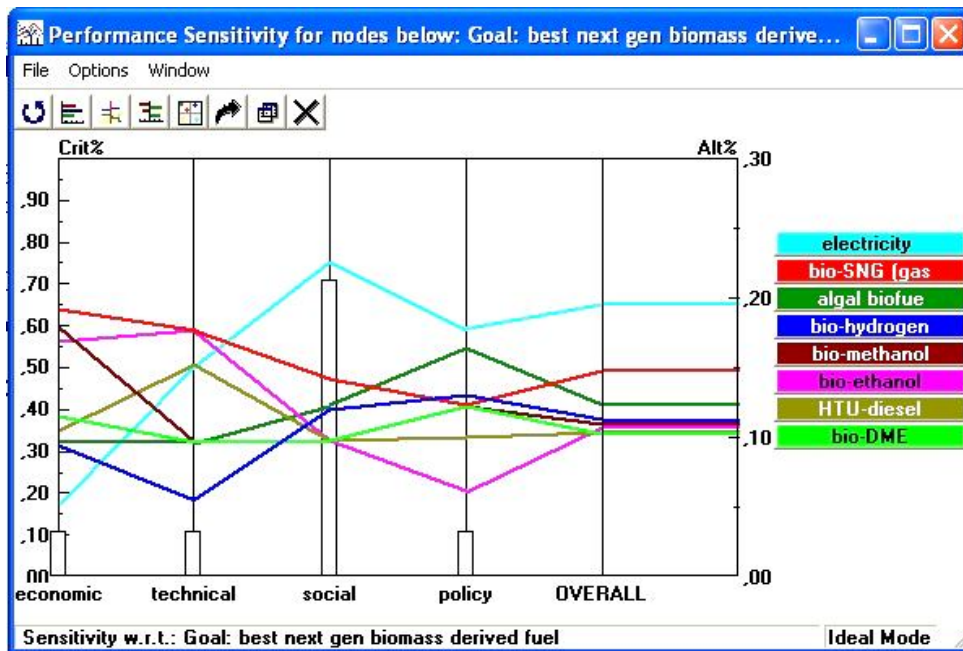
Σχήμα 3.19β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 2



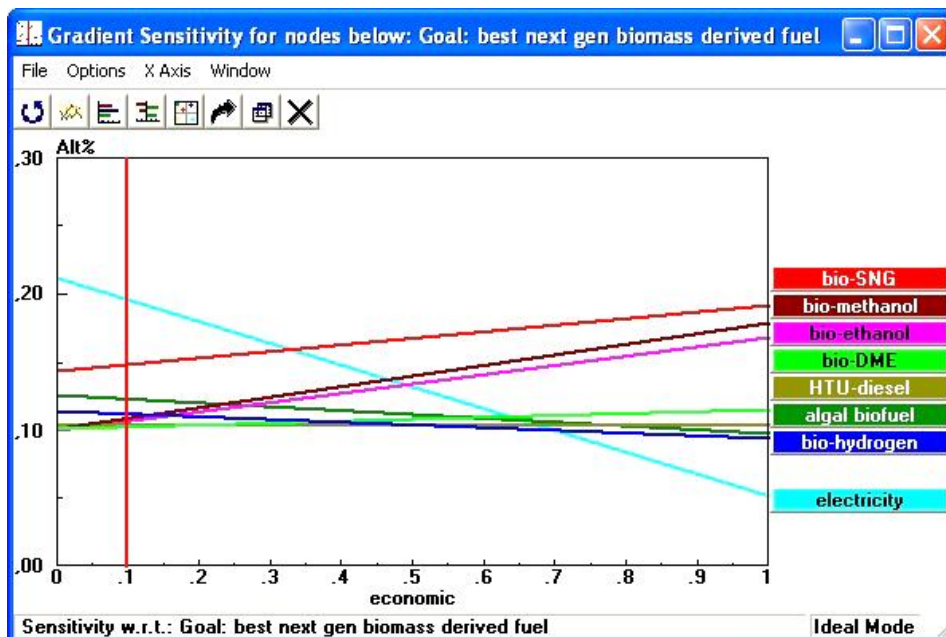
Σχήμα 3.20α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 3



Σχήμα 3.20β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 3



Σχήμα 3.21α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 4

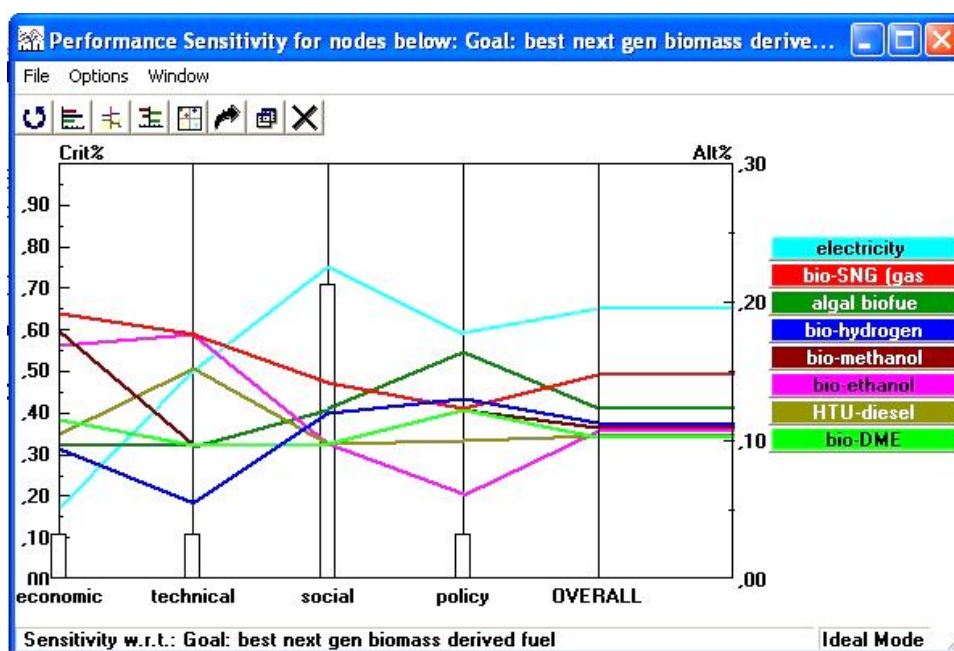


Σχήμα 3.21β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 4

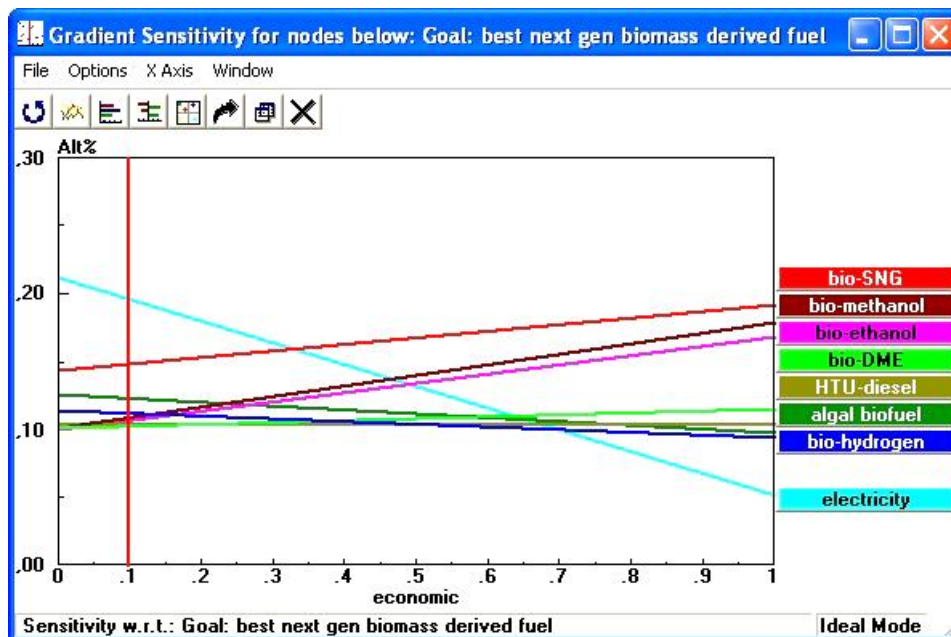
Στο 4^ο σενάριο τα κοινωνικά κριτήρια ενισχύονται περαιτέρω σε σχέση με το βασικό σενάριο με συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ για τα υπόλοιπα κριτήρια (οικονομικά, τεχνολογικά και πολιτικά) ο συντελεστής βαρύτητας μειώνεται στο 10% για το καθένα. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο

βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας και βιοσυνθετικού φυσικού αερίου αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα (Σχήμα 3.21α&β).

Στο 5^ο σενάριο τα πολιτικά κριτήρια ενισχύονται περαιτέρω σε σχέση με το βασικό σενάριο με συντελεστή βαρύτητας 70%, ενώ για τα υπόλοιπα κριτήρια (οικονομικά, τεχνολογικά και κοινωνικά) ο συντελεστής βαρύτητας μειώνεται στο 10% για το καθένα. Τα βάρη για όλα τα επιμέρους κριτήρια παραμένουν τα ίδια όπως και στο βασικό σενάριο. Σε αυτό το σενάριο η χρήση ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας και βιοκαύσιμα από άγλη αξιολογούνται υψηλότερα από όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα (Σχήμα 3.22α&β).



Σχήμα 3.22α Ανάλυση ευαισθησίας απόδοσης για το σενάριο 5



Σχήμα 3.22β Ανάλυση ευαισθησίας κλίσης για το σενάριο 5

3.4.4 Αποτελέσματα σεναρίων αξιολόγησης καυσίμων επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα

Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζεται η συχνότητα της κατάταξης της εμφάνισης του κάθε εναλλακτικού καυσίμου, από την 1η έως την 8η θέση, με βάση την βαθμολογία επιλογής καυσίμου του Πίνακα 3.7. Ενδεικτικά, ο ηλεκτρισμός από καύση βιομάζας και η βιομεθανόλη εμφανίζονται ως 2^η επιλογή από 2 φορές, ενώ το βιοσυνθετικό φυσικό αέριο και τα βιοκαύσιμα από άλγη εμφανίζονται μόνο από 1 φορά στη 2^η θέση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.8, η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας αξιολογούνται ως τα πιο κατάλληλα εναλλακτικά καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών. Πρόκειται για μια ρεαλιστική προσέγγιση, δεδομένου ότι η χρήση του βιοσυνθετικού φυσικού αερίου απαιτεί τις ίδιες υποδομές και οχήματα με τα υφιστάμενα του φυσικού αερίου, ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας αποτελεί μια ιδιαίτερα ώριμη τεχνολογία.

Η χρήση βιοαιθανόλης εμφανίζεται ως 3^η επιλογή σε 3 από τα 6 σενάρια. Η χρήση βιοκαυσίμων από άλγη εμφανίζεται στη 2^η, 3^η και 4^η θέση σε 3 σενάρια επίσης. Τέλος, σε αυτή τη μελέτη, η χρήση βιοδιμεθυλαιθέρα, ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης και βιο-υδρογόνου κατατάσσονται ως οι τελευταίες επιλογές κυρίως λόγω του υψηλού κόστους (παραγωγής ενέργειας, επενδύσεων και υποδομών).

Πίνακας 3.8 Συχνότητα κατάταξης της εμφάνισης του κάθε εναλλακτικού καυσίμου επόμενης γενιάς για όλα τα σενάρια

Συχνότητα κατάταξης	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η	7 ^η	8 ^η
Βιο-υδρογόνο	-	-	-	1	1	-	1	3
Βιοσυνθετικό φυσικό αέριο	4	1	1	-	-	-	-	-
Βιοδιμεθυλαιθέρας	-	-	-	1	-	2	2	1
Βιομεθανόλη	-	2	1	1	2	-	-	-
Ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης	-	-	-	1	-	2	3	-
Βιοαιθανόλη	-	-	3	-	1	1	-	1
Βιοκαύσιμα από άλγη	-	1	1	1	2	1	-	-
Ηλεκτρισμός (καύση)	2	2	-	1	-	-	-	1

Κεφάλαιο 4. Μοντελοποίηση του τομέα οδικών μεταφορών στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, έχουν εφαρμοστεί μέχρι σήμερα πλήθος οδηγιών της Ε.Ε. αναφορικά με τον τύπο του κινητήρα των οχημάτων, των ελαστικών τους, πρότυπα για τις εκπομπές CO₂, αλλά και φορολογικές κυρώσεις για μειωμένη ενεργειακή απόδοση και υψηλές εκπομπές. Επιπλέον, έχουν εφαρμοστεί οι τεχνικοί έλεγχοι των οχημάτων, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφάλειας και εκπομπών (MEDENER, 2013). Στην Ελλάδα, τα πιο σημαντικά μέτρα είναι νομοθετικά και δημιουργίας υποδομών. Τα πιο αποτελεσματικά από αυτά είναι: βελτιώσεις της υποδομής των οδικών μεταφορών, βελτιώσεις στα μέσα μαζικών μεταφορών και τον τεχνικό έλεγχο των οχημάτων καθώς και κίνητρα για την αντικατάσταση των βαρέων οχημάτων (>3,5tn). Η αντικατάσταση και η προώθηση των οχημάτων χαμηλών ρύπων, η εισαγωγή των βιοκαυσίμων και σχεδίων ενίσχυσης αστικών μεταφορών είναι μεσαίας αποτελεσματικότητας. Τέλος, η σήμανση της ενεργειακής απόδοσης και των εκπομπών CO₂ των καινούργιων οχημάτων είναι χαμηλής αποτελεσματικότητας (Iatridis and Karamani, 2009).

4.1 Ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα

Παρουσιάζονται οι βασικές παραδοχές και τα δεδομένα σχετικά με τον στόλο οχημάτων του τομέα οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Τα στοιχεία αυτά θα αποτελέσουν τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε για να προσομοιάσουμε τον τομέα οδικών μεταφορών στην χώρα μας. Όλα τα δεδομένα εισόδου αναφέρονται στο 2010, έτος αναφοράς κατά το οποίο υπάρχει πλήρης βιβλιογραφική υποστήριξη.

Οι οδικές μεταφορές βασίζονται αποκλειστικά σε πετρελαϊκά προϊόντα (βενζίνη, ντίζελ), ενώ η διείσδυση των εναλλακτικών καυσίμων είναι ακόμη πολύ μικρή. Το μερίδιο του τομέα των μεταφορών στην τελική ενεργειακή κατανάλωση αγγίζει το 43% για την Ελλάδα. Η Ελλάδα πρακτικά εισάγει όλο το πετρέλαιο που καταναλώνει ενώ η προμήθεια αποτελεί ένα από τα κλειδιά της ενεργειακής της ασφάλειας (Tsita and Pilavachi, 2012). Το 2010 ο τομέας μεταφορών συνεισέφερε το 27% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η κατανάλωση βενζίνης στην Ελλάδα είχε μια σταθερή ετήσια αύξηση με ρυθμό 3-4% μέχρι το 2006 (3,9 Mt), ενώ τα επόμενα τρία χρόνια (2007-2009) χάρη στην παγκόσμια οικονομική κρίση, η κατανάλωση είχε μια οριακή αύξηση και τελικά έφτασε στη μέγιστη τιμή της το 2009 (4,06 Mt). Το 2010 και το 2011 εξαιτίας των μέτρων λιτότητας στην ελληνική οικονομία η κατανάλωση πετρελαιοειδών μειώθηκε κατά 15%, ενώ παρόμοια μείωση παρατηρήθηκε και την επόμενη τριετία. Από το 2014 η αγορά σταθεροποιείται και στα επόμενα χρόνια αναμένεται να αυξάνει. Για τα τελευταία 25 χρόνια η χρήση ντίζελ κίνησης στα επιβατικά οχήματα δεν επιτρεπόταν στις κύριες αστικές περιοχές της Ελλάδος (Αθήνα και Θεσσαλονίκη) με αποτέλεσμα όλα τα επιβατικά οχήματα να ήταν βενζινοκίνητα. Το Νοέμβριο του 2011 αυτοί οι περιορισμοί άρθηκαν, αλλά μόνο για τους νέους τύπους οχημάτων ντίζελ (EURO V και EURO VI). Η στροφή στο ντίζελ κίνησης θα επηρεάσει σημαντικά τις πωλήσεις των νέων οχημάτων, ενώ εκτιμάται ότι η κατανάλωση της βενζίνης θα συνεχίσει να αυξάνεται την επόμενη δεκαετία.

Η ανάπτυξη νέων και η ενίσχυση των υφιστάμενων υποδομών για την ηλεκτροκίνηση, σε αστικές και μη περιοχές απαιτεί τεχνολογική καινοτομία και την δημιουργία κατάλληλων οργανωτικών μέτρων και πολιτικών προώθησης στην Ελλάδα. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί αφενός με τη μεγιστοποίηση της χρήσης ΑΠΕ και αφετέρου με την ανάγκη μετατόπισης των φορτίων αιχμής, κυρίως προερχόμενων από οικιακούς χρήστες. Οι παραπάνω στόχοι μπορούν να επιτευχθούν μέσω εφαρμογών έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας (smart grids).

Στη χώρα μας υπάρχει σημαντικό δυναμικό ενεργειακών καλλιεργειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων όπως είναι ο ηλιάνθος (sunflower) και η ελαιοκράμβη (rapeseed) για το βιοντίζελ καθώς και το κριθάρι (barley), τα τεύτλα (sugarbeets), ο αραβόσιτος (maize) και ο γλυκός σόργος (sweet-sorghum) για τη βιοαιθανόλη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δρομολογηθεί η υποχρεωτική χρήση βιοκαυσίμων στα καύσιμα κίνησης, με στόχο 10% κατ' όγκο μερίδιο βιοκαυσίμων στο συνολικό μίγμα καυσίμων έως το 2020. Στα ποσοστά αυτά το βιοντίζελ υποκαθιστά το συμβατικό ντίζελ, ενώ η βιοαιθανόλη τη βενζίνη. Από το 2014 στη χώρα μας, η περιεκτικότητα του βιοντίζελ στο ντίζελ κίνησης ανέρχεται σε 7% κατ' όγκο.

4.2 Λογισμικό LEAP

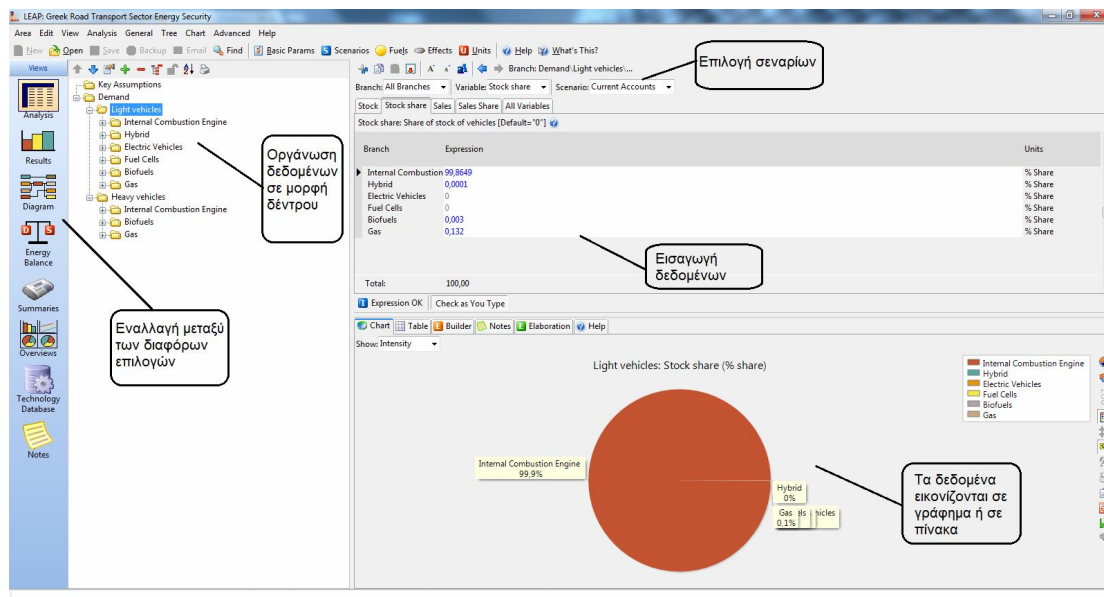
Το σύστημα μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή είναι το λογισμικό Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP). Δημιουργήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 στο Ινστιτούτο Περιβάλλοντος της Στοκχόλμης (Stockholm Environment Institute) ως ολοκληρωμένο εργαλείο μοντελοποίησης για την προσομοίωση της μελλοντικής ζήτησης ενέργειας και κατανάλωσης καυσίμων. Στα μέσα του 1990 το LEAP ήταν ένα από τα πρώτα εργαλεία δημιουργίας μοντέλων συσχετισμού ενέργειας και περιβαλλοντικών παραμέτρων (Heaps, 2012).

Σήμερα το LEAP χρησιμοποιείται σε περισσότερες από 190 χώρες παγκοσμίως. Οι χρήστες του συμπεριλαμβάνουν κυβερνητικές υπηρεσίες, Πανεπιστήμια, μη-κυβερνητικές οργανώσεις, εταιρίες συμβούλων και επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Χρησιμοποιείται ακόμη και ως βάση δεδομένων καυσίμων και εκπομπών CO₂ για διάφορους τύπους οχημάτων και γι' αυτό πολλές χώρες επιλέγουν το LEAP για να προσομοιώσουν τα ενεργειακά τους συστήματα και να υπολογίσουν τις εκπομπές CO₂ για την ετήσια αναφορά τους στην Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή των Ηνωμένων Εθνών.

Το LEAP δεν απαιτεί μακροχρόνια περίοδο εκπαίδευσης και είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που ο χρήστης θέλει να διερευνήσει τις ενεργειακές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προτεινόμενων πολιτικών, ιδιαίτερα αν υπάρχει προκαθορισμένη η επιλογή της τεχνολογίας που θα ακολουθηθεί (Wang et al., 2007).

Τα σενάρια του βασίζονται σε έναν ευρύτερο υπολογισμό του τρόπου παραγωγής, μετατροπής ή κατανάλωσης της ενέργειας σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον πληθυσμό, την οικονομική ανάπτυξη, την τεχνολογία και τις τιμές ενέργειας στην περιοχή αυτή. Έχοντας ευέλικτες δομές για τα δεδομένα εισόδου το LEAP επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει το βαθμό της ανάλυσης και της λεπτομέρειας που ο ίδιος επιθυμεί (Σχήμα 4.1).

Σε σύγκριση με τα μακροοικονομικά μοντέλα, το LEAP δεν ενδείκνυται για την εκτίμηση των επιπτώσεων ενεργειακών πολιτικών στην απασχόληση ή στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν. Επίσης, δεν αποτελεί πρόγραμμα αριστοποίησης. Συνοπτικά, το LEAP μπορεί να λειτουργήσει ως εξής (Stockholm Environment Institute, 2011):



Σχήμα 4.1 Εισαγωγή δεδομένων και σεναρίων από την επιλογή "Ανάλυση"

- Μια βάση δεδομένων: Παρέχει ένα περιεκτικό σύστημα, όπου είναι καταχωρημένες οι πληροφορίες για παραμέτρους ενέργειας, καυσίμων, εκπομπών ρύπων κτλ.
- Ένα εργαλείο πρόβλεψης: Δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργεί σενάρια για την παροχή και για την ζήτηση ενεργειακών μεγεθών σε βάθος χρόνου.
- Ένα εργαλείο ανάλυσης: Προσομοιώνει και καθορίζει τις επιδράσεις (φυσικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές) σεναρίων διαχείρισης ενεργειακών προϊόντων.

Το LEAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προσομοιώσει την παραγωγή και την κατανάλωση διαφόρων πηγών ενέργειας και καυσίμων με σκοπό να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά διαφόρων σεναρίων και να αποτιμήσει τις πιθανές επιδράσεις κάθε αντίστοιχης ενεργειακής πολιτικής.

4.2.1 Δομή λειτουργίας LEAP

Το LEAP αποτελεί μοντέλο λογιστικού πλαισίου (accounting framework), καθώς παρουσιάζει τις ενεργειακές ροές με ένα σύστημα βασισμένο σε απλές μαθηματικές σχέσεις (π.χ. διατήρηση της ενέργειας). Αντί να προσομοιώνει τις αποφάσεις των ενεργειακών παραγωγών και καταναλωτών, ο χρήστης απλά εισάγει τα αποτελέσματα αυτών των αποφάσεων (π.χ. ενεργειακή ζήτηση, βαθμός διείσδυσης στην αγορά κτλ.). Εφαρμόζονται οικονομικά δεδομένα, στοιχεία του πληθυσμού, καθώς και πληροφορίες για τη χρήση ενέργειας, με σκοπό τη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων που εξετάζουν πώς η συνολική και η επιμέρους κατανάλωση των καυσίμων εξελίσσονται διαχρονικά (Stockholm Environment Institute, 2011).

Το LEAP είναι δομημένο ως ένα σύνολο οκτώ διαφορετικών επιλογών που εμφανίζονται ως γραφικά εικονίδια (Views) στην αριστερή πλευρά της οθόνης του λογισμικού (βλ. Σχήμα 4.1). Οι επιλογές είναι:

- α) Επιλογή Ανάλυσης (Analysis View), όπου εισάγονται δεδομένα, παραδοχές και δημιουργούνται σενάρια.
- β) Επιλογή Αποτελεσμάτων (Results View), όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα ανά σενάριο σε πίνακες και σε διάγραμμα.
- γ) Επιλογή Διαγράμματος (Diagram View) όπου εικονίζεται το διάγραμμα του ενεργειακού συστήματος αναφοράς με τις αντίστοιχες ροές ενέργειας.
- δ) Επιλογή Ενεργειακής Ισορροπίας (Energy Balance View), όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε πίνακα και παράγονται ενεργειακά ισοζύγια.
- ε) Επιλογή Περιλήψεων (Summaries View), όπου κάθε χρήστης δημιουργεί το δικό του κείμενο με όποιους πίνακες θέλει να εξάγει.
- στ) Επιλογή Επισκοπήσεων (Overviews View): όπου κάθε χρήστης δημιουργεί το δικό του κείμενο με όποια διαγράμματα θέλει να εξάγει.
- ζ) Επιλογή Τεχνολογικής Βάσης Δεδομένων (Technology Database View), όπου υπάρχουν υφιστάμενες βάσεις δεδομένων π.χ. με ενεργειακά χαρακτηριστικά καυσίμων ή βάσεις δεδομένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.
- η) Επιλογή Σημειώσεων (Notes View), όπου κάθε χρήστης εισάγει σημειώσεις μέσω επεξεργαστή κειμένου.

Το λογισμικό LEAP έχει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων σχετικά με τα καύσιμα (Σχήμα 4.2) που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και των αντίστοιχων εκπομπών ρύπων που προκαλούν τα οχήματα (Σχήμα 4.3). Στη βάση δεδομένων μπορούν επίσης να προστεθούν και δεδομένα του χρήστη.

Ακολουθεί η δημιουργία ενός σεναρίου αναφοράς χωρίς την εφαρμογή νέων πολιτικών και μέτρων.

Στο Σχήμα 4.4 εικονίζεται ενδεικτικά στο σενάριο αναφοράς η εξέλιξη των πωλήσεων οχημάτων έως το 2050 .

Στο τέλος, δημιουργούνται διάφορα εναλλακτικά σενάρια που αντιστοιχούν σε επιμέρους πολιτικές και συγκρίνονται με το σενάριο αναφοράς.

Fuel	State	Fuel Type	Fuel Grouping	Net Energy Content		Lower/Higher Heating Value Ratio	Density (kg/liter)
Charcoal	Solid	Secondary Fuel	Biomass	28.8800 Gigajoule	Tonne	0.900	0.2500
Coal Bituminous	Solid	Fossil Resource	Solid Fuels	29.3100 Gigajoule	Tonne	0.950	1.3300
Crude Oil	Liquid	Fossil Resource	Crude Oil	41.8700 Gigajoule	Tonne	0.950	0.8740
Diesel	Liquid	Secondary Fuel	Oil Products	43.3300 Gigajoule	Tonne	0.950	0.8700
Electricity	Energy	Electricity	Electricity	1.0000 Gigajoule	Gigajoule	1.000	0.0000
Gasoline	Liquid	Secondary Fuel	Oil Products	44.8000 Gigajoule	Tonne	0.950	0.7400
Hydro	Energy	Renewable Reso...	Hydropower	1.0000 Gigajoule	Gigajoule	1.000	0.0000
Kerosene	Liquid	Secondary Fuel	Oil Products	44.7500 Gigajoule	Tonne	0.950	0.8100
LPG	Liquid	Secondary Fuel	Oil Products	47.3100 Gigajoule	Tonne	0.950	0.5400
Natural Gas	Gas	Fossil Resource	Natural Gas	34.2000 Megajoule	Cubic Meter	0.900	0.0007
Non Energy	Energy	Non Energy	Non Energy	1.0000 Gigajoule	Gigajoule	1.000	0.0000
Residual Fuel Oil	Liquid	Secondary Fuel	Oil Products	40.1900 Gigajoule	Tonne	0.950	0.9500

Notes:
Coal is generally classified according to rank. Rank classifications are based on a coal's content of fixed carbon, volatile carbon compounds, water, and ash, its heating value, and its coking properties. In the coalification process, coal first takes the form of peat, then progresses through lignite (brown coal), bituminous (soft coal), and finally to anthracite (hard coal) and graphite.

References:
Author (Year)
Leach and Gowen (1987)
Schmidt, R. (1979)
ORNL (1989)

Σχήμα 4.2 Βάση δεδομένων για τα καύσιμα

Color Effect Name	Abbrev.	Category	Unit	Integrated Global Warming Potential Tonnes CO2e/Tonne		
				20 Years	100 Years	500 Years
Carbon Dioxide Non Biogenic	CO2	Major GHGs and local air pollutants	Metric Tonne	1,0	1,0	1,0
Carbon Monoxide	CO	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	0,0	0,0	0,0
Methane	CH4	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	56,0	21,0	6,5
Non Methane Volatile Organic Compo...	NMVOG	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	0,0	0,0	0,0
Nitrogen Oxides	NOx	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	0,0	0,0	0,0
Nitrous Oxide	N2O	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	280,0	310,0	170,0
Particulates PM10	PM10	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	0,0	0,0	0,0
Sulfur Dioxide	SO2	Major GHGs and local air pollutants	Kilogramme	0,0	0,0	0,0

Notes on: Methane

Methane (CH4) is emitted as a by-product of fuel combustion, through leakage from natural gas, oil and coal extraction, transmission, and distribution facilities, and from other agricultural and natural (non-man-made) sources. In general, fuel combustion is a relatively minor contributor to overall GHG emissions relative to the other sources of the

References:

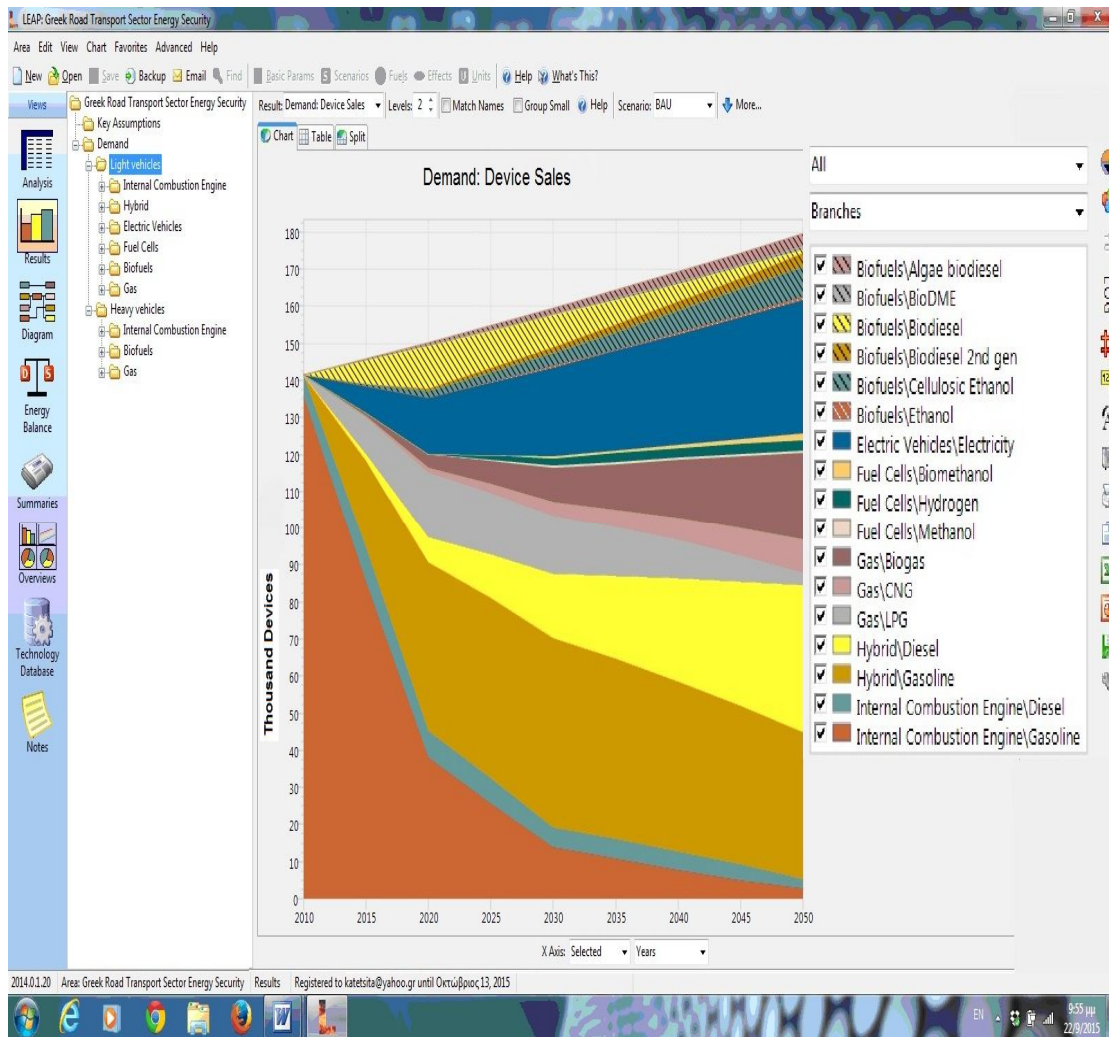
Author (Year)

Σχήμα 4.3 Βάση δεδομένων για τις εκπομπές ρύπων

Στο LEAP ο χρήστης εισάγει αρχικά τα δεδομένα της χρονιάς βάσης και στη συνέχεια δημιουργεί διάφορα σενάρια με μια επαναληπτική διαδικασία.

Το σενάριο αναφοράς υποθέτει ότι οι παρούσες τάσεις θα συνεχιστούν και στο μέλλον και η δομή του συστήματος παραμένει η ίδια ή υπόκειται σε αλλαγές που έχουν ήδη προκαθοριστεί, μέχρι σήμερα. Βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα, τα εναλλακτικά σενάρια έχουν υψηλή πιθανότητα υλοποίησης, μακροπρόθεσμα όμως το σενάριο αναφοράς συνήθως δεν υλοποιείται, καθώς οι παραδοχές του σεναρίου αναφοράς συνήθως τροποποιούνται στα επόμενα χρόνια.

Ο σχεδιασμός των εναλλακτικών σεναρίων οδηγεί σε μια καλύτερη αξιολόγηση πιθανών πολιτικών για το μέλλον. Το κάθε εναλλακτικό σενάριο εξελίσσεται με διαφορετικό τρόπο από το σενάριο αναφοράς, διερευνώντας αντίστοιχα διαφορετικές τεχνολογίες και πολιτικές προτεραιότητες (OECD/IEA, 2003). Κατά τη χρήση των εναλλακτικών σεναρίων ισχύουν τα ακόλουθα:



Σχήμα 4.4 Η εξέλιξη πωλήσεων οχημάτων στο σενάριο αναφοράς

- Τα εναλλακτικά σενάρια δεν αποτελούν προβλέψεις αλλά διερευνητικά εργαλεία.
- Οι βραχυπρόθεσμες αλλαγές σε παραμέτρους δεν επηρεάζουν την εξέλιξη των σεναρίων.
- Το εύρος των εναλλακτικών σεναρίων είναι περιορισμένο, επειδή βασίζεται σε υποκειμενικές εκτιμήσεις.

Το λογισμικό LEAP περιέχει διαφορετικές μεθοδολογίες μοντελοποίησης. Ενδεικτικά, μπορεί να χρησιμοποιήσει:

- ένα bottom-up μοντέλο καταγραφής των τελικών χρήσεων καυσίμων,
- ένα top-down μακροοικονομικό μοντέλο.

Τα bottom-up μοντέλα περιγράφουν τις τρέχουσες και μελλοντικές τεχνολογίες και είναι κατάλληλα για την ανάλυση επιμέρους αλλαγών στην τεχνολογία ή των εφαρμοζόμενων πολιτικών. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μοντέλων αυτών είναι ότι αποτυγχάνουν να λάβουν υπόψη στρεβλώσεις σε τιμές και επιδράσεις στα εισοδήματα. Τα top-down μοντέλα εξετάζουν την ευρύτερη οικονομία και ενσωματώνουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αγορών που οφείλονται σε αλλαγές τις οποίες προκαλούν οι διάφορες πολιτικές. Συνήθως δεν περιέχουν τεχνολογικές λεπτομέρειες του τρόπου παραγωγής ή μετατροπής της ενέργειας (Böhringer and Rutherford, 2007).

4.3 Μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών με τη χρήση του λογισμικού LEAP

Στην παρούσα διατριβή μοντελοποιήσαμε τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και δομήσαμε σενάρια διεξόδου των υφιστάμενων και των υπό ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών έως το 2050, με στόχο την αξιολόγηση των αντίστοιχων ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια.

Θεωρήσαμε έτος αναφοράς το 2010 λόγω πληρότητας στοιχείων. Το έτος 2010 στην Ελλάδα, ο στόλος των οχημάτων ήταν συνολικά 6.243.235, από τα οποία 5.216.873 ελαφρά οχήματα (light duty vehicles - LDV), όπως στον Πίνακα 1 και 1.026.362 βαρέα οχήματα (heavy duty vehicles - HDV), όπως στον Πίνακα 2. Οι ετήσιες νέες πωλήσεις για την χρονιά εκείνη αντιστοιχούσαν σε 141.501 για τα νέα ελαφρά οχήματα και 11.938 για τα νέα βαρέα οχήματα (Emisia, 2013).

Ο σημερινός στόλος ελαφρών οχημάτων αποτελείται από οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσεως καθώς και υβριδικά οχήματα που χρησιμοποιούν είτε βενζίνη είτε ντίζελ με μείγμα βιοντίζελ έως 7%. Επίσης, ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των οχημάτων με αεριοκίνηση, αρχικά με LPG και αργότερα με CNG. Η συντριπτική πλειοψηφία των ελαφρών οχημάτων (99,8%) χρησιμοποιεί βενζίνη, ενώ τα βαρέα οχήματα χρησιμοποιούν μόνο ντίζελ κίνησης με μίγμα βιοντίζελ. Ο στόλος των οχημάτων που χρησιμοποιούν βιοντίζελ αντιστοιχεί στο 7% των συνολικών οχημάτων ντίζελ.

Πίνακας 1.

Δεδομένα για τον στόλο ελαφρών οχημάτων

Στόλος οχημάτων		Στόλος (2010)	Πωλήσεις (2010)	Κατανάλωση καυσίμου (l/100km) gasoline eq.	Ετήσια χιλιομετρική απόσταση (km/yr)	
Ελαφρά		5,216,873	141,501			
ΜΕΚ	Βενζίνη	96.141%	95.134%	8,120	7,671	
	Ντίζελ	2.659%	3.595%	7,873	19,154	
Υβριδικά	Βενζίνη	0.868%	0.900%	4,420	7,671	
	Ντίζελ	0.000%	0.000%	4,546	7,671	
Ηλεκτρικά	Ηλεκτρισμός	0.000%	0.000%	3,200	1,000	
Κυψέλες καυσίμου	Υδρογόνο	0.000%	0.000%	4,540	1,000	
	Μεθανόλη	0.000%	0.000%	6,500	1,000	
	Βιομεθανόλη	0.000%	0.000%	6,500	1,000	
Βιοκαύσιμα	Βιοντίζελ	0.200%	0.271%	7,873	19,153	
	Βιοντίζελ 2ης γενιάς	0.000%	0.000%	7,873	10,000	
	Βιοντίζελ 3ης γενιάς	0.000%	0.000%	7,873	10,000	
	Βιοδιμεθυλαιθέρας	0.000%	0.000%	7,880	9,000	
	Βιοαιθανόλη	0.000%	0.000%	5,400	7,000	
	Βιοαιθανόλη 2ης γενιάς	0.000%	0.000%	5,400	7,000	
	Αέριο	CNG	0.000%	0.000%	9,120	7,000
		LPG	0.132%	0.100%	7,880	11,554
Βιοαέριο		0.000%	0.000%	9,120	7,000	

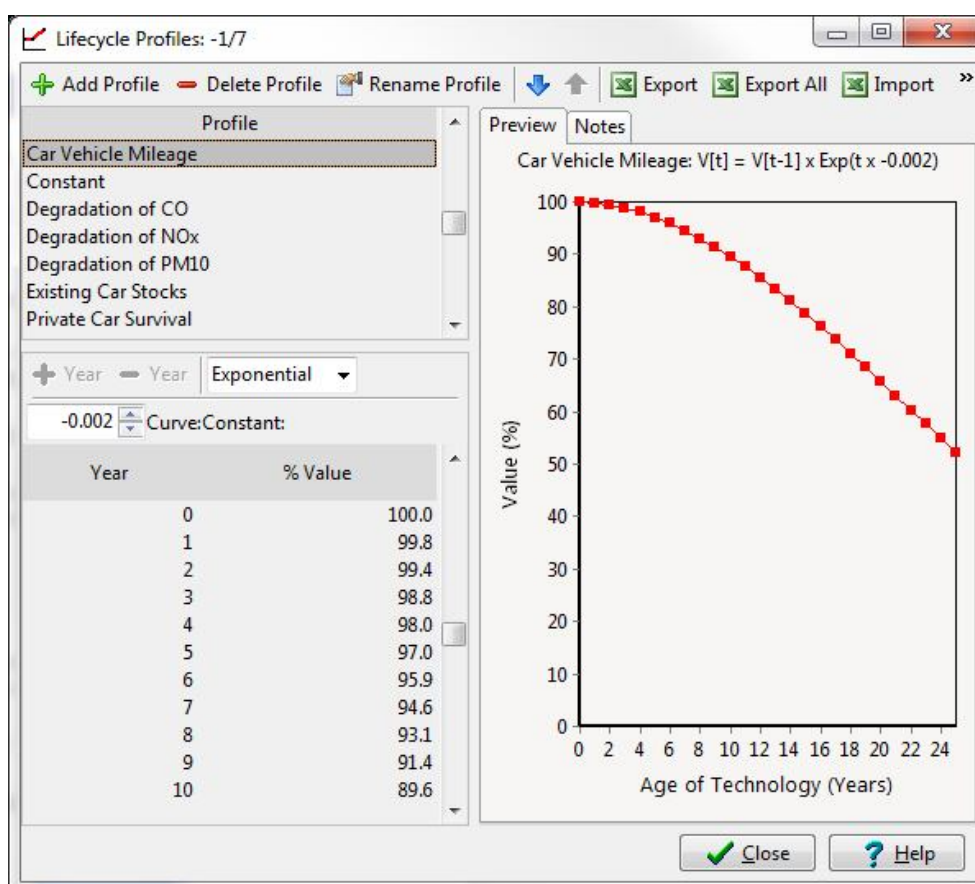
Πίνακας 2.

Δεδομένα για τον στόλο βαρέων οχημάτων

Στόλος οχημάτων		Στόλος (2010)	Πωλήσεις (2010)	Κατανάλωση καυσίμου (l/100km) gasoline eq.	Ετήσια χιλιομετρική απόσταση (km/yr)
Βαρέα		1,026,362	11,938		
ΜΕΚ	Βενζίνη	54.460%	62.780%	15,070	15,177
	Ντίζελ	42.352%	34.615%	20,138	26,128
Βιοκαύσιμα	Βιοντίζελ	3.188%	2.605%	20,138	26,128
	Βιοντίζελ 2ης γενιάς	0.000%	0.000%	20,138	10,000
	Βιοντίζελ 3ης γενιάς	0.000%	0.000%	20,138	10,000
	Βιοδιμεθυλαιθέρας	0.000%	0.000%	7,880	9,000
	Βιοαιθανόλη	0.000%	0.000%	10,127	15,000
	Βιοαιθανόλη 2ης γενιάς	0.000%	0.000%	10,127	7,000
Αέριο	CNG	0.000%	0.000%	9,120	7,000
	LPG	0.000%	0.000%	7,880	10,000
	Βιοαέριο	0.000%	0.000%	9,120	7,000

Η ηλικία του ελληνικού στόλου οχημάτων είναι μεγάλη, με μέσο όρο 15-20 ετών, συνεπώς η κατανάλωση καυσίμων είναι μη αποδοτική λόγω της παρωχημένης τεχνολογίας κινητήρων. Η μέση ετήσια χιλιομετρική απόσταση που διανύει κάθε όχημα μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία του οχήματος (Σχήμα 4.5) και αποτελεί μία επίσης πολύ σημαντική παράμετρο για τον υπολογισμό των αντίστοιχων εκπομπών ρύπων (Ntziachristos et al., 2008).

Σε μία έκθεση για το ελληνικό σύστημα μεταφορών (Ecorys, 2006), συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει: α) υψηλός βαθμός εξάρτησης από τις οδικές μεταφορές, β) ανεπάρκεια των υποδομών και εγκαταστάσεων για συνδυασμένες μεταφορές, γ) μια υποτίμηση του κόστους για την κατασκευή των οδικών υποδομών και δ) δύσκολη μορφολογία για να εγκατασταθεί ένα εκτεταμένο σιδηροδρομικό δίκτυο.



Σχήμα 4.5 Καμπύλη μείωσης μέσης ετήσιας χιλιομετρικής απόστασης που διανύεται

Στην Ελλάδα, ο στόλος των επιβατικών οχημάτων κυριαρχείται από οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης κυβισμού έως 1,4 lt. Το ποσοστό των μεγάλου κυβισμού (>2,0 lt) και των ντίζελ επιβατικών οχημάτων είναι πολύ μικρό. Τα μεγάλου κυβισμού βενζινοκίνητα οχήματα είναι λιγότερα από το 2% του συνολικού στόλου, εξαιτίας των υψηλών φόρων αγοράς για τη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων. Τα επιβατικά οχήματα ντίζελ είχαν απαγορευτεί έως το 2010, για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος από τις δύο μεγάλες πόλεις (Αθήνα και Θεσσαλονίκη). Ως εκ τούτου, ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων ντίζελ περιορίζεται σε λιγότερο από 100 χιλιάδες, που αντιστοιχεί αποκλειστικά και μόνο σε ταξί (Ntziachristos et al., 2008).

Τα κύρια δεδομένα εισόδου του μοντέλου LEAP για τον τομέα οδικών μεταφορών στην Ελλάδα, είναι: ο στόλος οχημάτων και οι πωλήσεις νέων οχημάτων, για όλα τα υπό εξέταση καύσιμα και τεχνολογίες κίνησης. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα διάρκειας κύκλου ζωής και μέσης ετήσιας χιλιομετρικής απόστασης που διανύεται, για κάθε τύπο οχήματος και καυσίμου. Ως «στόλος οχημάτων» ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων σε κυκλοφορία σε μια συγκεκριμένη χρονιά (οχήματα σε κυκλοφορία προηγούμενων χρόνων συν τις πωλήσεις των νέων οχημάτων της τρέχουσας χρονιάς μείον τις αποσύρσεις των οχημάτων τρέχουσας χρονιάς). Ως «πωλήσεις νέων οχημάτων» ορίζεται ο αριθμός των οχημάτων που προστέθηκαν στον υφιστάμενο στόλο σε μια συγκεκριμένη χρονιά (οχήματα πρώτης κυκλοφορίας και εισαγόμενα μεταχειρισμένα), σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του λογισμικού LEAP (Stockholm Environment Institute, 2011).

Τα διάφορα σενάρια αξιολόγησης των υφιστάμενων και εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών με το προτεινόμενο μοντέλο LEAP, αναπτύσσονται στο επόμενο κεφάλαιο. Το μοντέλο αξιολογεί δύο κύριες επιπτώσεις του τομέα των οδικών μεταφορών της χώρας: α) την κατανάλωση ενέργειας και β) τις εκπομπές CO₂. Ως «κατανάλωση ενέργειας» ορίζεται το γινόμενο του στόλου οχημάτων σε μία συγκεκριμένη χρονιά επί τη μέση ετήσια διανυόμενη χιλιομετρική απόσταση κάθε τύπου οχήματος επί την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου επί τον συντελεστή ενέργειας που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο καύσιμο. Ως «εκπομπές CO₂» ορίζεται το γινόμενο της αντίστοιχης κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο οχήματος επί τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπών CO₂ διορθωμένο ανάλογα με τη καμπύλη ζωής του οχήματος (Σχήμα 4.5).

Κεφάλαιο 5. Ανάλυση των σεναρίων διεξόδου νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα

Με την ανάλυση των διαφόρων σεναρίων διεξόδου νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών της Ελλάδος αξιολογούνται οι επιπτώσεις που θα έχουν το 2050:

- α) στον στόλο των οχημάτων,
- β) στις πωλήσεις των νέων οχημάτων,
- γ) στην κατανάλωση ενέργειας και
- δ) στις εκπομπές CO₂.

Η μοντελοποίηση γίνεται με το λογισμικό LEAP και περιλαμβάνει το σύνολο του στόλου ελαφρών και βαρέων οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα. Αρχικά, το σενάριο αναφοράς προσομοιώνει την παρούσα τάση εξέλιξης, ώστε να υπολογισθεί η προβολή στο μέλλον (2050) των καυσίμων και των αντίστοιχων εκπομπών τους, χωρίς την εφαρμογή νέων πολιτικών και μέτρων (σε σχέση με τις υφιστάμενες πολιτικές του 2010). Ακολούθως, σχεδιάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια με διαφορετικό βαθμό διεξόδου νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον στόλο των οχημάτων, αναλύονται ως προς την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂ ενώ συγκρίνονται τόσο με το σενάριο αναφοράς όσο και μεταξύ τους. Τέλος, μελετάται η τυχόν μακροχρόνια έλλειψη διαθεσιμότητας ή περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας πρωτογενών καυσίμων (αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας) και οι επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Ως διαθεσιμότητα πρωτογενών καυσίμων θεωρούμε την εγχώρια παραγωγή τους, ενώ ως δυνατότητα προμήθειας θεωρούμε τις εισαγωγές από το εξωτερικό.

5.1 Το σενάριο αναφοράς

Το σενάριο αναφοράς βασίζεται:

- α) Στο σενάριο αναφοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον τομέα των μεταφορών που περιλαμβάνει όλους τους δεσμευτικούς στόχους που ορίζονται στη νομοθεσία της Ε.Ε. σχετικά με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και την πιο πρόσφατη νομοθεσία για την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης (EC, 2014).

β) Στο σενάριο "Υφιστάμενων Πολιτικών" όπως παρουσιάζεται στον Οδικό Χάρτη για το 2050 του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (ΥΠΕΚΑ, 2012).

Για το 2050, στο σενάριο αναφοράς θεωρούμε ότι (Πίνακας 5.1):

α) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα ελαφρά οχήματα είναι: 52% συμβατικά οχήματα με MEK (ICE), 24% υβριδικά (hybrid), 3% ηλεκτρικά (EV), 1% κυψελών καυσίμου (FC), 9% βιοκαύσιμα (biofuels) και 11% αερίου (gas).

β) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα βαρέα οχήματα είναι: 91% συμβατικά οχήματα με MEK, 7% βιοκαύσιμα και 2% αερίου.

Οι οδικές μεταφορές αναμένεται να διατηρήσουν τον κυρίαρχο ρόλο τους στον τομέα των επιβατικών μεταφορών (ελαφρά οχήματα) μέχρι το 2050, με τις εμπορευματικές μεταφορές (βαρέα οχήματα) να αυξάνονται με υψηλότερους ρυθμούς από ότι των επιβατικών μεταφορών. Για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα οι προβλέψεις δείχνουν μια ετήσια αύξηση 0,6% για τις επιβατικές μεταφορές για το χρονικό διάστημα 2010-2050, ενώ η συνολική δραστηριότητα των εμπορευματικών μεταφορών θα αυξάνεται ετησίως κατά 1,1%.

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης προσφέρει μια εξαιρετική ευκαιρία για την μείωση των αερίων θερμοκηπίου στον τομέα των μεταφορών. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα νέας τεχνολογίας ελαφρά οχήματα μπορεί να μειωθούν έως και 50% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με τα σημερινά οχήματα, υποθέτοντας ότι συνεχίζονται οι τεχνολογικές εξελίξεις και υποστηρίζονται από ισχυρές πολιτικές για να εξασφαλιστεί η μείωση του καυσίμου και όχι η αυξημένη ιπποδύναμη ή μάζα του οχήματος. Το βάρος των ελαφρών οχημάτων θα μπορούσε να μειωθεί κατά 20-30% εάν υποκατασταθούν τα υφιστάμενα υλικά κατασκευής τους σε συνδυασμό με προηγμένες μεθόδους σχεδιασμού (Ribeiro et al., 2007). Οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση ισχύουν τόσο για τα ελαφρά όσο και για τα βαρέα οχήματα και αντιστοιχούν σε μια οικονομία καυσίμου ~10%.

Το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να φτάσει περίπου το 8% στην κατηγορία των ελαφρών οχημάτων μέχρι το 2050. Τα βαρέα οχήματα προσφέρουν μια πρώτης τάξεως ευκαιρία για τη χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου, καθώς μπορούν να δώσουν πολύ σύντομες περιόδους απόσβεσης των αντίστοιχων επενδύσεων, κυρίως λόγω της υψηλής διανυόμενης ετήσιας χλιομετρικής απόστασης και της υψηλής ενεργειακής απόδοσης καυσίμου. Επίσης, τα ελαφρά οχήματα που επιστρέφουν σε ένα κεντρικό κόμβο ανεφοδιασμού φυσικού αερίου (π.χ. στόλοι ταξί),

εκμεταλλεύονται τόσο τα οφέλη του υψηλού βαθμού χρησιμοποίησης των υποδομών όσο και τη θετική απόδοση των αντίστοιχων επενδύσεων (Nath και Adams, 2013).

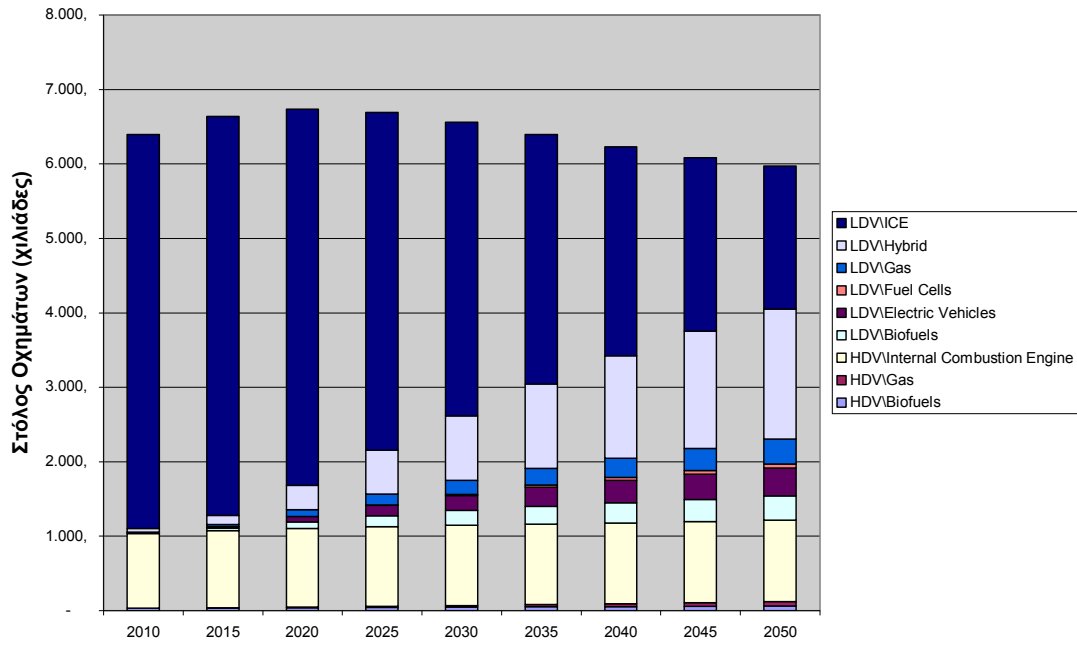
5.1.1 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στον στόλο οχημάτων

Το σενάριο αναφοράς που χρησιμοποιείται στη μελέτη μας θεωρεί ότι στον συνολικό στόλο του τομέα των οδικών μεταφορών κατά το έτος 2050, περιλαμβάνεται μια ποικιλία καυσίμων και τεχνολογιών για τα ελαφρά και βαρέα οχήματα. Ο στόλος των ελαφρών οχημάτων αποτελείται σε ποσοστό από 41% συμβατικά οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK), 36% υβριδικά οχήματα, 8% ηλεκτρικά οχήματα (electric vehicles - EV), 1% οχήματα κυψελών καυσίμου (fuel cell vehicles - FCV), 7% βιοκαύσιμα και 7% οχήματα με αεριοκίνηση. Στην κατηγορία των βαρέων οχημάτων, το 90% είναι οχήματα με MEK, το 5% με βιοκαύσιμα και 5% με αεριοκίνηση.

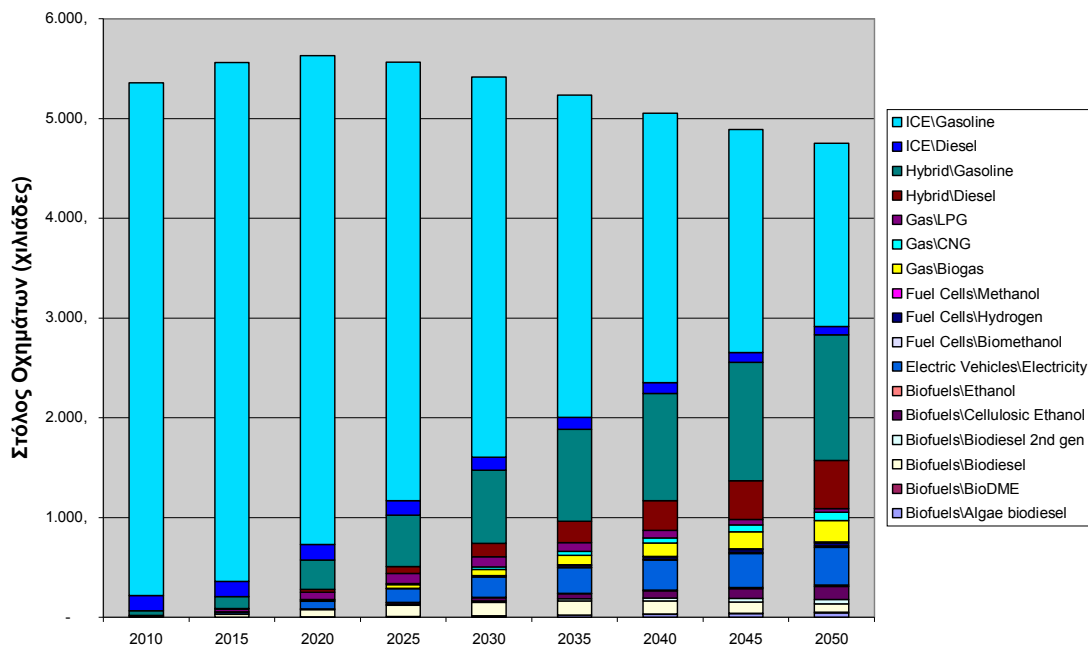
Για το χρονικό διάστημα 2010-2050, ο στόλος των οχημάτων που χρησιμοποιείται στο σενάριο αναφοράς παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Στο σενάριο αναφοράς ο στόλος των οχημάτων στην Ελλάδα μειώνεται από 6,4 εκατομμύρια το 2010 στα 6 εκατομμύρια το 2050. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των ελαφρών οχημάτων μειώνεται σημαντικά από 5,4 εκατομμύρια οχήματα το 2010 σε 4,8 οχήματα το 2050 (Σχήμα 5.2), ενώ ο αριθμός των βαρέων οχημάτων αυξάνεται περίπου από 1 εκατομμύριο το 2010 σε 1,2 εκατομμύρια οχήματα το 2050 (Σχήμα 5.3).

Πίνακας 5.1 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας των οχημάτων ανά τεχνολογία το 2050 για όλα τα σενάρια

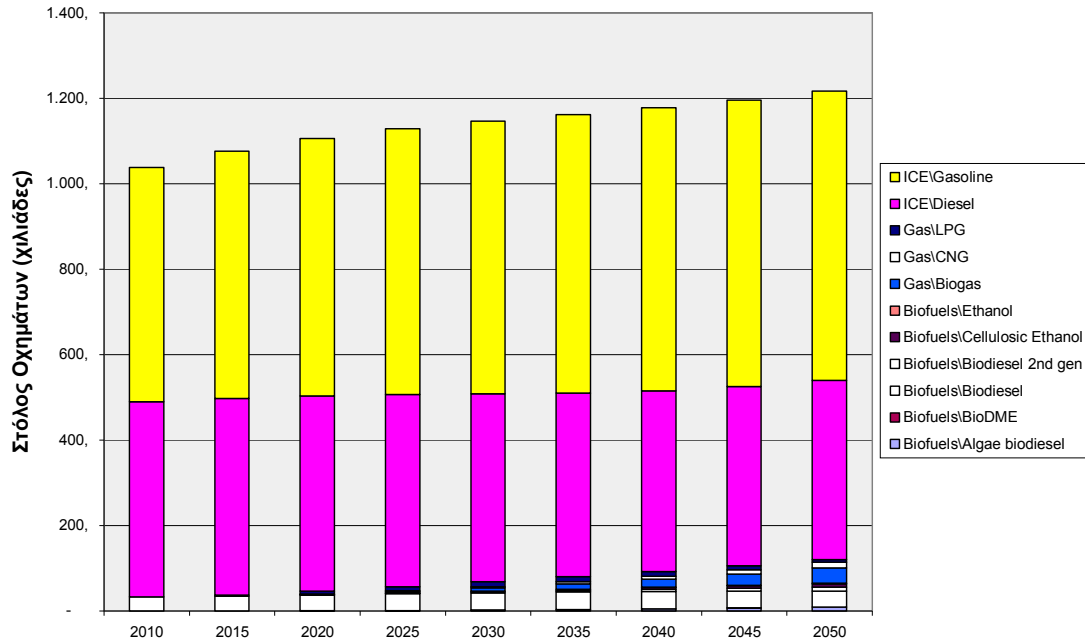
Σενάριο	Ελαφρά οχήματα						Βαρέα οχήματα		
	MEK	υβριδικά	ηλεκτρικά	κυψελών καυσίμου	βιοκαύσιμα	αερίου	MEK	βιοκαύσιμα	αερίου
αναφοράς	52%	24%	3%	1%	9%	11%	91%	7%	2%
1	53%	9%	13%	1%	13%	11%	68%	30%	2%
2	53%	6%	13%	1%	13%	14%	66%	30%	4%



Σχήμα 5.1 Στόλος των οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



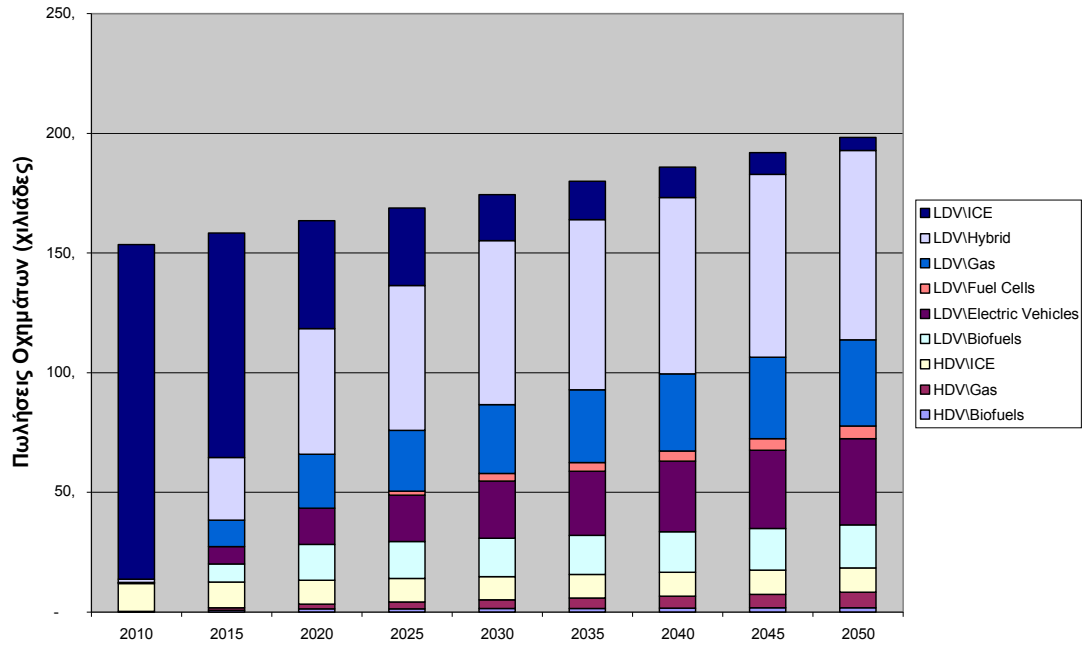
Σχήμα 5.2 Στόλος των ελαφρών οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



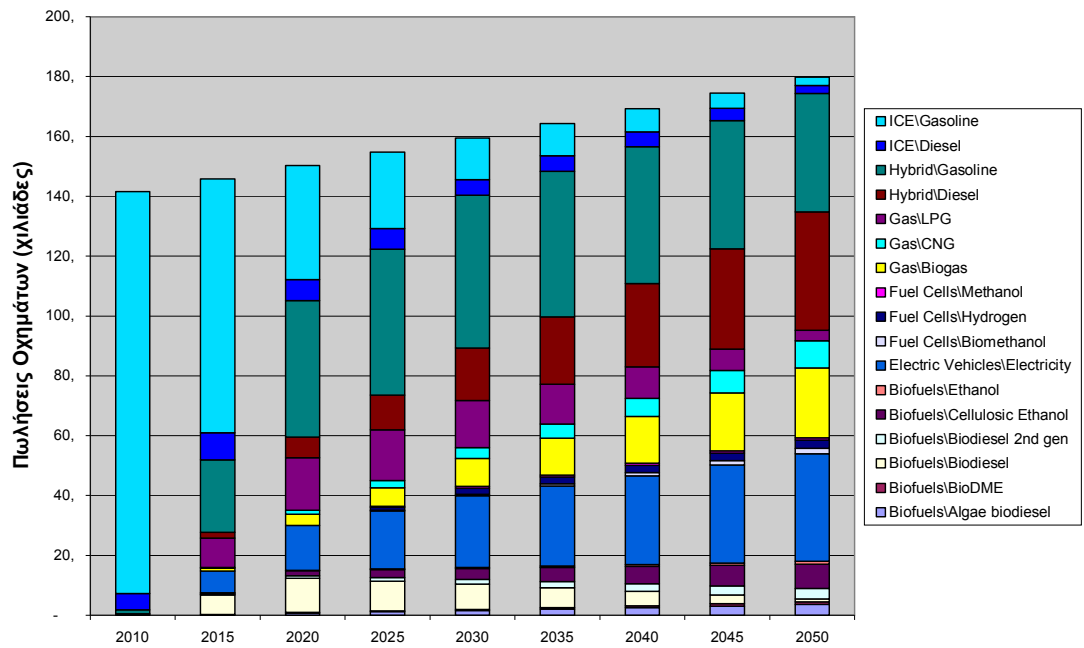
Σχήμα 5.3 Στόλος των βαρέων οχημάτων στο σενάριο αναφοράς

5.1.2 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στις πωλήσεις νέων οχημάτων

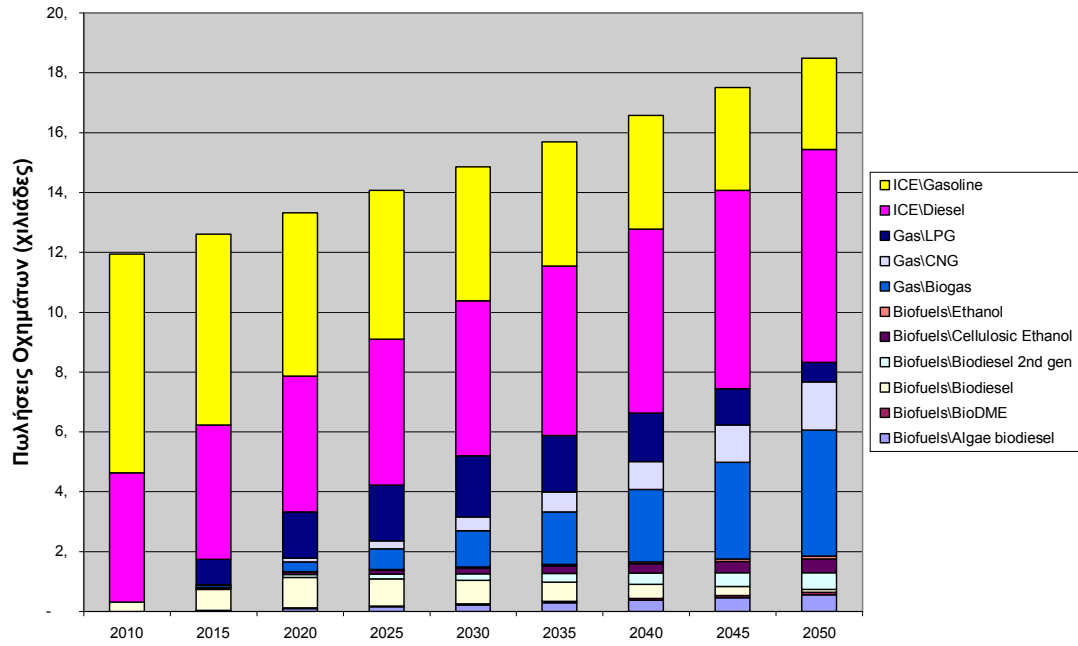
Η εξέλιξη των πωλήσεων νέων οχημάτων για το σενάριο αναφοράς, έως το 2050 εικονίζονται στο Σχήμα 5.4. Οι αντίστοιχες πωλήσεις των ελαφρών οχημάτων για το σενάριο αναφοράς φαίνονται στο Σχήμα 5.5. Το 2050, τα υβριδικά οχήματα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 50% των πωλήσεων στα ελαφριά οχήματα, ενώ τα συμβατικά οχήματα με MEK λιγότερο από το 5%. Οι αντίστοιχες πωλήσεις των βαρέων οχημάτων για το σενάριο αναφοράς φαίνεται στο Σχήμα 5.6. Στο σχήμα 5.7 εικονίζεται η απόσυρση παλαιών οχημάτων ανά τύπο καυσίμου και τεχνολογίας, σύμφωνα με την καμπύλη διάρκειας ζωής κάθε οχήματος.



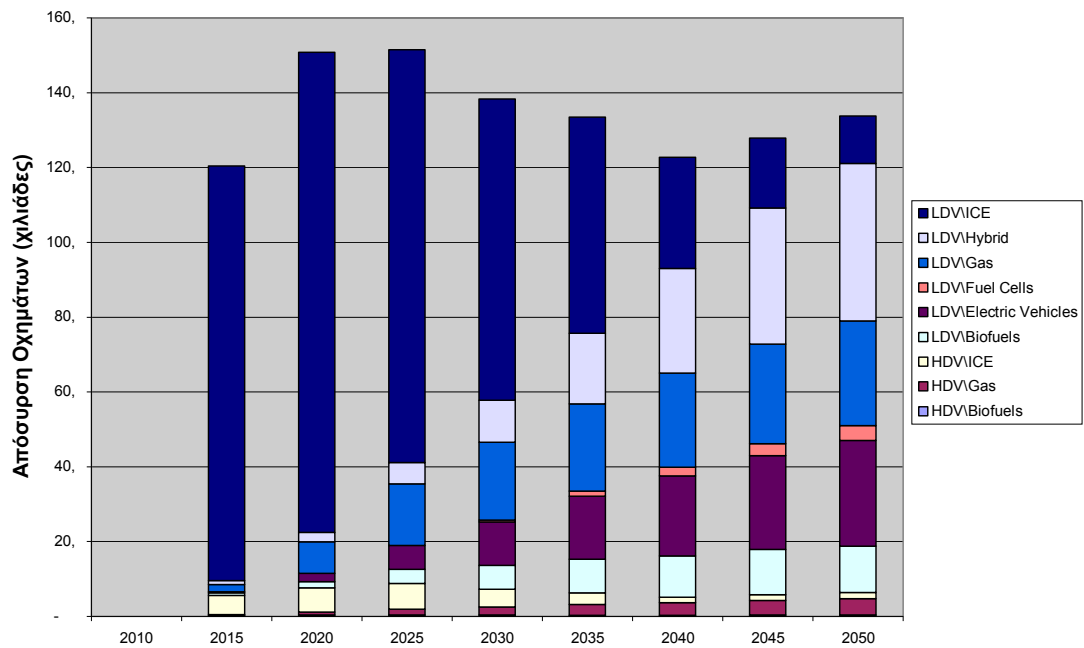
Σχήμα 5.4 Πωλήσεις οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



Σχήμα 5.5 Πωλήσεις ελαφρών οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



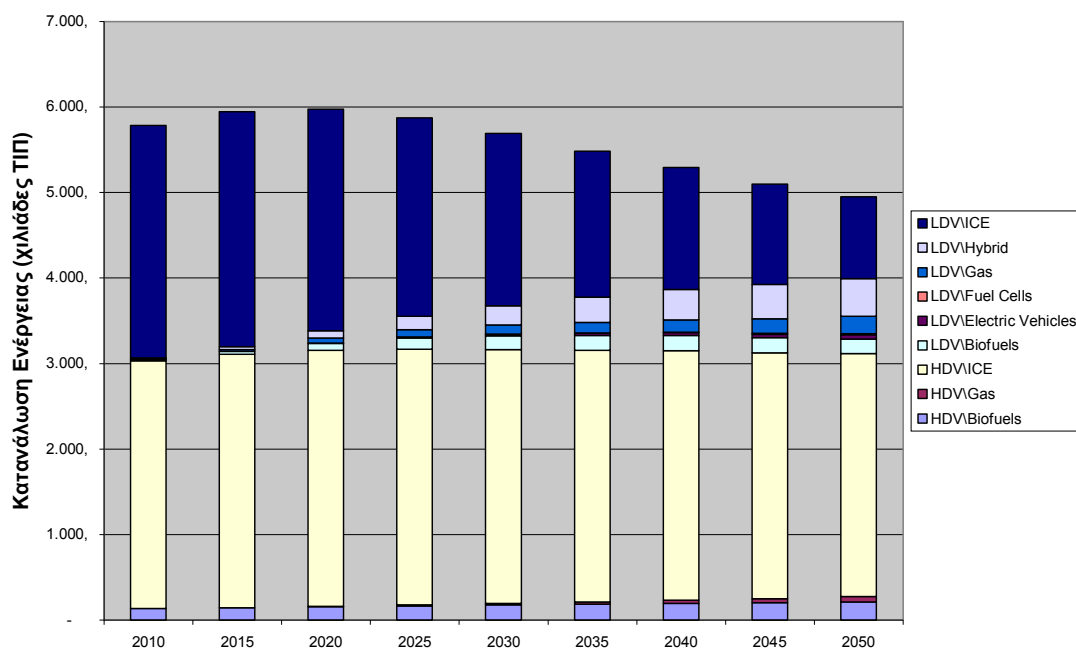
Σχήμα 5.6 Πωλήσεις βαρέων οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



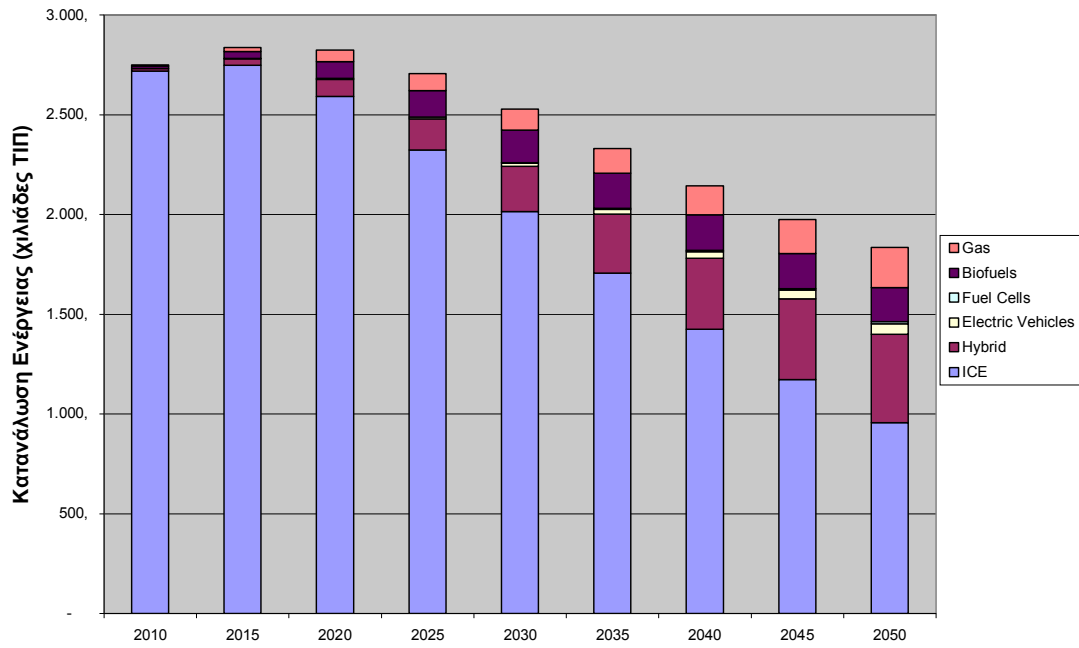
Σχήμα 5.7 Απόσυρση παλαιών οχημάτων στο σενάριο αναφοράς

5.1.3 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στην κατανάλωση ενέργειας

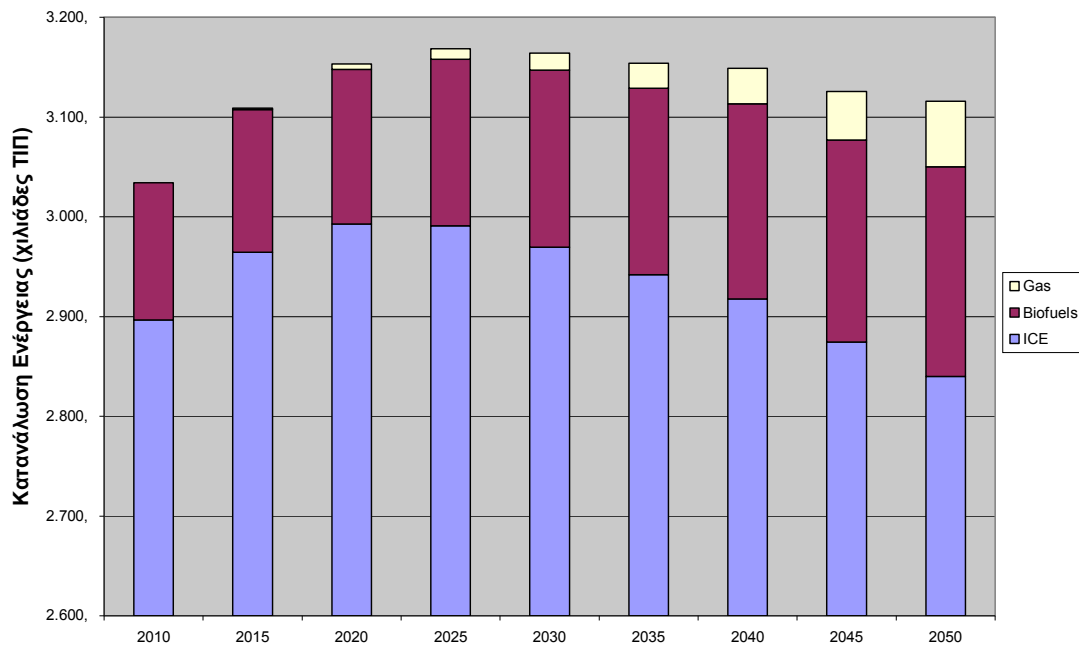
Παρά τις προβλεπόμενες ανοδικές τάσεις στις μεταφορικές δραστηριότητες για τις πρώτες δεκαετίες μετά το 2010, η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιείται το 2050 σε χαμηλότερα επίπεδα, μειωμένη κατά 14% σε σύγκριση με το έτος αναφοράς από 5.784 ktoe σε 4.950 ktoe (Σχήμα 5.8). Η κατανάλωσης ενέργειας για τα ελαφρά οχήματα είναι σημαντικά μειωμένη κατά 33% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 2.750 ktoe σε 1.834 ktoe (Σχήμα 5.9), ενώ για τα βαρέα οχήματα δείχνει μια οριακή αύξηση μέχρι το 2050 από 3.034 ktoe σε 3.116 ktoe (Σχήμα 5.10).



Σχήμα 5.8 Κατανάλωση ενέργειας στόλου οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



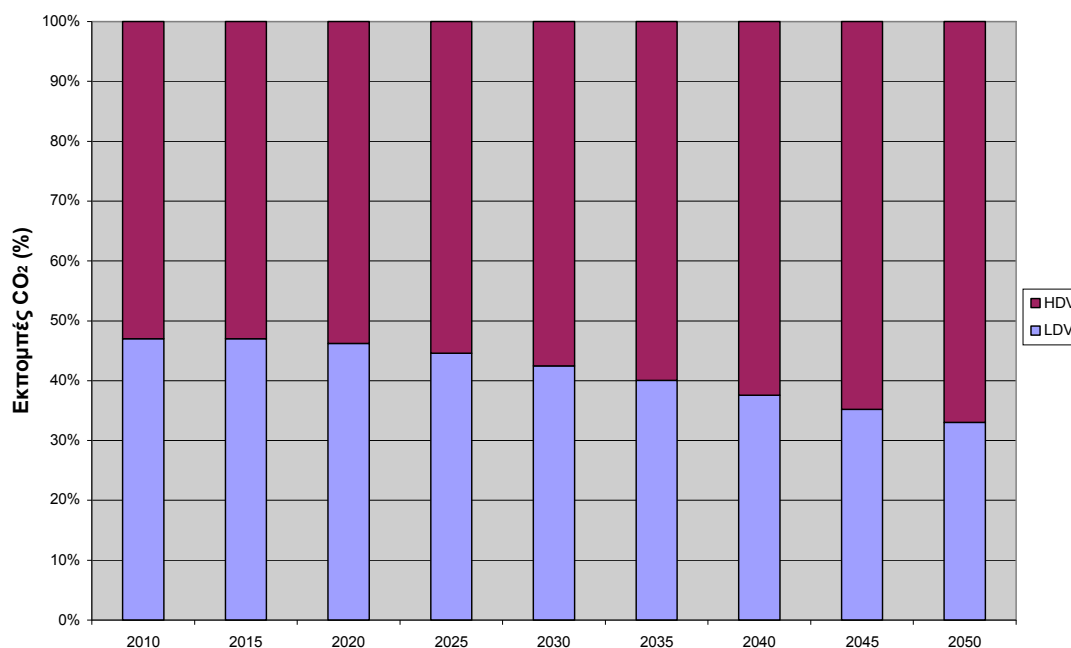
Σχήμα 5.9 Κατανάλωση ενέργειας στόλου ελαφρών οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



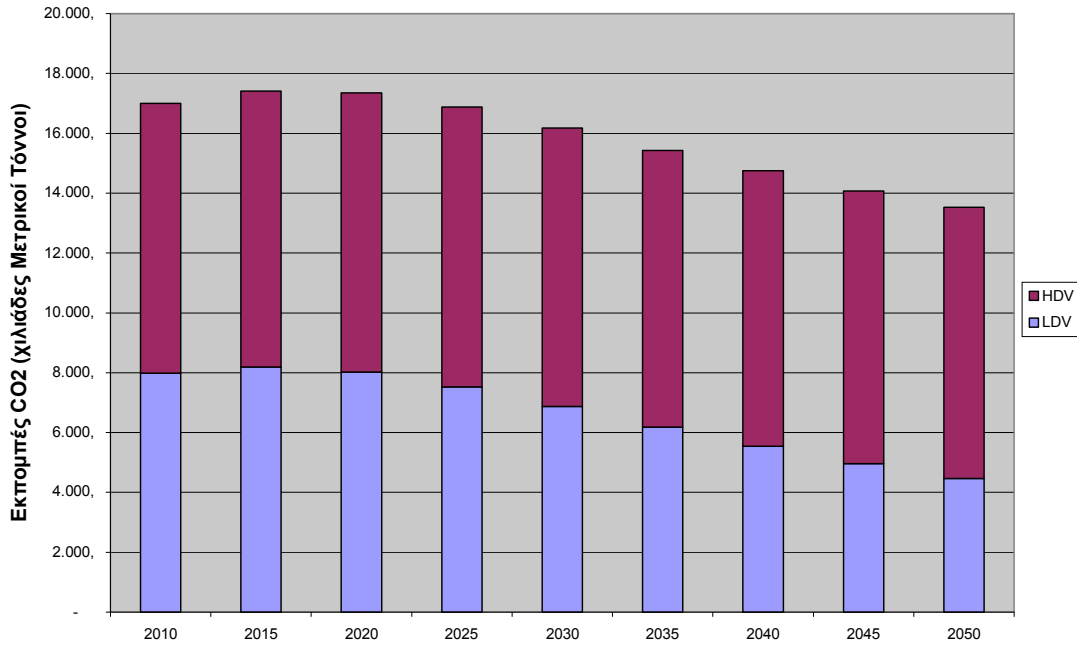
Σχήμα 5.10 Κατανάλωση ενέργειας στόλου βαρέων οχημάτων στο σενάριο αναφοράς

5.1.4 Επιπτώσεις του σεναρίου αναφοράς στις εκπομπές CO₂

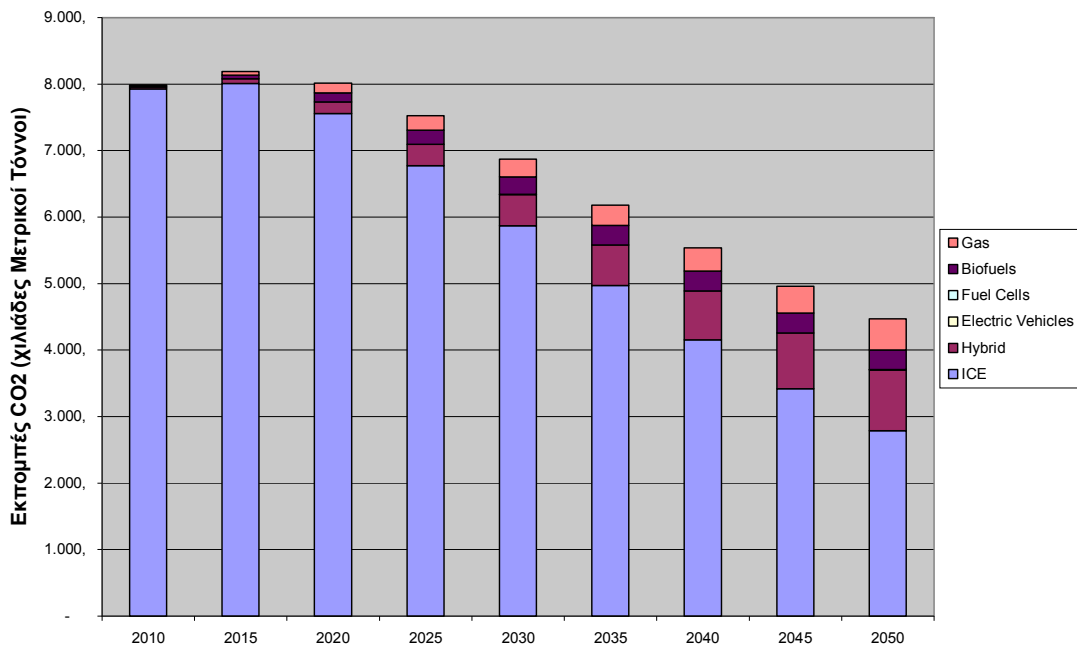
Παρόλο που ο στόλος των βαρέων οχημάτων αντιστοιχεί σε λιγότερο από το ένα έκτο του συνολικού στόλου το 2050 (Σχήμα 5.1), οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 65% του συνόλου των εκπομπών (Σχήμα 5.11). Οι εκπομπές CO₂ για το σενάριο αναφοράς στη χρονική περίοδο 2010-2050, εικονίζονται στο Σχήμα 5.12. Οι εκπομπές CO₂ είναι μειωμένες κατά 21% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 16.995 ktons CO₂ σε 13.524 ktons CO₂. Ιδιαίτερα για τα ελαφρά οχήματα η μείωση των εκπομπών CO₂ είναι σημαντική (Σχήμα 5.13), ενώ για τα βαρέα οχήματα δεν παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ για τις χρονιές 2010 και 2050 (Σχήμα 5.14).



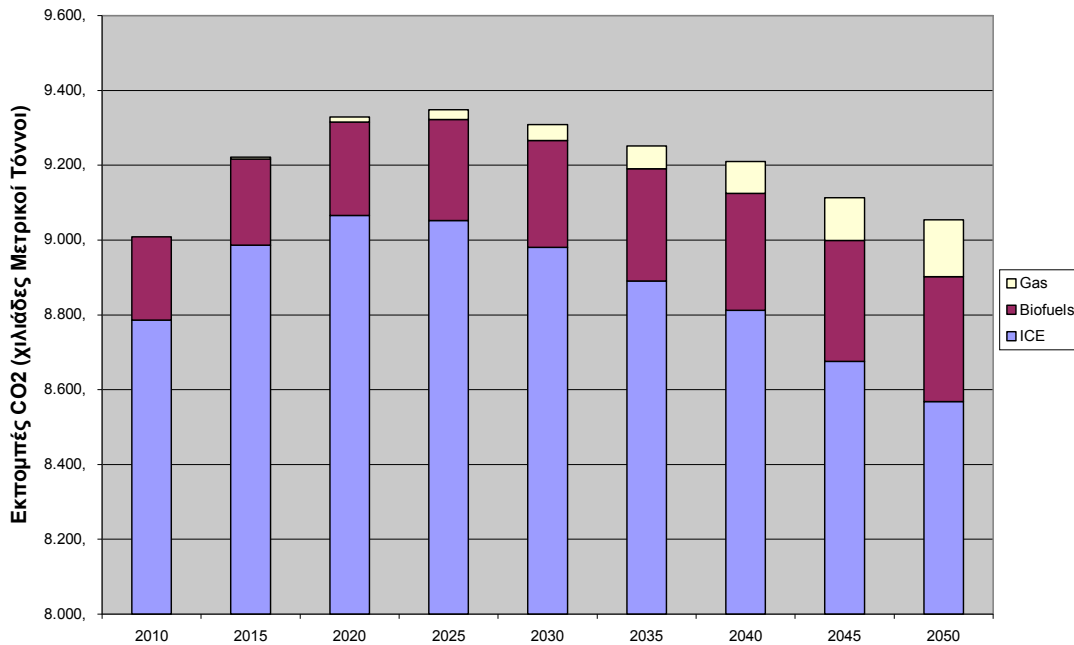
Σχήμα 5.11 Ποσοστό εκπομπών CO₂ στόλου οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



Σχήμα 5.12 Εκπομπές CO₂ στόλου οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



Σχήμα 5.13 Εκπομπές CO₂ στόλου ελαφρών οχημάτων στο σενάριο αναφοράς



Σχήμα 5.14 Εκπομπές CO₂ στόλου βαρέων οχημάτων στο σενάριο αναφοράς

5.2 Ανάλυση σεναρίων του τομέα οδικών μεταφορών

Τα σεναρία που χρησιμοποιήσαμε καλύπτουν το χρονικό διάστημα 2010-2050 με το 2010 ως έτος αναφοράς. Για την εκπόνηση της διατριβής δημιουργήσαμε δύο εναλλακτικά σεναρία για το έτος 2050 χρησιμοποιώντας το μοντέλο LEAP, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1. Και τα δύο εναλλακτικά σεναρία είναι βασισμένα στη δομή και δεδομένα του σεναρίου αναφοράς.

Για το σενάριο 1 θεωρούμε αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και των βιοκαυσίμων με ταυτόχρονη σημαντική μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων (βενζίνης και ντίζελ), σύμφωνα με τις τάσεις που περιγράφονται στον Οδικό Χάρτη για το 2050 του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (ΥΠΕΚΑ, 2012). Για το σενάριο 2 θεωρούμε αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, των βιοκαυσίμων και της αεριοκίνησης, σύμφωνα με τις τάσεις που περιγράφονται στον Οδικό Χάρτη Ενέργειας της ΕΕ για το 2050 (EU, 2011a).

Στο σενάριο 1 για τη χρονιά 2050 έχουμε σε σχέση με το σενάριο αναφοράς ότι:

- η κατανάλωση ενέργειας που αντιστοιχεί στα συμβατικά καύσιμα (συνολικά για MEK και υβριδικά) για τα ελαφρά οχήματα μειώνεται από 76% σε 62%, ενώ για τα βαρέα οχήματα η μείωση είναι από 91% σε 68%.

- β) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα αυξάνεται από 3% σε 13%. Πρόκειται για το μέγιστο δυνατό ποσοστό διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων που επιτυγχάνεται στο μοντέλο LEAP που αναπτύξαμε, κυρίως λόγω των πολύ μικρού αριθμού οχημάτων κατά το έτος αναφοράς (2010).
- γ) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας που αντιστοιχεί σε βιοκαύσιμα για τα ελαφρά οχήματα αυξάνεται από 9% σε 13%, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό σενάριο για μεταφορές χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα (EU, 2011b).
- δ) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας που αντιστοιχεί σε βιοκαύσιμα για τα βαρέα οχήματα αυξάνεται σημαντικά από 7% σε 30%. Πρόκειται για το μέγιστο δυνατό ποσοστό διείσδυσης των βιοκαυσίμων που επιτυγχάνεται στο μοντέλο LEAP που αναπτύξαμε, κυρίως λόγω των πολύ μικρού αριθμού οχημάτων κατά το έτος αναφοράς (2010). Η συγκεκριμένη παραδοχή συνάδει με την πρόταση για βιοκαύσιμα έως 40% του Ευρωπαϊκού σεναρίου για μεταφορές χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα (EU, 2011b).
- ε) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα υβριδικά οχήματα μειώνεται από 24% σε 9%.

Στο σενάριο 2 για τη χρονιά 2050 έχουμε σε σχέση με το σενάριο αναφοράς ότι:

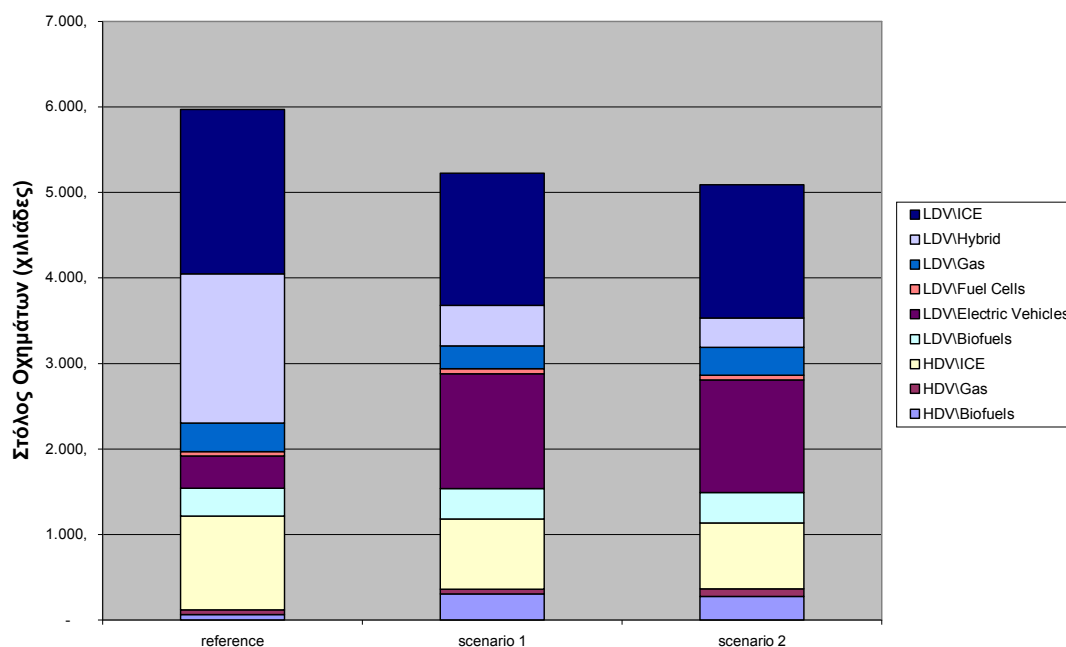
- α) η κατανάλωση ενέργειας που αντιστοιχεί στα συμβατικά καύσιμα (συνολικά για MEK και υβριδικά) για τα ελαφρά οχήματα μειώνεται από 76% σε 59%, ενώ για τα βαρέα οχήματα η μείωση είναι από 91% σε 66%.
- β) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα και για τα βιοκαύσιμα στα ελαφρά οχήματα είναι ίδιο με αυτό του σεναρίου 1.
- γ) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα αεριοκίνητα οχήματα αυξάνεται σε σχέση με το σενάριο 1 (EU, 2014). Για τα ελαφρά οχήματα η αεριοκίνηση αυξάνεται από 11% σε 14%, ενώ για τα βαρέα οχήματα η αύξηση είναι από 2% σε 4%. Πρόκειται για το μέγιστο δυνατό ποσοστό διείσδυσης των αεριοκίνητων οχημάτων που επιτυγχάνεται στο μοντέλο LEAP που αναπτύξαμε, κυρίως λόγω των πολύ μικρού αριθμού οχημάτων κατά το έτος αναφοράς (2010).
- δ) το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας για τα βιοκαύσιμα στα βαρέα οχήματα είναι ίδιο με αυτό του σεναρίου 1.

5.3 Αποτελέσματα σεναρίων διείσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα

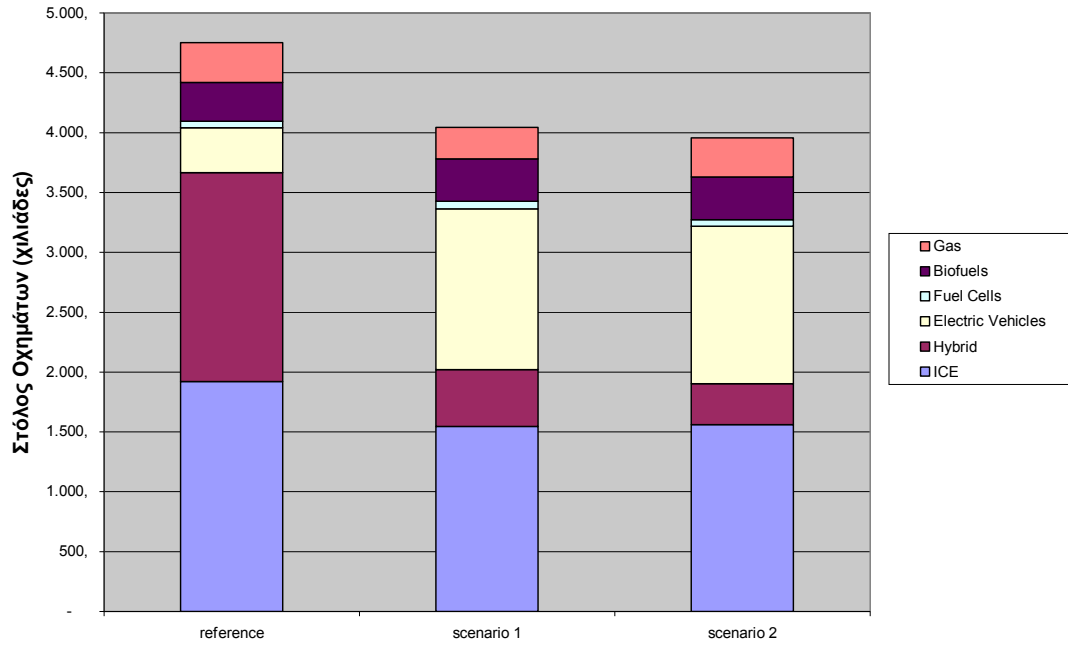
Εξετάζεται το σύνολο των υφιστάμενων και νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των μεταφορών, θεωρώντας πιθανή τη χρήση τους στο μελλοντικό μίγμα καυσίμων. Κατά τη μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα έως το 2050, εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια διείσδυσης καυσίμων και συγκρίνονται μεταξύ τους.

5.3.1 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στον στόλο οχημάτων

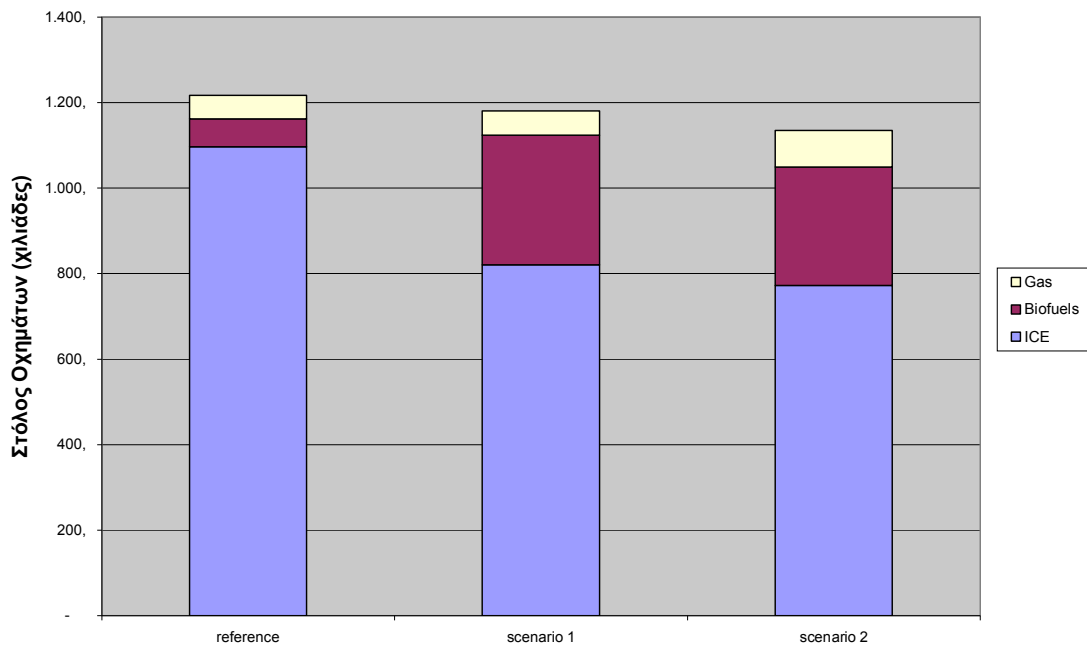
Η εξέλιξη του συνολικού στόλου των ελαφριών και βαρέων οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο Σχήμα 5.15. Και στα δύο σενάρια ο στόλος των οχημάτων μειώνεται σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, τόσο για τα ελαφριά οχήματα (Σχήμα 5.16) όσο και για τα βαρέα οχήματα (Σχήμα 5.17). Η ποσοστιαία σύνθεση του στόλου όλων των οχημάτων, για όλα τα σενάρια το 2050, εικονίζεται στο Σχήμα 5.18.



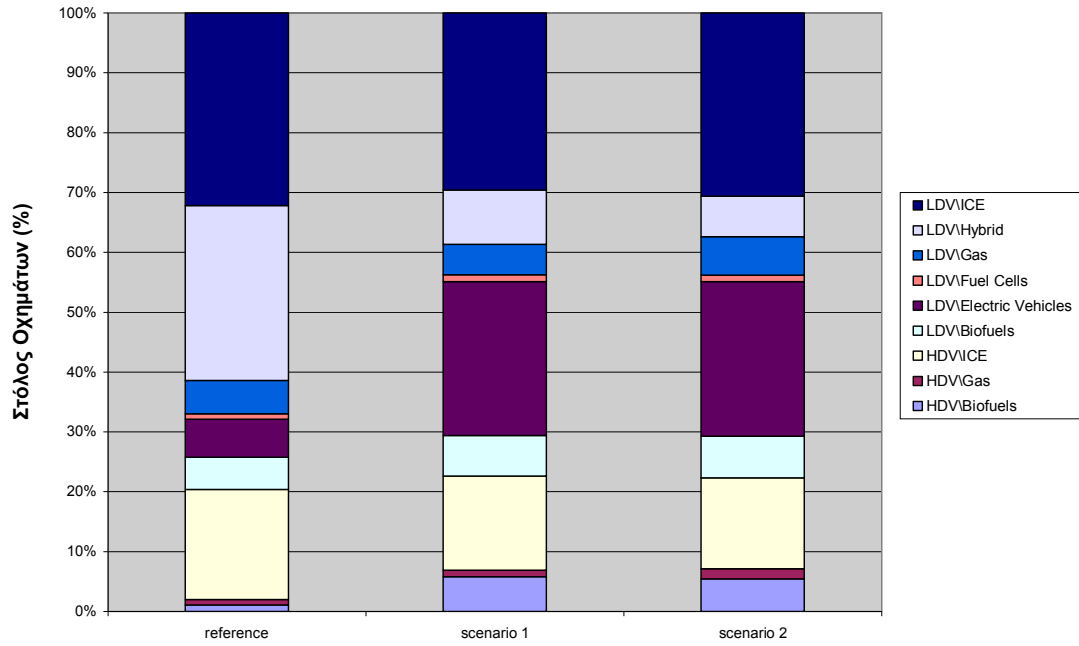
Σχήμα 5.15 Στόλος των οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050



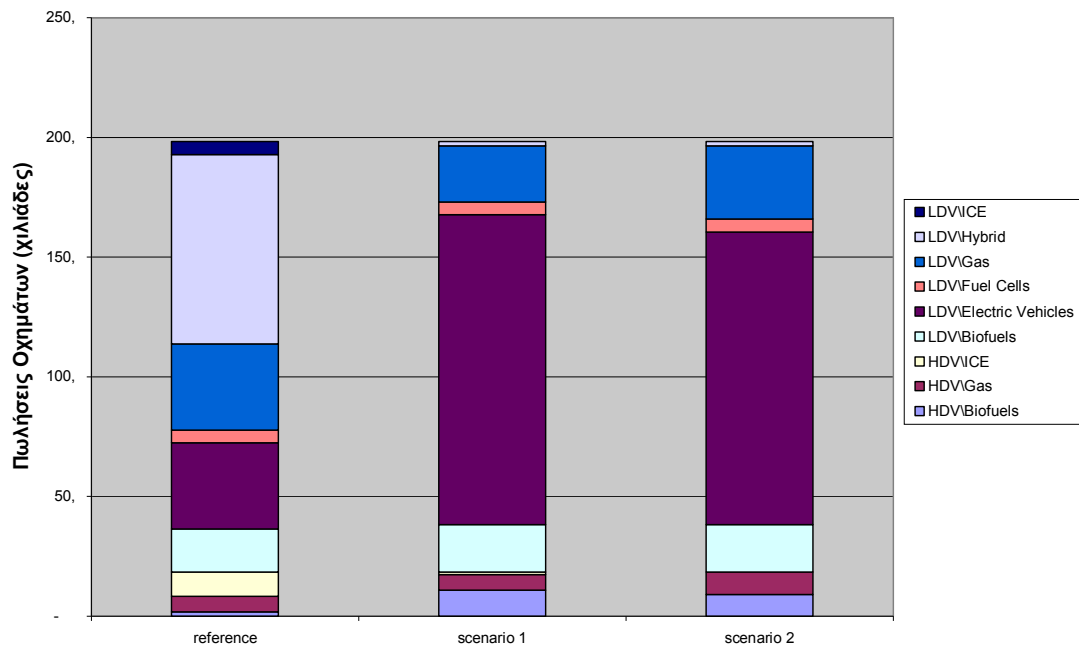
Σχήμα 5.16 Στόλος των ελαφρών οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050



Σχήμα 5.17 Στόλος των βαρέων οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050



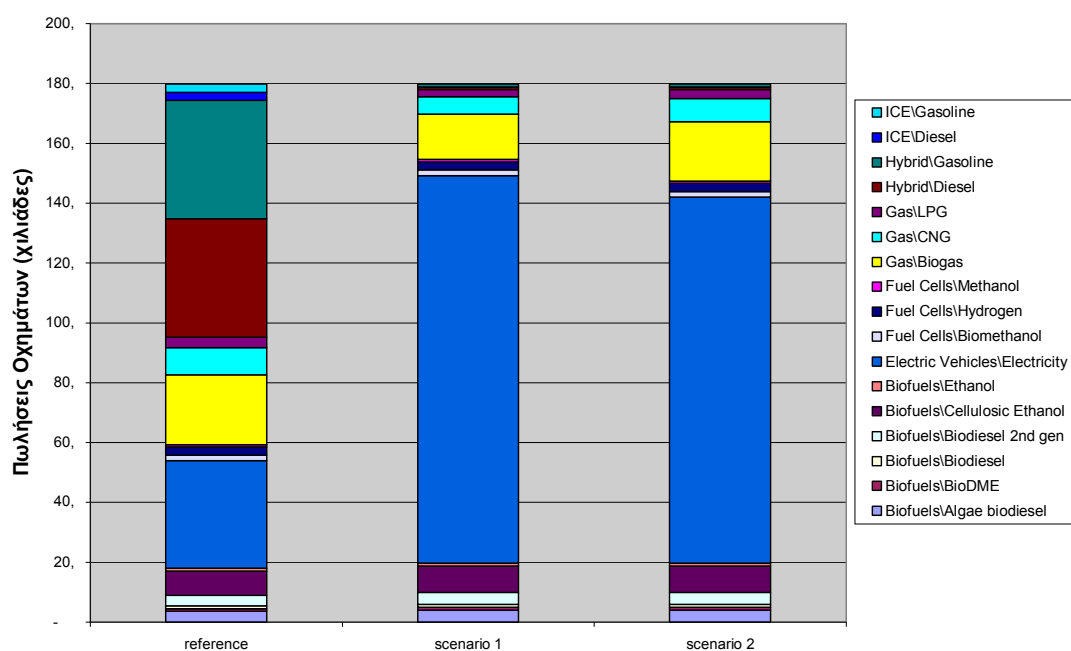
Σχήμα 5.18 Ποσοστιαία σύνθεση στόλου οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050



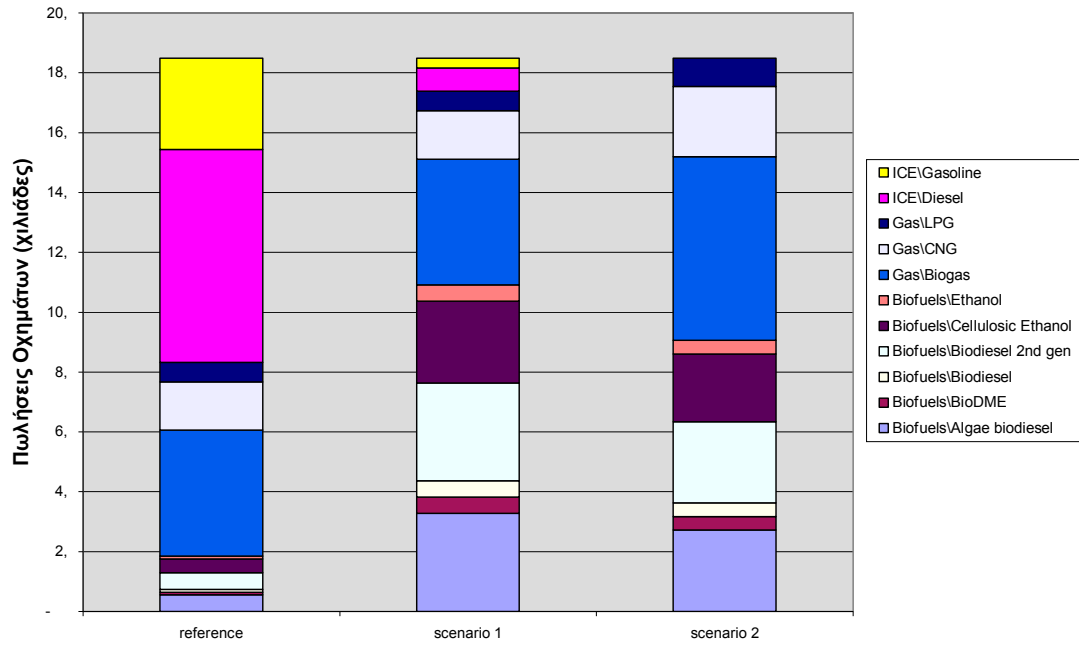
Σχήμα 5.19 Πωλήσεις νέων οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050

5.3.2 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στις πωλήσεις νέων οχημάτων

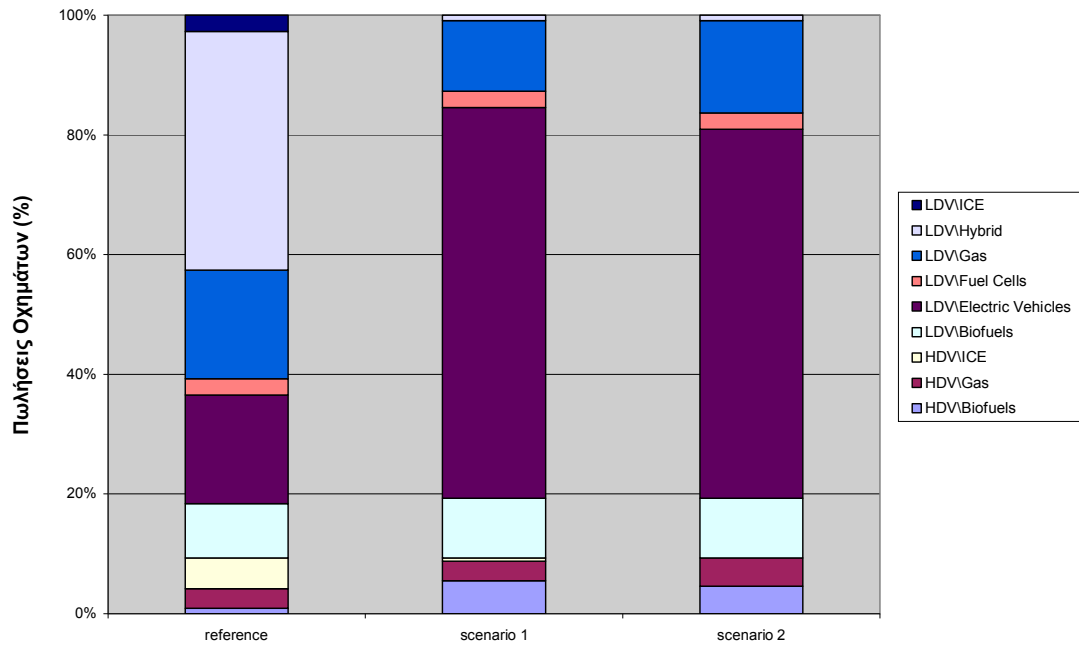
Η εξέλιξη των πωλήσεων νέων οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σεσάρια σε σχέση με το σεσάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.19, ενώ στα σχήματα 5.20 και 5.21 εικονίζονται οι επιμέρους πωλήσεις νέων οχημάτων για ελαφρά και βαρέα οχήματα αντίστοιχα. Για λόγους σύγκρισης, θεωρούμε ότι οι συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων παραμένουν σταθερές και ίδιες με το σεσάριο αναφοράς, για το σύνολο των σεναρίων. Η ποσοστιαία σύνθεση του στόλου όλων των οχημάτων, για όλα τα σεσάρια το 2050, εικονίζεται στο Σχήμα 5.22.



Σχήμα 5.20 Πωλήσεις νέων ελαφρών οχημάτων για όλα τα σεσάρια το 2050



Σχήμα 5.21 Πωλήσεις νέων βαρέων οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050

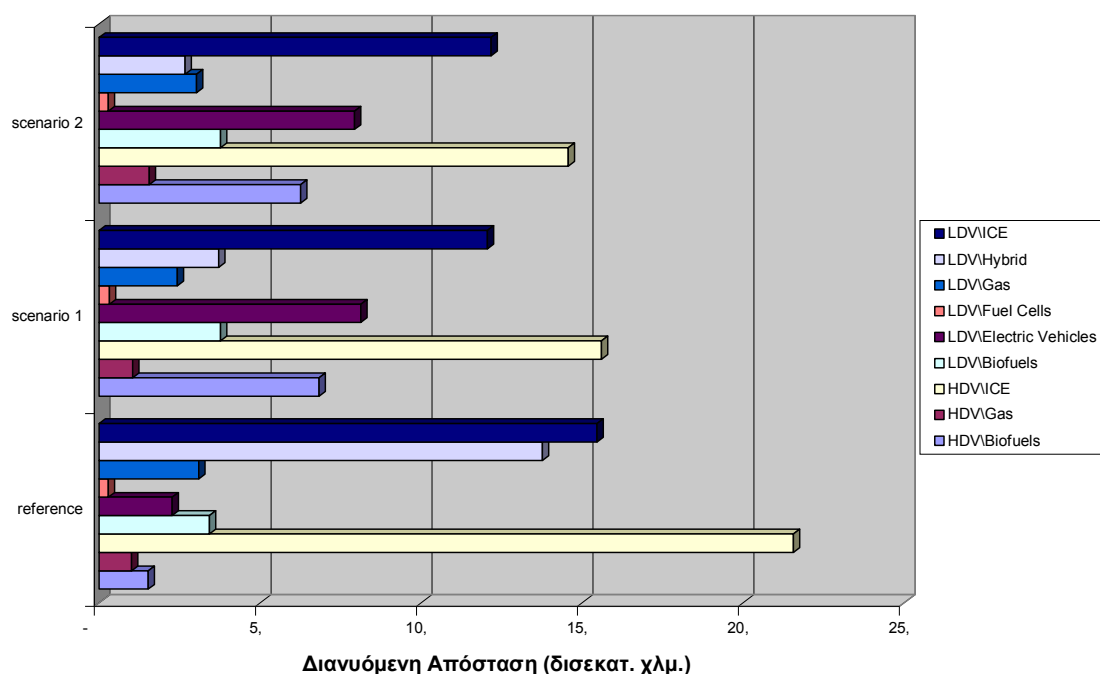


Σχήμα 5.22 Ποσοστιαία σύνθεση πωλήσεων νέων οχημάτων για όλα τα σενάρια το 2050

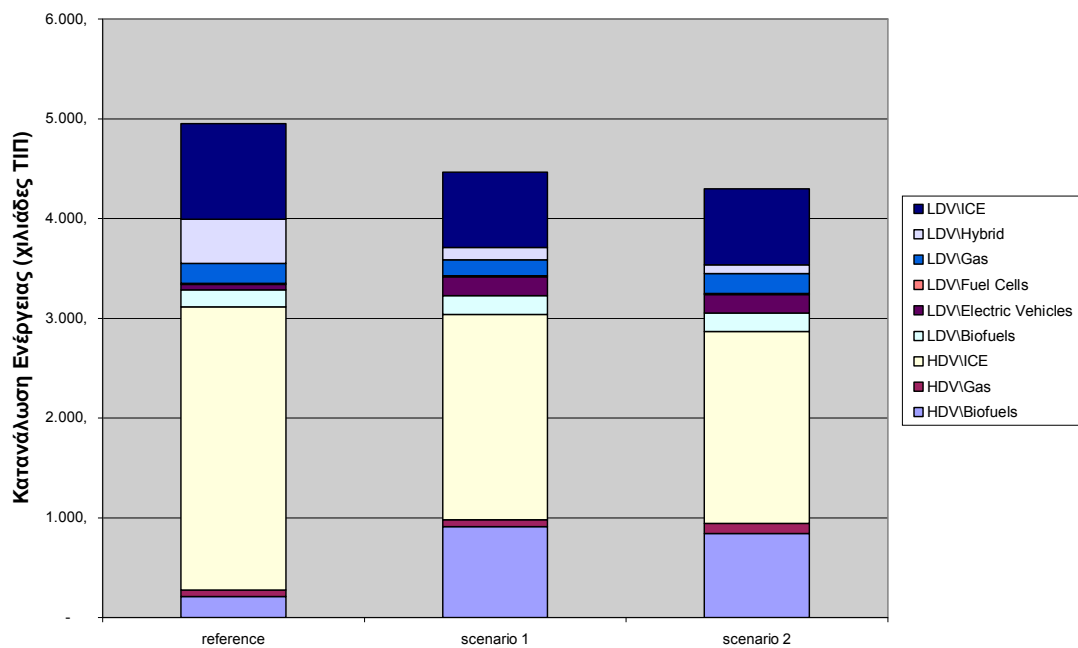
5.3.3 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στην κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο οχήματος συναρτάται εκτός από το καύσιμο ή την τεχνολογία κίνησης και από την αντίστοιχη μέση διανυόμενη χιλιομετρική απόσταση (Σχήμα 5.23). Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας του στόλου των οχημάτων το 2050 για τα εναλλακτικά σεναρία σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.24, ενώ στα σχήματα 5.25 και 5.26 εικονίζονται οι επιμέρους καταναλώσεις ενέργειας για ελαφρά και βαρέα οχήματα αντίστοιχα. Η ποσοστιαία σύνθεση κατανάλωσης ενέργειας στόλου οχημάτων για όλα τα σεναρία το 2050, εικονίζεται στο Σχήμα 5.27.

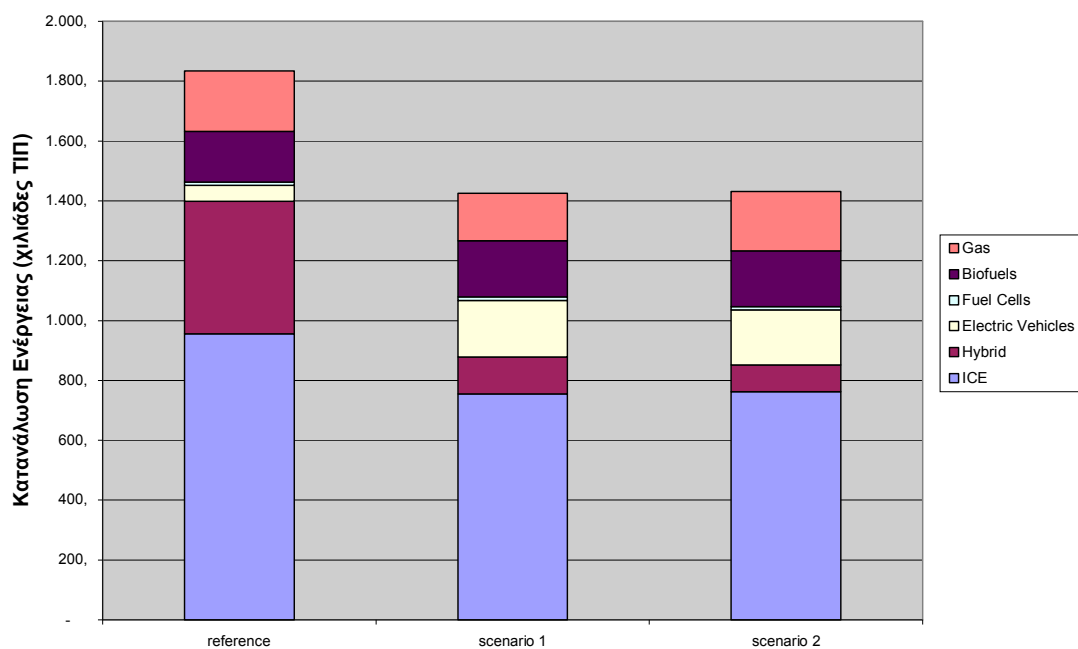
Στο σενάριο 2 η κατανάλωση ενέργειας είναι η μικρότερη σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η κατανάλωση ενέργειας στο σενάριο 2 μειώνεται από 5.784 ktoe το 2010 σε 4.299 ktoe το 2050, κατά 26%. Η κατανάλωση ενέργειας για τα ελαφρά οχήματα είναι σημαντικά μειωμένη κατά 48% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 2.750 ktoe σε 1.431 ktoe, ενώ για τα βαρέα οχήματα μειώνεται μέχρι το 2050 κατά 5% από 3.034 ktoe σε 2.868 ktoe (Σχήμα 5.28).



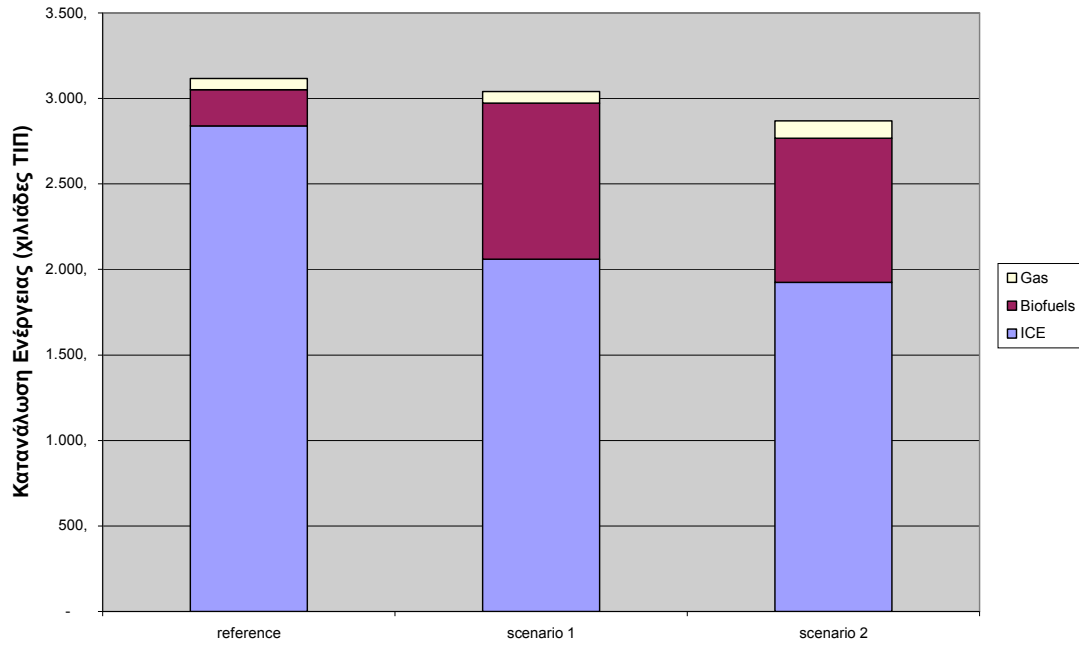
Σχήμα 5.23 Διανυόμενη χιλιομετρική απόσταση οχημάτων, όλα τα σεναρία το 2050



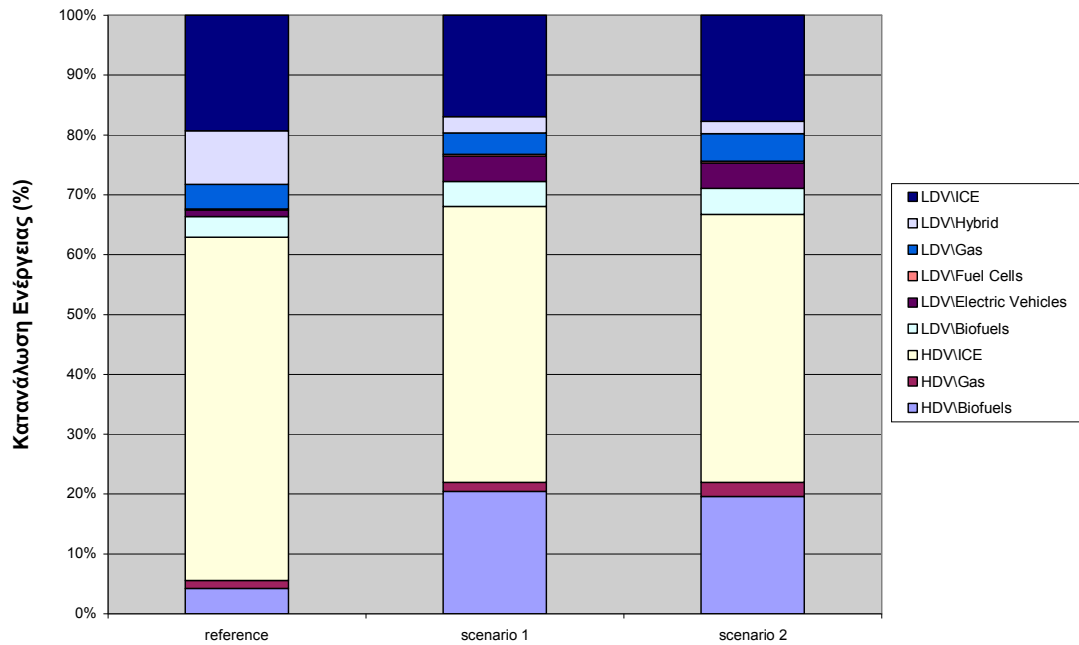
Σχήμα 5.24 Κατανάλωση ενέργειας στόλου οχημάτων, χρονιά 2050



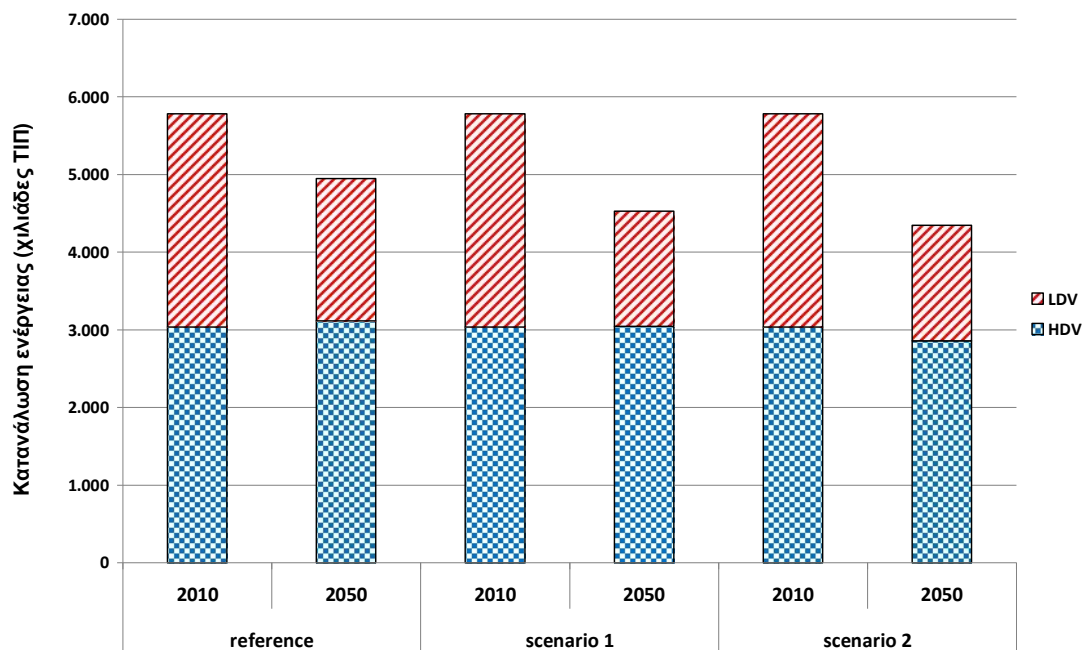
Σχήμα 5.25 Κατανάλωση ενέργειας στόλου ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.26 Κατανάλωση ενέργειας στόλου βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.27 Ποσοστιαία σύνθεση κατανάλωσης ενέργειας στόλου οχημάτων, χρονιά 2050

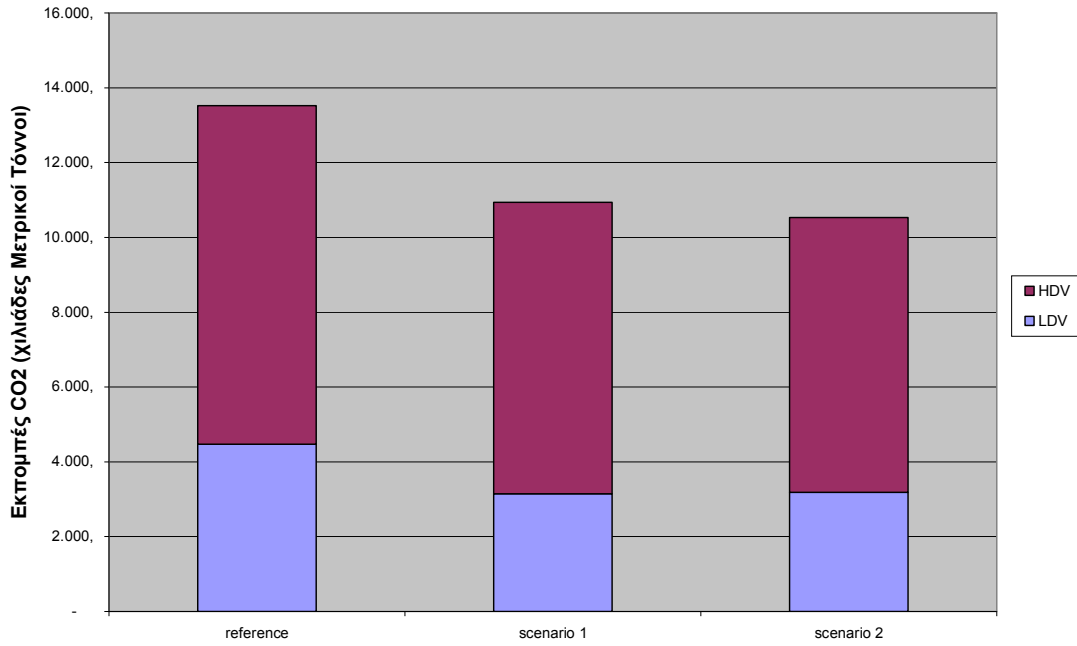


Σχήμα 5.28 Κατανάλωση ενέργειας για όλα τα σενάρια

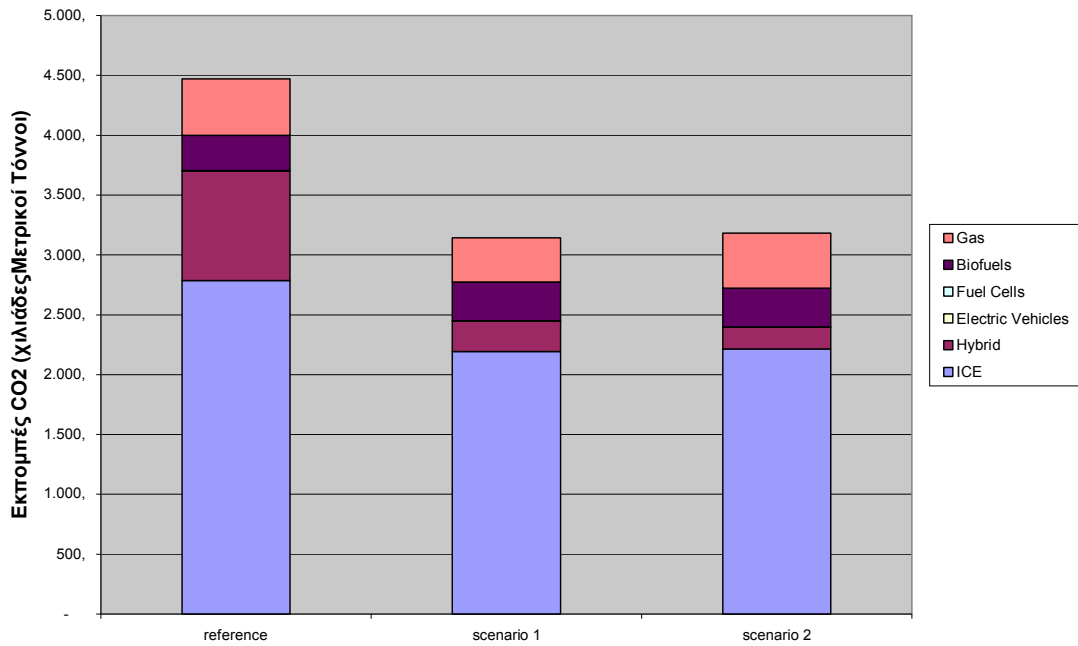
5.3.4 Επιπτώσεις των εναλλακτικών σεναρίων στις εκπομπές CO₂

Ακολουθώντας την ίδια τάση με την κατανάλωση ενέργειας, οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ μειώνονται σε όλα τα σενάρια. Οι εκπομπές CO₂ για όλα τα σενάρια παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.29. Η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του στόλου των ελαφρών οχημάτων το 2050 για τα εναλλακτικά σενάρια σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο Σχήμα 5.30, ενώ αντίστοιχο γράφημα για το στόλο των βαρέων οχημάτων εικονίζεται στο Σχήμα 5.31.

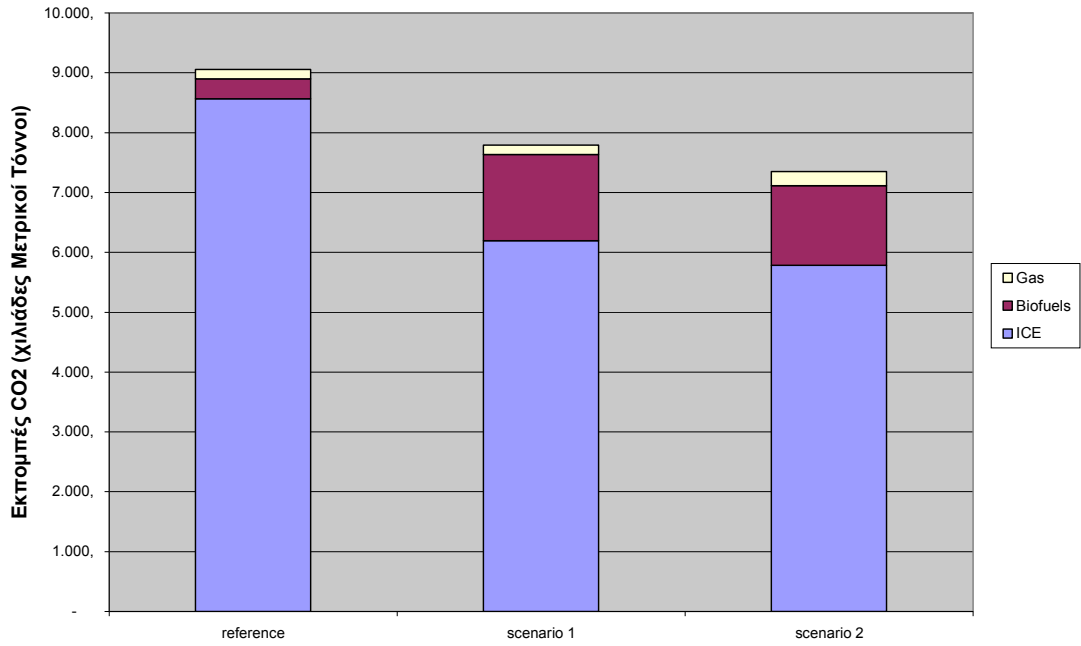
Στο σενάριο 2 οι εκπομπές CO₂ είναι οι λιγότερες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς (Σχήμα 5.32). Για το σενάριο 2 οι εκπομπές CO₂ είναι μειωμένες κατά 38% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 16.995 ktons CO₂ σε 10.531 ktons CO₂ (Σχήμα 5.33).



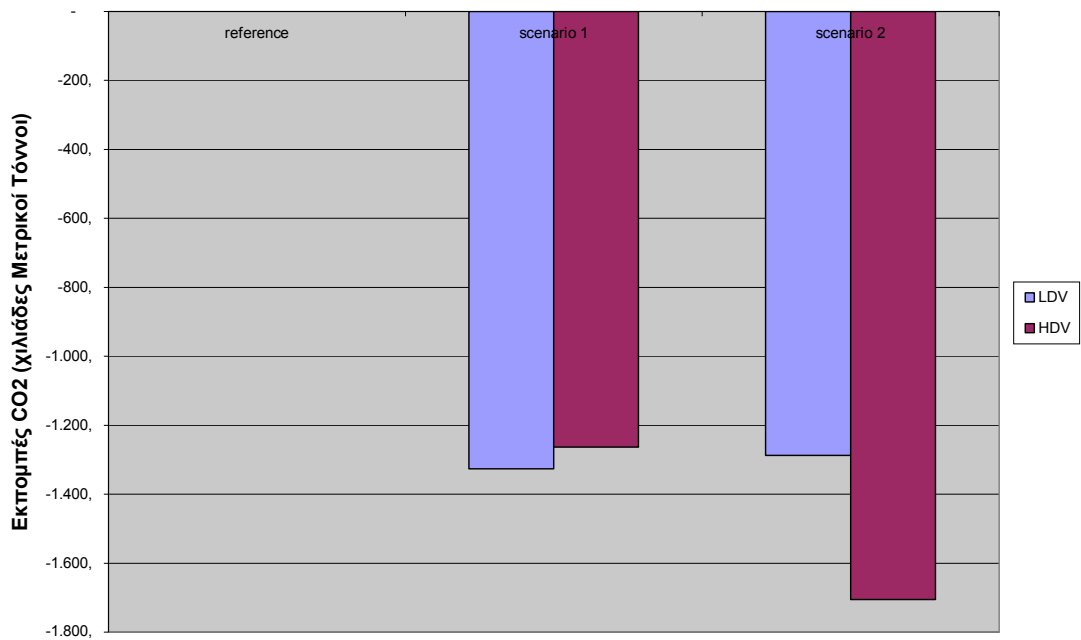
Σχήμα 5.29 Εκπομπές CO₂ στόλου οχημάτων, χρονιά 2050



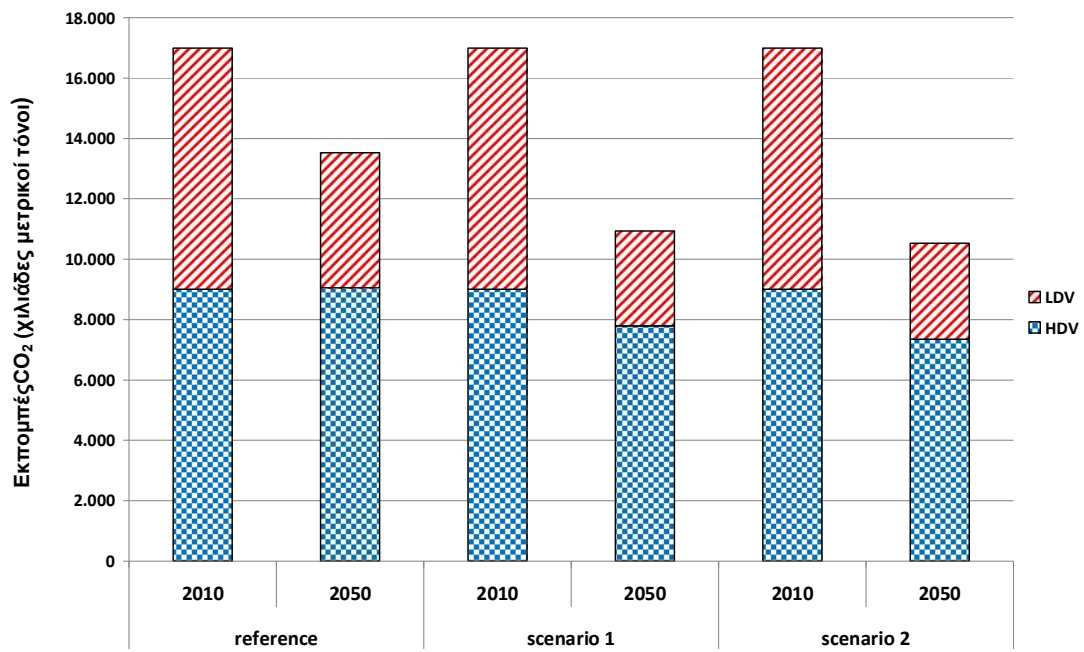
Σχήμα 5.30 Εκπομπές CO₂ στόλου ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.31 Εκπομπές CO₂ στόλου βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.32 Εκπομπές CO₂ στόλου οχημάτων, σύγκριση όλων των σεναρίων σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, χρονιά 2050



Σχήμα 5.33 Εκπομπές CO₂ στόλου οχημάτων για όλα τα σενάρια

5.4 Μελέτη των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια

Ο όρος ενεργειακή ασφάλεια συναρτάται στενά αφενός μεν με την ανάγκη θωράκισης της οικονομίας από τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει μια ξαφνική διακοπή του εφοδιασμού με ενέργεια, όπως επίσης και με μία ιδιαιτέρως μεγάλη αύξηση των τιμών του πετρελαίου, αφετέρου δε με την προστασία της κοινωνίας από τις επιπτώσεις που προκαλούνται από την κατανάλωση των ενεργειακών πηγών. Ένας τρόπος που θα μπορούσε να οδηγήσει στην ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας για κάθε χώρα μεμονωμένα, θα ήταν η δυνατότητα κάλυψης ολόκληρου του φάσματος ή τουλάχιστον κατά το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών της αναγκών αυτοδύναμα, δηλαδή με την εγχώρια ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών ενέργειας, οι οποίες θα εξασφάλιζαν την ανεξάρτηση της οικονομίας της από τα ορυκτά καύσιμα. Όμως, ένας τέτοιος στόχος, παρότι είναι επιθυμητός, τουλάχιστον επί του παρόντος και για το εγγύς μέλλον, δε φαίνεται ρεαλιστικός (Φαναριώτης, 2009). Η ανεξάρτηση από το πετρέλαιο μπορεί να επιτευχθεί:

- α) με την εντατικοποίηση των σχετικών προσπαθειών μέσα από την προώθηση των κατάλληλων τεχνικών και οικονομικών μέτρων, που θα διευκολύνουν την ανάπτυξη και βελτίωση των ανανεώσιμων πηγών καθώς και την ανάπτυξη των νέων ενεργειακών τεχνολογιών,
- β) με την ενίσχυση της έρευνας για την ανακάλυψη νέων όσο και αποτελεσματικών μεθόδων αξιοποίησης των υφιστάμενων εναλλακτικών μορφών ενέργειας περιλαμβανομένης και της αξιοποίησης της πυρηνικής ενέργειας,
- γ) με την ενίσχυση των προσπαθειών για τη δημιουργία της κατάλληλης υποδομής, ώστε να υποδεχθεί και να διευκολύνει τη διακίνηση των νέων μορφών ενέργειας
- δ) με την υιοθέτηση οικονομικών κινήτρων τα οποία θα ενθαρρύνουν την προσφυγή τόσο της βιομηχανίας όσο και των καταναλωτών στην παραγωγή και αξιοποίηση των νέων εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας ορίζει «την ενεργειακή ασφάλεια ως την αδιάλειπτη διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας σε αποδεκτό κόστος». Η ενεργειακή ασφάλεια έχει μακροχρόνια και βραχυχρόνια προσέγγιση:

- α) Η μακροχρόνια ενεργειακή ασφάλεια σχετίζεται κυρίως με επενδύσεις για την προμήθεια ενεργειακών προϊόντων και των αντίστοιχων υποδομών, σε

άμεση συνάφεια με την οικονομική ανάπτυξη και τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις κάθε χώρας.

β) Η βραχυχρόνια ενεργειακή ασφάλεια επικεντρώνεται στη δυνατότητα ενός ενεργειακού συστήματος να αντιδρά έγκαιρα σε ξαφνικές αλλαγές του ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης ενέργειας.

Η έλλειψη ενεργειακής ασφάλειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με αρνητικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις είτε λόγω της φυσικής μη διαθεσιμότητας ενέργειας (π.χ. καύσιμα, ηλεκτρισμός), είτε λόγω των πολύ υψηλών τιμών ενέργειας και του συνεπαγόμενου υψηλού κόστους παραγωγής και λειτουργίας, είτε λόγω της υπερβολικής τους μεταβλητότητας. Προβλήματα που σχετίζονται με την οικονομική ζημία που προκαλούν απότομες αυξομειώσεις τιμών ενεργειακών προϊόντων, αντιστοιχούν περισσότερο σε θέματα ενεργειακής ασφάλειας πετρελαϊκών προϊόντων. Αντίθετα, προβλήματα που σχετίζονται με την μη διαθεσιμότητα ενέργειας λόγω φυσικών καταστροφών υποδομών ή διακοπής λειτουργίας δικτύων, αντιστοιχούν κυρίως σε θέματα ενεργειακής ασφάλειας ηλεκτρικών δικτύων ή αγωγών φυσικού αερίου, με σοβαρές βραχυπρόθεσμες συνέπειες (OECD/IEA, 2014).

Ο περιορισμός της κατανάλωσης ενεργειακών προϊόντων και η αντικατάστασή τους από εναλλακτικά προϊόντα ή καύσιμα αποτελούν τους κύριους τρόπους αντιμετώπισης προβλημάτων ενεργειακής ασφάλειας. Στις χώρες που συμμετέχουν στο Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, η μισή τουλάχιστον κατανάλωση πετρελαιοειδών αντιστοιχεί στον τομέα των μεταφορών. Συνεπώς μία μείωση στην κατανάλωση καυσίμων στις οδικές μεταφορές ισοδυναμεί με την εξοικονόμηση εισαγωγών εκατομμυρίων βαρελιών αργού πετρελαίου.

Στον τομέα των οδικών μεταφορών που στην πλειοψηφία του αντιστοιχεί σε πετρελαϊκά υγρά καύσιμα (βενζίνη και ντίζελ), οι δύο διαθέσιμες λύσεις για την αντιμετώπιση προβλημάτων ενεργειακής ασφάλειας είναι:

- α) ο περιορισμός ζήτησης καυσίμων (demand restrain)
- β) η εναλλαγή καυσίμων (fuel switching)

Ο περιορισμός ζήτησης καυσίμων μπορεί να έχει είτε τη μορφή «χαλαρών» δράσεων π.χ. κίνητρα για λιγότερο οδήγημα, χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς, συν-οδήγηση (car-pooling), αποδοτική οδήγηση, είτε «ακραίων» μέτρων π.χ. κουπόνια καυσίμων, απαγόρευση κίνησης οχημάτων κλπ. Η εναλλαγή καυσίμων και η αντικατάσταση των υφιστάμενων καυσίμων με παρεμφερή καύσιμα εγχώριας παραγωγής (π.χ. βενζίνη με

αιθανόλη, LPG με DME κτλ.), έχει επίσης σκοπό την απεξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά κυρίως καύσιμα.

Στο παρόν κεφάλαιο θα διερευνηθούν οι επιπτώσεις από τυχόν μακροχρόνιους περιορισμούς στην προμήθεια καυσίμων ή στη μη διαθεσιμότητά τους στην ελληνική αγορά. Εξετάζονται τρία θεωρητικά σενάρια μείωσης διαθεσιμότητας:

- α) αργού πετρελαίου και των προϊόντων του (βενζίνη, ντίζελ)
- β) φυσικού αερίου
- γ) βιομάζας

Για τον έλεγχο των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια της Ελλάδας λόγω της έλλειψης διαθεσιμότητας ενός τύπου καυσίμου, θεωρήθηκε ως εναλλακτική λύση η αντικατάσταση του από κάποιο άλλο καύσιμο.

Αναλυτικότερα, η μείωση διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου μπορεί να προκληθεί είτε από εξωτερικά γεγονότα (πολεμικές συγκρούσεις π.χ. Αραβική Άνοιξη στη Βόρεια Αφρική ή διεθνείς κυρώσεις σε χώρες προμήθειας π.χ. Ιράν, Ρωσία) είτε από γεγονότα στην εσωτερική αγορά (οικονομική κρίση, αλλαγή νομίσματος). Αντίστοιχα, η έλλειψη διαθεσιμότητας βιομάζας μπορεί να προκληθεί από σημαντική μείωση του πρωτογενούς τομέα (γεωργία και κτηνοτροφία), είτε λόγω αλλαγής της παραγωγικής δομής στη χώρα, είτε λόγω μεταβολής των κλιματολογικών συνθηκών (π.χ. ερημοποίηση). Καθώς τμήμα της βιομάζας ενδέχεται να εισάγεται, διεθνείς οικονομικοί παράμετροι επιδρούν επίσης προκαλώντας αυξομειώσεις στην τιμή.

Για το σύνολο της περιόδου μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής (2010-2050), θεωρήσαμε τρία ακραία σενάρια προβληματικής προμήθειας: α) αργού πετρελαίου, β) φυσικού αερίου και γ) βιομάζας. Στη συνέχεια αντικαταστήσαμε στο σενάριο αναφοράς, το καύσιμο σε έλλειψη με ένα από τα άλλα δύο υπολογίζοντας τις συνέπειες και τις επιπτώσεις σε:

- α) στόλο οχημάτων
- β) πωλήσεις νέων οχημάτων
- γ) κατανάλωση ενέργειας
- δ) εκπομπές CO₂

Με βάση την αναλυτική παρουσίαση που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 4.3, οι συνοπτικοί ορισμοί των τεσσάρων αυτών παραμέτρων ακολουθούν (Stockholm Environment Institute, 2011):

- «στόλος οχημάτων»: ο αριθμός των οχημάτων σε κυκλοφορία για μια συγκεκριμένη χρονιά (οχήματα σε κυκλοφορία προηγούμενων χρόνων – αποσύρσεις οχημάτων τρέχουσας χρονιάς + πωλήσεις νέων οχημάτων τρέχουσας χρονιάς)
- «πωλήσεις νέων οχημάτων»: ο αριθμός των οχημάτων που προστέθηκαν στον υφιστάμενο στόλο για μια συγκεκριμένη χρονιά (οχήματα πρώτης κυκλοφορίας και μεταχειρισμένα)
- «κατανάλωση ενέργειας»: το γινόμενο του στόλου οχημάτων για μία συγκεκριμένη χρονιά επί τη μέση ετήσια διανυόμενη χιλιομετρική απόσταση κάθε τύπου οχήματος επί την αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου επί τον συντελεστή ενέργειας που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο καύσιμο
- «εκπομπές CO₂»: το γινόμενο της αντίστοιχης κατανάλωσης ενέργειας ανά τύπο οχήματος επί τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπών CO₂ διορθωμένο ανάλογα με τη καμπύλη ζωής του οχήματος (χρονιά πρώτης κυκλοφορίας).

Αναλυτικότερα εξετάσαμε:

- α) τρία σενάρια (3A, 3B, 3Γ) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης του διαθέσιμου αργού πετρελαίου, μειώνεται ο στόλος των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ελαφρά οχήματα μεταξύ 33% - 35% και σε βαρέα οχήματα μεταξύ 70 – 78% του στόλου το 2050, με αντίστοιχη υποκατάσταση τους από: i) βιοκαύσιμα, ii) φυσικό αέριο και iii) ηλεκτροκίνηση,
- β) δύο σενάρια (4A, 4B) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης της διαθεσιμότητας φυσικού αερίου, μειώνεται η αεριοκίνηση στα ελαφριά οχήματα στο 2% του στόλου και στα βαρέα οχήματα στο 1% του στόλου, με αντίστοιχη υποκατάσταση από: i) βιοκαύσιμα και ii) πετρελαιοειδή ,
- γ) δύο σενάρια (5A, 5B) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης της διαθεσιμότητας βιομάζας μειώνεται η κατανάλωση βιοκαυσίμων στα ελαφριά οχήματα στο 2% του στόλου και στα βαρέα οχήματα στο 1% του στόλου, με αντίστοιχη υποκατάστασή τους από: i) φυσικό αέριο και ii) πετρελαιοειδή.

Τα παραπάνω σενάρια συνοψίζονται στον Πίνακα 5.2.

Θεωρώντας ότι η κατανάλωση πετρελαιοειδών μετριάζεται στα υβριδικά οχήματα, στα σενάρια 4B και 5B, θεωρούμε για τα ελαφριά οχήματα ότι η αύξηση κατανάλωσης πετρελαιοειδών αναφέρεται αποκλειστικά σε υβριδικά οχήματα.

Πίνακας 5.2 Σενάρια μείωσης διαθεσιμότητας καυσίμου και συνέπειες στη μείωση του στόλου οχημάτων το 2050

Σενάριο	Μείωση διαθεσιμότητας	Υποκατάσταση από	Στόλος ελαφρών οχημάτων	Στόλος βαρέων οχημάτων
3A	αργού πετρελαίου	βιοκαύσιμα	33% στα οχήματα με MEK	70% στα βαρέα οχήματα με MEK
3B	αργού πετρελαίου	φυσικό αέριο	35% στα οχήματα με MEK	78% στα βαρέα οχήματα με MEK
3Γ	αργού πετρελαίου	ηλεκτροκίνηση	34% στα οχήματα με MEK	78% στα βαρέα οχήματα με MEK
4A	φυσικού αερίου	βιοκαύσιμα	2% στα οχήματα με αεριοκίνηση	1% στα οχήματα με αεριοκίνηση
4B	φυσικού αερίου	πετρελαιοειδή	2% στα οχήματα με αεριοκίνηση	1% στα οχήματα με αεριοκίνηση
5A	βιομάζας	φυσικό αέριο	2% στα βιοκαύσιμα	1% στα βιοκαύσιμα
5B	βιομάζας	πετρελαιοειδή	2% στα βιοκαύσιμα	1% στα βιοκαύσιμα

Το σύνολο των σεναρίων με το αντίστοιχο ποσοστό του στόλου οχημάτων το 2050, εικονίζεται στον Πίνακα 5.3.

5.4.1 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στον στόλο οχημάτων

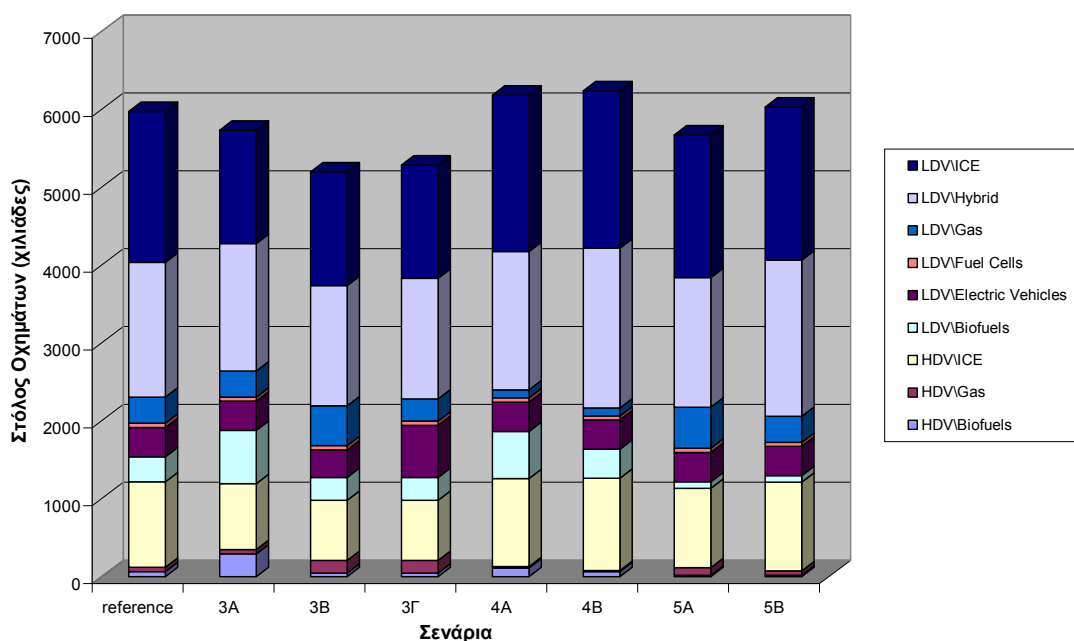
Η εξέλιξη του συνολικού στόλου των οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.34. Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου (3A-Γ) ο στόλος των οχημάτων μειώνεται αισθητά (~15%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου (3B) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα ο συνολικός στόλος αυξάνεται οριακά (~3%) για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4A&B). Μείωση κατά ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς παρατηρείται στο σενάριο μειωμένης διαθεσιμότητας βιομάζας 5A, ενώ στο σενάριο 5B παραμένει σχεδόν αμετάβλητος.

Η εξέλιξη του στόλου των ελαφρών οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα

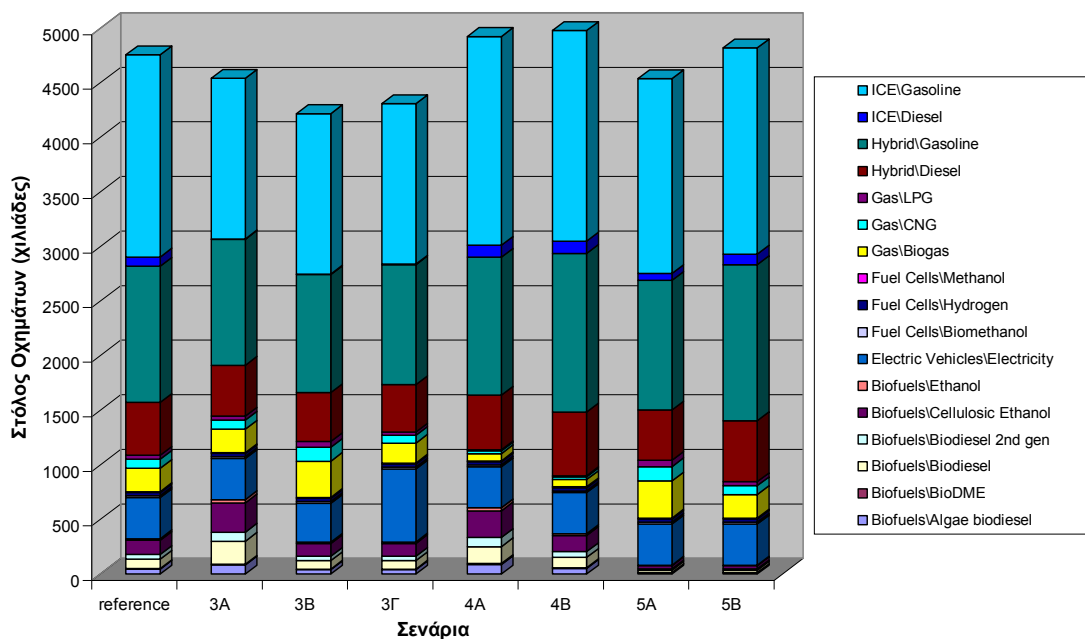
5.35, ενώ αντίστοιχο γράφημα εικονίζεται για το στόλο των βαρέων οχημάτων στο σχήμα 5.36. Τα σενάρια στα σχήματα 5.35 και 5.36 ακολουθούν παρόμοια τάση με το σχήμα 5.34.

Πίνακας 5.3 Ποσοστό στόλου οχημάτων ανά τεχνολογία, το 2050 για όλα τα σενάρια

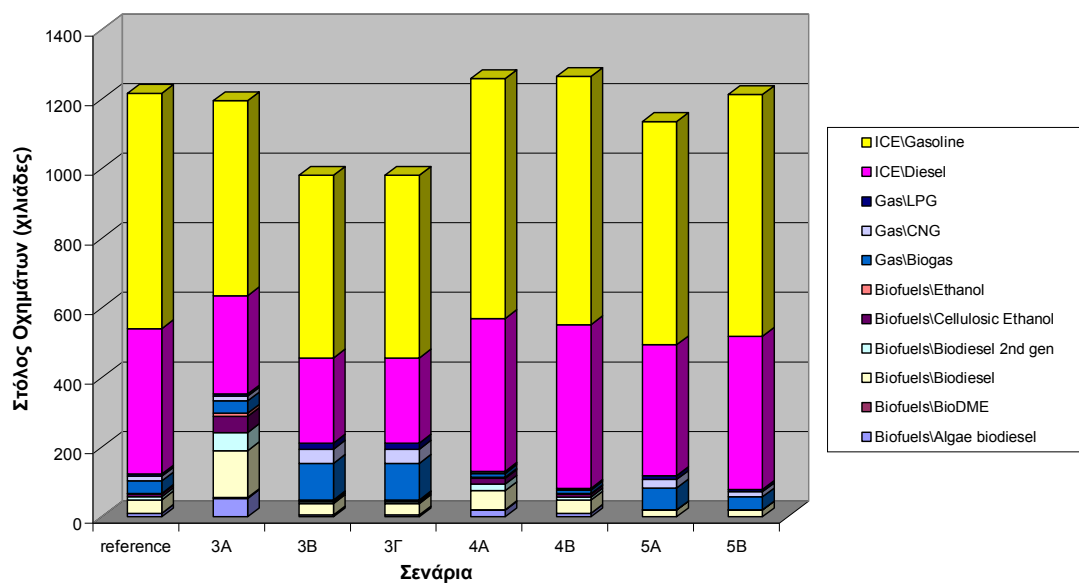
Σενάριο	Ελαφρά οχήματα						Βαρέα οχήματα		
	ΜΕΚ	υβριδικά	ηλεκτρικά	κυψελών καυσίμου	βιοκαύσιμα	αερίου	ΜΕΚ	βιοκαύσιμα	αερίου
reference	41%	36%	8%	1%	7%	7%	90%	5%	5%
1	38%	12%	33%	1%	9%	7%	69%	26%	5%
2	39%	9%	33%	1%	9%	9%	68%	24%	8%
3A	33%	36%	8%	1%	15%	7%	70%	25%	5%
3B	35%	37%	8%	1%	7%	12%	78%	5%	17%
3Γ	34%	36%	15%	1%	7%	7%	78%	5%	17%
4A	41%	36%	8%	1%	12%	2%	90%	9%	1%
4B	41%	41%	8%	1%	7%	2%	94%	5%	1%
5A	41%	36%	8%	1%	2%	12%	90%	1%	9%
5B	41%	41%	8%	1%	2%	7%	94%	1%	5%



Σχήμα 5.34 Στόλος οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.35 Στόλος ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050

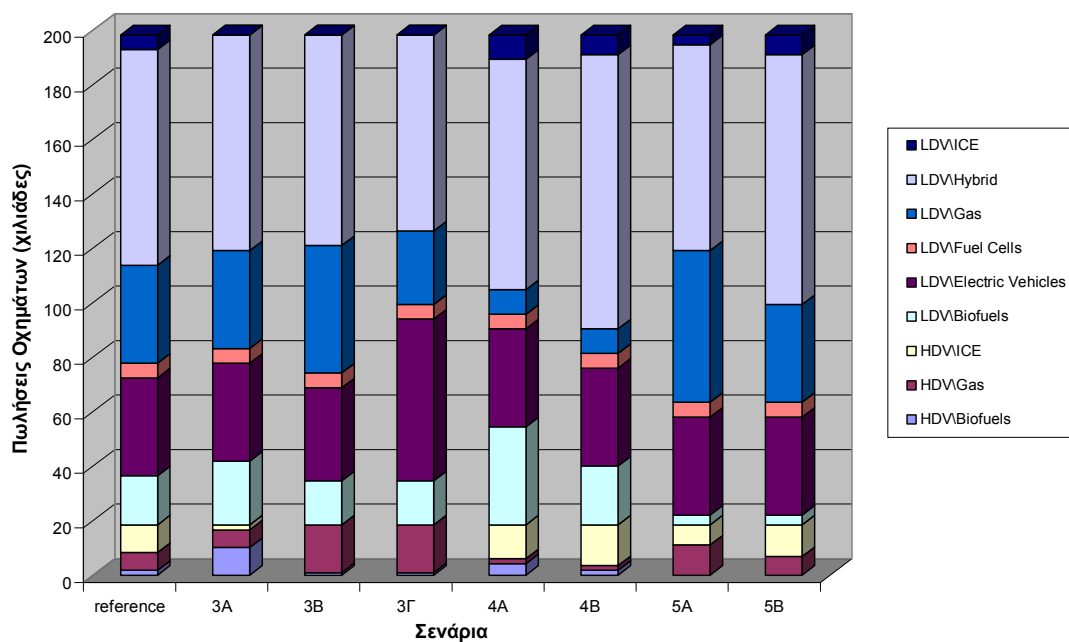


Σχήμα 5.36 Στόλος βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050

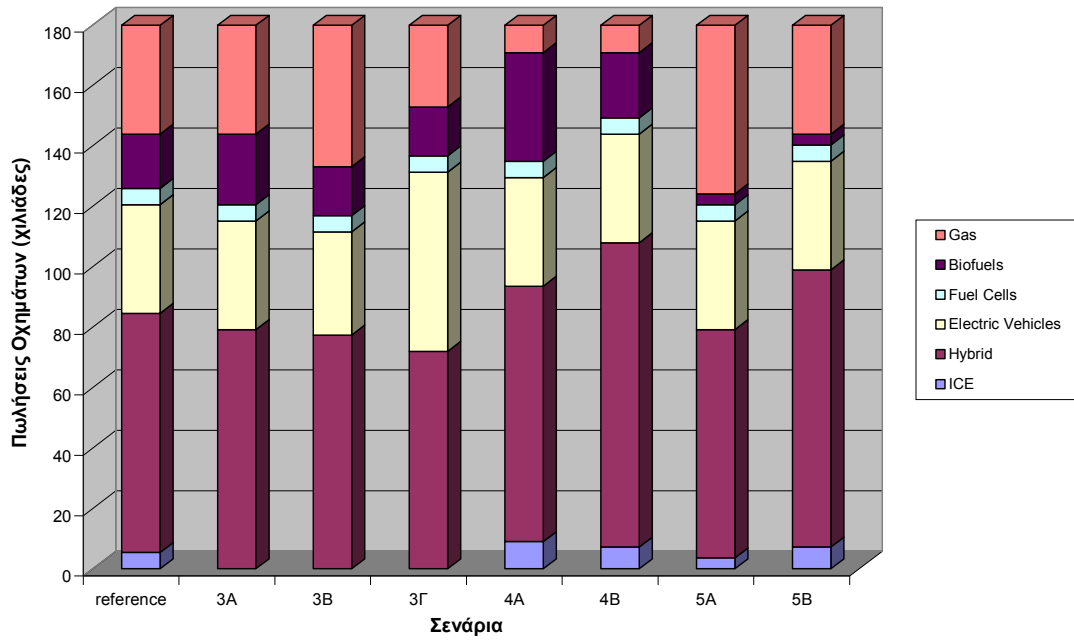
5.4.2 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στις πωλήσεις νέων οχημάτων

Η εξέλιξη των πωλήσεων νέων οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα

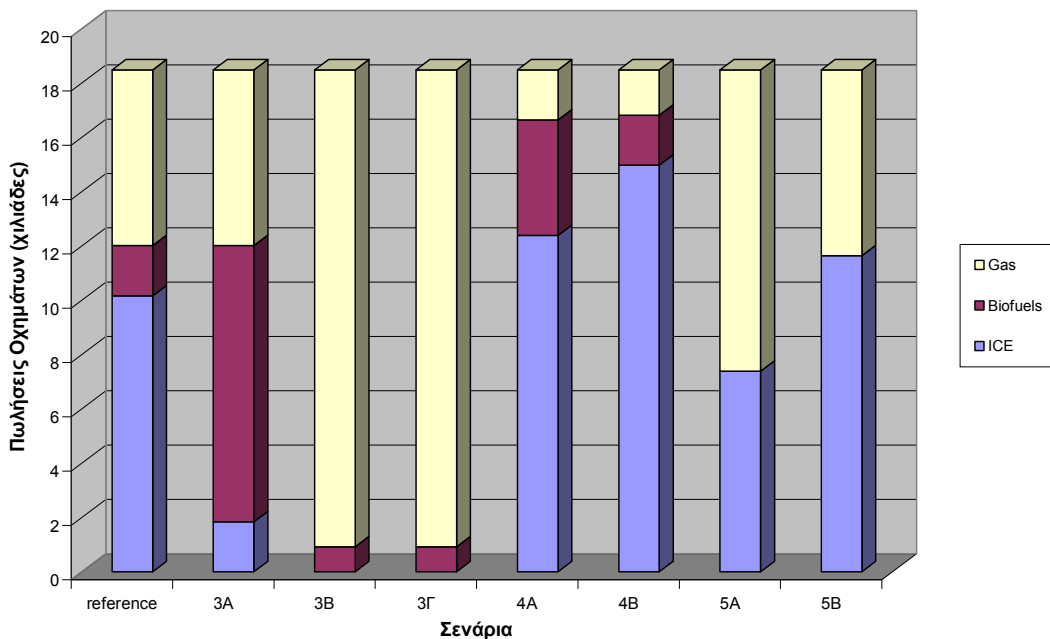
5.37, ενώ στα σχήματα 5.38 και 5.39 εικονίζονται οι επιμέρους πωλήσεις νέων οχημάτων για ελαφρά και βαρέα οχήματα αντίστοιχα. Για λόγους σύγκρισης, θεωρούμε ότι οι συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων παραμένουν σταθερές και ίδιες με το σενάριο αναφοράς, για το σύνολο των σεναρίων. Οι επιμέρους διαφοροποιήσεις των πωλήσεων νέων οχημάτων ανά τύπο οχήματος, προκύπτουν από τον Πίνακα 5.3. Στα σεναρία 3A-Γ η μείωση των πωλήσεων νέων οχημάτων με MEK το 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αντισταθμίζεται από αυξημένες πωλήσεις νέων οχημάτων που καταναλώνουν βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο και ηλεκτρισμό αντίστοιχα. Στα σεναρία 4A και 4B η μείωση των πωλήσεων των νέων οχημάτων με αεριοκίνηση σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αντισταθμίζεται από αυξημένες πωλήσεις νέων οχημάτων που καταναλώνουν βιοκαύσιμα και πετρελαιοειδή (MEK και υβριδικά). Στα σεναρία 5A και 5B η μείωση των πωλήσεων των νέων οχημάτων που καταναλώνουν βιοκαύσιμα σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αντισταθμίζεται από αυξημένες πωλήσεις νέων οχημάτων που καταναλώνουν φυσικό αέριο και πετρελαιοειδή (MEK και υβριδικά).



Σχήμα 5.37 Πωλήσεις νέων οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.38 Πωλήσεις νέων ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050



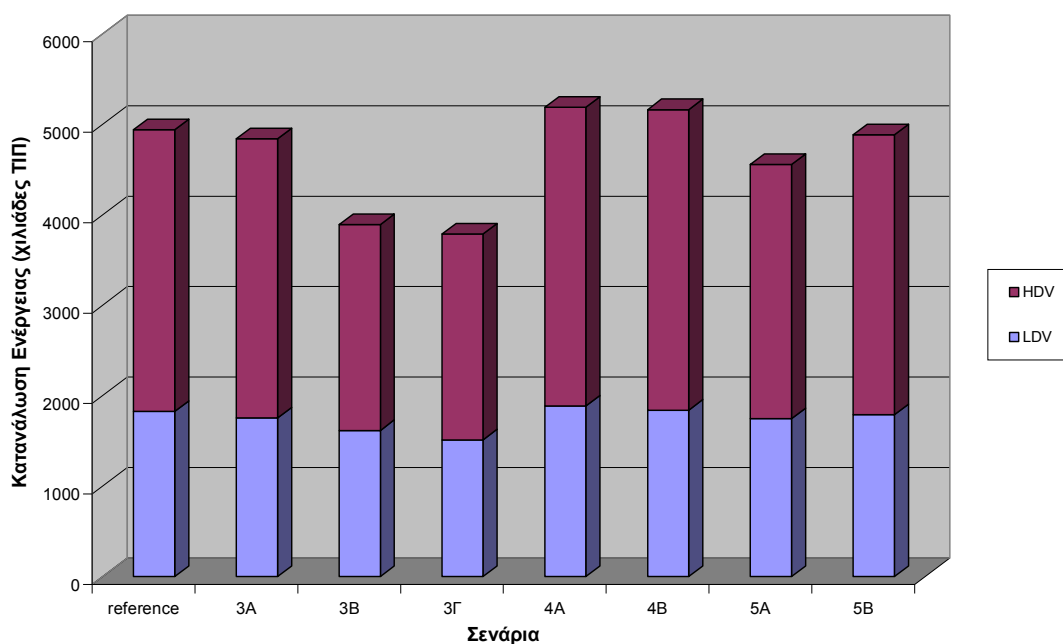
Σχήμα 5.39 Πωλήσεις νέων βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050

5.4.3 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στην κατανάλωση ενέργειας

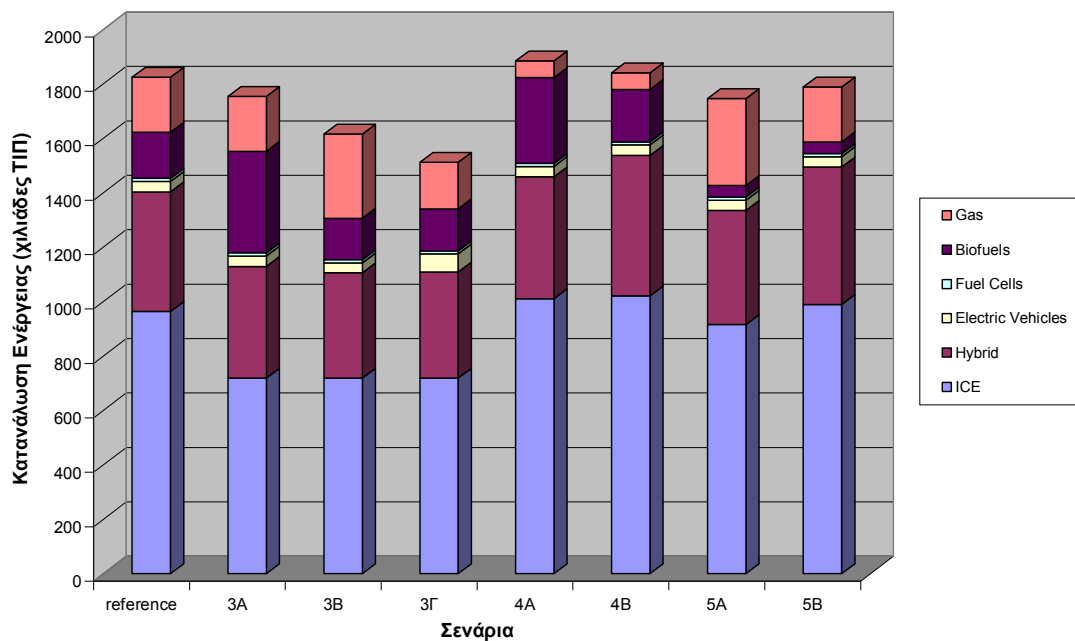
Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας του στόλου των οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.40. Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού

πετρελαίου (3Α-Γ) η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων μειώνεται αισθητά (έως και 20%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου (3Β) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων αυξάνεται ελαφριά (~5%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4Α&Β) ή παραμένει σχεδόν αμετάβλητη για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας βιομάζας (5Α&Β).

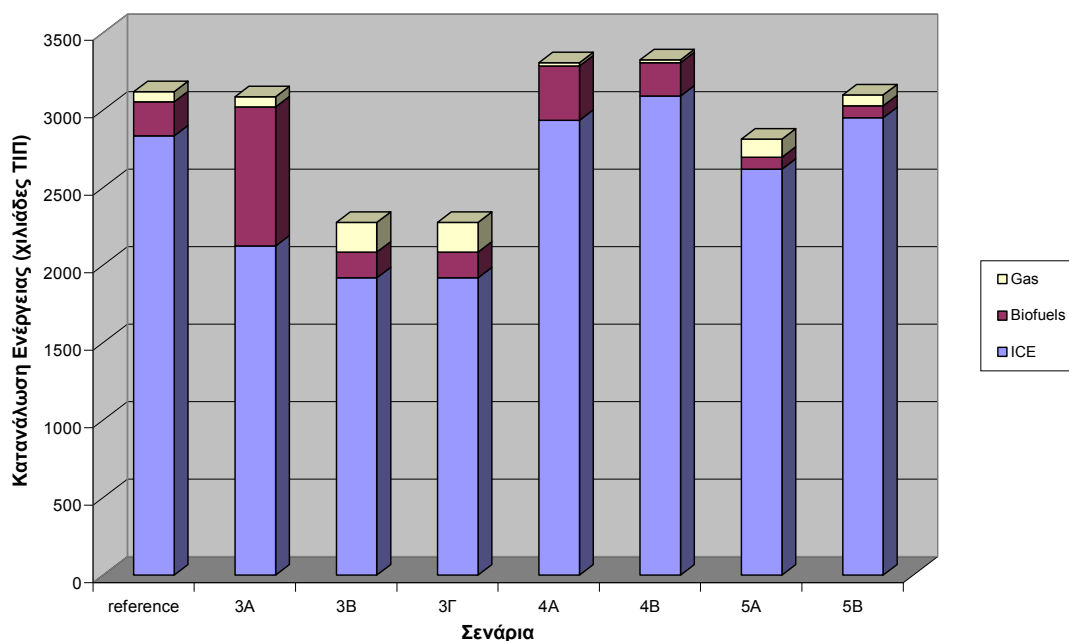
Η εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας του στόλου των ελαφρών οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.41, ενώ αντίστοιχο γράφημα εικονίζεται για το στόλο των βαρέων οχημάτων στο σχήμα 5.42. Στο σχήμα 5.42 παρατηρούμε για τα σενάρια 3Β&Γ ακόμα μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του στόλου των βαρέων οχημάτων (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αύξηση έως και 10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια 4Α&Β και μείωση ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για το σενάριο 5Α. Το σενάριο 5Β είναι παρόμοιο με το σενάριο αναφοράς.



Σχήμα 5.40 Κατανάλωση ενέργειας στόλου οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.41 Κατανάλωση ενέργειας στόλου ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050

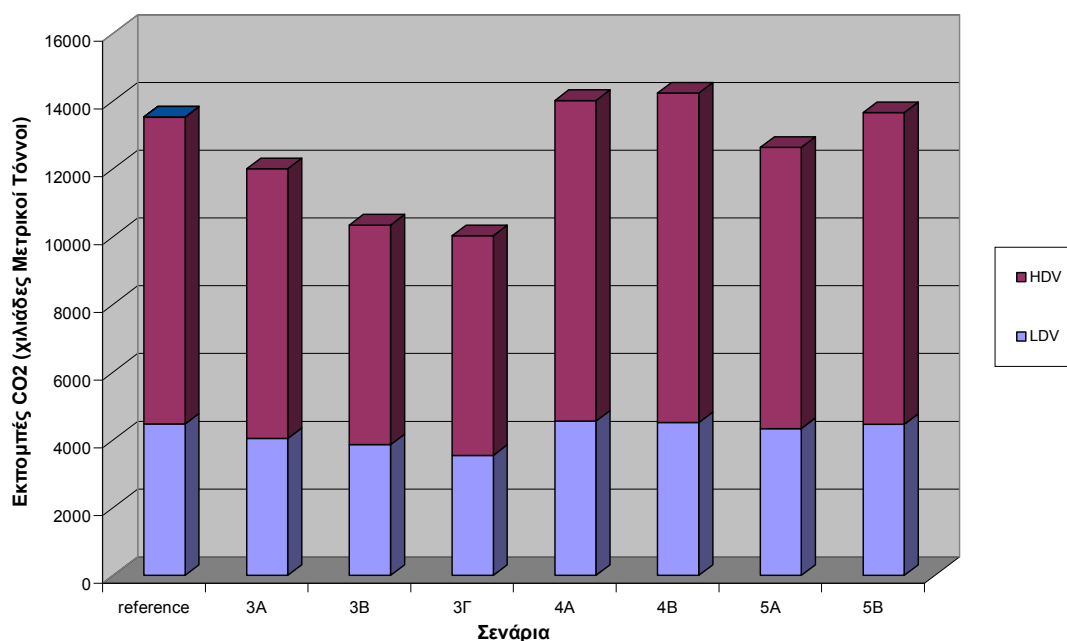


Σχήμα 5.42 Κατανάλωση ενέργειας στόλου βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050

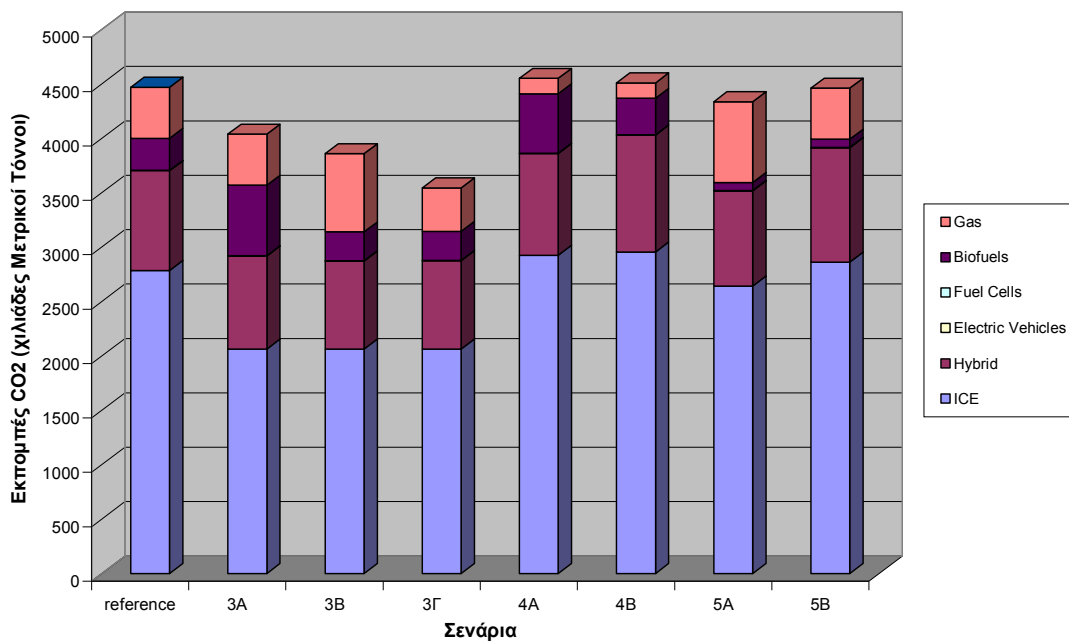
5.4.4 Επιπτώσεις σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στις εκπομπές CO₂

Η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του στόλου των οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σεναρία ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο

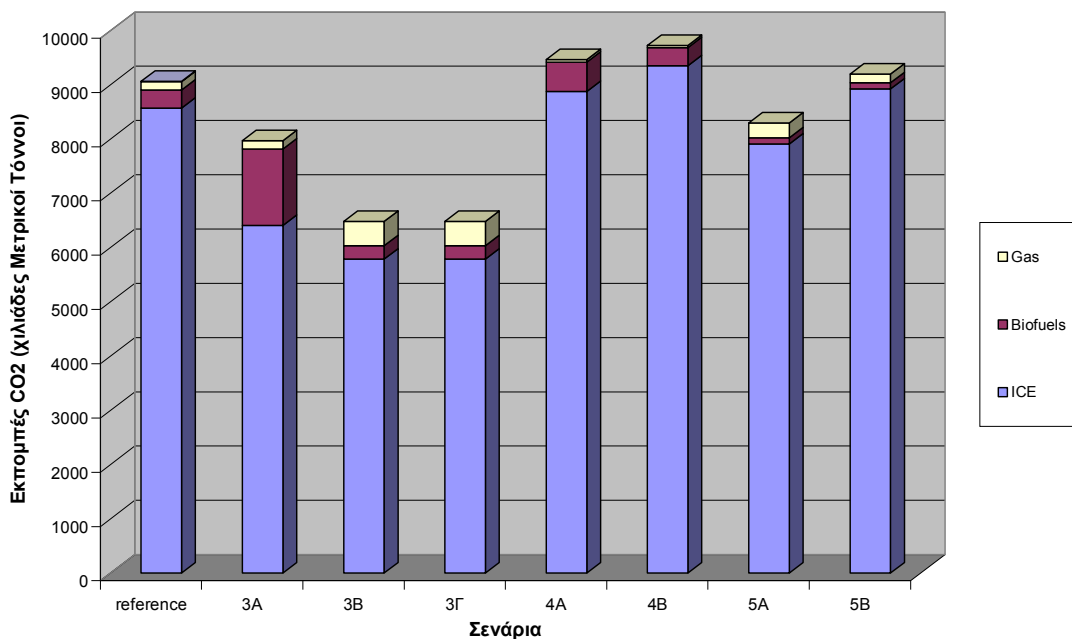
σχήμα 5.43. Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου (3Α-Γ) οι εκπομπές CO₂ του στόλου των οχημάτων μειώνονται αισθητά (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου (3Β) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα οι εκπομπές CO₂ του στόλου των οχημάτων αυξάνονται ελαφριά (~5%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4Α&Β). Μείωση κατά ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς παρατηρείται στο σενάριο 5Α, ενώ στο σενάριο 5Β παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες. Η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του στόλου των ελαφρών οχημάτων το 2050 για τα διάφορα σενάρια ενεργειακής ασφάλειας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, εικονίζεται στο σχήμα 5.44, ενώ αντίστοιχο γράφημα εικονίζεται για το στόλο των βαρέων οχημάτων στο σχήμα 5.45. Στο σχήμα 5.45 παρατηρούμε για τα σενάρια 3Β&Γ ακόμα μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών CO₂ του στόλου των βαρέων οχημάτων (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αύξηση έως και 5% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια 4Α&Β και μείωση ~10% για το σενάριο 5Α σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.



Σχήμα 5.43 Εκπομπές CO₂ στόλου οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.44 Εκπομπές CO₂ στόλου ελαφρών οχημάτων, χρονιά 2050



Σχήμα 5.45 Εκπομπές CO₂ στόλου βαρέων οχημάτων, χρονιά 2050

Τόσο για το σύνολο του στόλου των οχημάτων, όσο και για τους επιμέρους στόλους ελαφρών και βαρέων οχημάτων, η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ ταυτίζεται με την αντίστοιχη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας (παράγρ. 5.4.3), για όλα τα σενάρια.

5.4.5 Συμπεράσματα μελέτης επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια

Στο Κεφάλαιο 5.4 διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις από πιθανούς μακροχρόνιους περιορισμούς στην προμήθεια καυσίμων ή στη διαθεσιμότητά τους στην ελληνική αγορά. Για την ανάλυση των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας, χρησιμοποιήθηκε η μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών με χρήση του λογισμικού LEAP που προηγήθηκε στο Κεφάλαιο 4 εξετάστηκαν τρία θεωρητικά σενάρια αντίστοιχης μείωσης διαθεσιμότητας:

- α) αργού πετρελαίου, με αντικατάστασή του από βιοκαύσιμα, φυσικό αέριο και ηλεκτροκίνηση (σενάρια 3Α-Γ)
- β) φυσικού αερίου, με αντικατάστασή του από βιοκαύσιμα και πετρελαιοειδή (σενάρια 4Α&Β)
- γ) βιομάζας, με αντικατάστασή της από φυσικό αέριο και πετρελαιοειδή (σενάρια 5Α&Β).

Τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους συνοψίζονται στον πίνακα 5.4.

Επίσης, εξετάστηκαν οι επιπτώσεις των σεναρίων ενεργειακής ασφάλειας στις πωλήσεις νέων οχημάτων τη χρονιά 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Με βάση την αρχική παραδοχή της μελέτης, οι συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων παραμένουν σταθερές και ίδιες με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, υπάρχουν επιμέρους διαφοροποιήσεις ανά τύπο οχήματος (ελαφρά - βαρέα) ή κατηγορία καυσίμου.

Πίνακας 5.4 Επιπτώσεις σεναρίων σε σχέση με το BAU σενάριο, χρονιά 2050

Σενάριο Επιπτώσεις	3A	3B	3Γ	4A	4B	5A	5B
Συνολικός στόλος οχημάτων	-5%	-15%	-15%	+3%	+3%	-10%	αμετάβλητος
Στόλος ελαφρών οχημάτων	-5%	-15%	-15%	+3%	+3%	-5%	αμετάβλητος
Στόλος βαρέων οχημάτων	-3%	-20%	-20%	+3%	+3%	-10%	αμετάβλητος
Κατανάλωση ενέργειας συνολικού στόλου οχημάτων	αμετάβλητη	-20%	-20%	+5%	+5%	-10%	αμετάβλητη
Κατανάλωση ενέργειας στόλου ελαφρών οχημάτων	-5%	-10%	-15%	+5%	αμετάβλητη	-5%	αμετάβλητη
Κατανάλωση ενέργειας στόλου βαρέων οχημάτων	αμετάβλητη	-25%	-25%	+10%	+10%	-15%	αμετάβλητη
Εκπομπές CO₂ συνολικού στόλου οχημάτων	-15%	-25%	-25%	+3%	+5%	-10%	αμετάβλητες
Εκπομπές CO₂ στόλου ελαφρών οχημάτων	-10%	-20%	-20%	+5%	+5%	-5%	αμετάβλητες
Εκπομπές CO₂ στόλου βαρέων οχημάτων	-15%	-25%	-25%	+3%	+5%	-10%	αμετάβλητες

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα - Συζήτηση

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζονται και αναλύονται τα καύσιμα και οι τεχνολογίες του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Αξιολογούνται διάφορα σενάρια διεύθυνσης ανά τύπο καυσίμου.

Τα μοντέλα αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών που προτείνονται στηρίζονται στη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας με τη χρήση του λογισμικού Expert Choice. Το πρώτο μοντέλο αξιολογεί εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα μεταφορών στην Ελλάδα, σε σχέση με οικονομικά και πολιτικά κριτήρια. Το δεύτερο μοντέλο αξιολογεί καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα σε σχέση με τεχνικά, οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου, η χρήση MEK σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς είναι τα πιο κατάλληλα εναλλακτικά καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Πρόκειται για μια ρεαλιστική προσέγγιση, δεδομένου ότι η παραγωγή και η χρήση των βιοκαυσίμων μπορούν επίσης να παρέχουν παράπλευρα οφέλη, όπως η αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας, μέσω της μείωσης της εξάρτησης από τις εισαγωγές πετρελαίου και της αντιστάθμισης της μεταβλητότητας των τιμών του πετρελαίου. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα μπορούν να στηρίξουν την οικονομική ανάπτυξη και τον κοινωνικό πλούτο μέσω της δημιουργίας νέων πηγών εισοδήματος στις αγροτικές περιοχές. Η χρήση MEK με συμβατικά καύσιμα (βενζίνη, ντίζελ) κατατάσσεται 3^η σχεδόν σε όλα τα σενάρια. Μόνο στο σενάριο που τα βάρη κριτηρίων πολιτικής μειώθηκαν στο 20%, η MEK παρέχει τη δεύτερη καλύτερη εναλλακτική λύση. Τα υβριδικά οχήματα είναι η 4^η επιλογή. Τέλος, σε αυτή τη μελέτη, τα ηλεκτρικά οχήματα, τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά και οι κυψέλες καυσίμου κατατάσσονται ως οι τελευταίες επιλογές, δεδομένου ότι το κόστος για τα ηλεκτρικά οχήματα και τις κυψέλες καυσίμου και τις αντίστοιχες υποδομές είναι σήμερα σημαντικά υψηλότερο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δεύτερου μοντέλου, η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας αξιολογούνται ως τα πιο κατάλληλα καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών. Πρόκειται για μια εξίσου

ρεαλιστική προσέγγιση, δεδομένου ότι η χρήση του βιοσυνθετικού φυσικού αερίου απαιτεί τις ίδιες υποδομές και οχήματα με τα υφιστάμενα του φυσικού αερίου, ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας αποτελεί μια ώριμη τεχνολογία. Η χρήση βιοαιθανόλης εμφανίζεται ως η 3^η επιλογή σε 3 από τα 6 σενάρια. Η χρήση βιοκαυσίμων από άγλη εμφανίζεται στη 2^η, 3^η και 4^η θέση σε 3 σενάρια επίσης. Τέλος, σε αυτή τη μελέτη, η χρήση βιοδιμεθυλαιθέρα, ντίζελ υδροθερμικής αναβάθμισης και βιο-υδρογόνου κατατάσσονται ως οι τελευταίες επιλογές κυρίως λόγω του υψηλού κόστους (παραγωγής ενέργειας, επενδύσεων και υποδομών).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα με χρήση του λογισμικού LEAP. Αναλύονται τα σενάρια διεξόδου των υφιστάμενων και νέων καυσίμων και τεχνολογιών έως το 2050, με στόχο την αξιολόγηση των αντίστοιχων ενεργειακών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει το σύνολο του στόλου ελαφρών και βαρέων οχημάτων που κυκλοφορούν στην Ελλάδα. Η ανάλυση των διαφόρων σεναρίων διεξόδου καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών της Ελλάδος, αξιολογεί τις επιπτώσεις που θα έχουν το 2050: α) στον στόλο των οχημάτων, β) στις πωλήσεις των νέων οχημάτων, γ) στην κατανάλωση ενέργειας και δ) στις εκπομπές CO₂.

Αρχικά, το σενάριο αναφοράς προσομοιώνει την παρούσα τάση εξέλιξης, ώστε να υπολογισθεί η προβολή στο μέλλον (2050) των καυσίμων και των αντίστοιχων εκπομπών τους, χωρίς την εφαρμογή νέων πολιτικών και μέτρων (σε σχέση με τις υφιστάμενες πολιτικές του 2010). Για το 2050, ο στόλος των ελαφρών οχημάτων αποτελείται σε ποσοστό από 41% συμβατικά οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης, 36% υβριδικά οχήματα, 8% ηλεκτρικά οχήματα, 1% οχήματα κυψελών καυσίμου, 7% βιοκαύσιμα και 7% οχήματα με αεριοκίνηση. Στην κατηγορία των βαρέων οχημάτων, το 90% είναι οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης, το 5% με βιοκαύσιμα και το 5% με αεριοκίνηση. Ο στόλος των οχημάτων στην Ελλάδα μειώνεται από 6,4 εκατομμύρια το 2010 στα 6 εκατομμύρια το 2050. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των ελαφρών οχημάτων μειώνεται σημαντικά από 5,4 εκατομμύρια οχήματα το 2010 σε 4,8 οχήματα το 2050, ενώ ο αριθμός των βαρέων οχημάτων αυξάνεται από 1 εκατομμύριο το 2010 σε 1,2 εκατομμύρια οχήματα το 2050. Το 2050

για το σενάριο αναφοράς, στις αντίστοιχες πωλήσεις των ελαφρών οχημάτων τα υβριδικά οχήματα αντιπροσωπεύουν σχεδόν το 50% των πωλήσεων, ενώ τα συμβατικά οχήματα με MEK λιγότερο από το 5%. Η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιείται το 2050 σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με το έτος αναφοράς, μειωμένη κατά 14% από 5.784 ktce σε 4.950 ktce. Η κατανάλωση ενέργειας για τα ελαφρά οχήματα είναι σημαντικά μειωμένη κατά 33% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 2.750 ktce σε 1.834 ktce, ενώ για τα βαρέα οχήματα δείχνει μια οριακή αύξηση μέχρι το 2050 από 3.034 ktce σε 3.116 ktce. Αντίστοιχα, οι εκπομπές CO₂ για το σενάριο αναφοράς το 2050 είναι μειωμένες κατά 21% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 16.995 ktons CO₂ σε 13.524 ktons CO₂. Ιδιαίτερα για τα ελαφρά οχήματα η μείωση των εκπομπών CO₂ είναι σημαντική, ενώ για τα βαρέα οχήματα δεν παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ για το 2050 σε σχέση με το 2010. Παρόλο που ο στόλος των βαρέων οχημάτων αντιστοιχεί σε λιγότερο από το ένα έκτο του συνολικού στόλου το 2050, οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 65% του συνόλου των εκπομπών.

Δημιουργήσαμε δύο εναλλακτικά σενάρια για το έτος 2050 χρησιμοποιώντας το μοντέλο LEAP. Και τα δύο εναλλακτικά σενάρια είναι βασισμένα στη δομή και δεδομένα του σεναρίου αναφοράς. Για το σενάριο 1 θεωρούμε αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και των βιοκαυσίμων με ταυτόχρονη σημαντική μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων (βενζίνης και ντίζελ), σύμφωνα με τις τάσεις που περιγράφονται στον Οδικό Χάρτη για το 2050 του Εθνικού Ενεργειακού Σχεδιασμού. Για το σενάριο 2 θεωρούμε αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, των βιοκαυσίμων και της αεροκίνησης, σύμφωνα με τις τάσεις που περιγράφονται στον Οδικό Χάρτη Ενέργειας της ΕΕ για το 2050.

Στη συνέχεια συγκρίνουμε τα δύο εναλλακτικά σενάρια με το σενάριο αναφοράς. Και στα δύο σενάρια ο στόλος των οχημάτων μειώνεται σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, τόσο για τα ελαφριά οχήματα όσο και για τα βαρέα οχήματα. Για λόγους σύγκρισης, θεωρούμε ότι οι συνολικές πωλήσεις νέων οχημάτων παραμένουν σταθερές και ίδιες με το σενάριο αναφοράς, για το σύνολο των σεναρίων. Η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων το 2050 μειώνεται για τα εναλλακτικά σενάρια σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Η κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο οχήματος συναρτάται εκτός από το καύσιμο ή την τεχνολογία κίνησης και

από την αντίστοιχη μέση διανυόμενη χιλιομετρική απόσταση. Στο σενάριο 2 η κατανάλωση ενέργειας είναι η μικρότερη σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, καθώς μειώνεται από 5.784 ktoe το 2010 σε 4.299 ktoe το 2050, κατά 26%. Η κατανάλωση ενέργειας για τα ελαφρά οχήματα είναι σημαντικά μειωμένη κατά 48% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 2.750 ktoe σε 1.431 ktoe, ενώ για τα βαρέα οχήματα μειώνεται μέχρι το 2050 κατά 5% από 3.034 ktoe σε 2.868 ktoe. Ακολουθώντας την ίδια τάση με την κατανάλωση ενέργειας, οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ μειώνονται σε όλα τα σενάρια. Στο σενάριο 2 οι εκπομπές CO₂ είναι οι λιγότερες σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Για το σενάριο 2 οι εκπομπές CO₂ είναι μειωμένες κατά 38% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010 από 16.995 ktons CO₂ σε 10.531 ktons CO₂.

Στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις από τυχόν μακροχρόνιους περιορισμούς στην προμήθεια καυσίμων ή στη μη διαθεσιμότητά τους στην ελληνική αγορά. Εξετάζονται τρία θεωρητικά σενάρια μείωσης διαθεσιμότητας: α) αργού πετρελαίου και των προϊόντων του (βενζίνη, ντίζελ), β) φυσικού αερίου και γ) βιομάζας. Για τον έλεγχο των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια της Ελλάδας λόγω της έλλειψης διαθεσιμότητας ενός τύπου καυσίμου, θεωρήθηκε ως εναλλακτική λύση η αντικατάσταση του από κάποιο άλλο καύσιμο. Αναλυτικότερα εξετάσαμε:

α) τρία σενάρια (3A, 3B, 3Γ) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης του διαθέσιμου αργού πετρελαίου, μειώνεται ο στόλος των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ελαφρά οχήματα μεταξύ 33% - 35% και σε βαρέα οχήματα μεταξύ 70 – 78% του στόλου το 2050, με αντίστοιχη υποκατάστασή τους από: i) βιοκαύσιμα, ii) φυσικό αέριο και iii) ηλεκτροκίνηση,

β) δύο σενάρια (4A, 4B) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης της διαθεσιμότητας φυσικού αερίου, μειώνεται η αεριοκίνηση στα ελαφριά οχήματα στο 2% του στόλου και στα βαρέα οχήματα στο 1% του στόλου, με αντίστοιχη υποκατάσταση από: i) βιοκαύσιμα και ii) πετρελαιοειδή ,

γ) δύο σενάρια (5A, 5B) στα οποία λόγω παρατεταμένης μείωσης της διαθεσιμότητας βιομάζας μειώνεται η κατανάλωση βιοκαυσίμων στα ελαφριά οχήματα στο 2% του στόλου και στα βαρέα οχήματα στο 1% του στόλου, με αντίστοιχη υποκατάστασή τους από: i) φυσικό αέριο και ii) πετρελαιοειδή.

Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου (3A-Γ) ο στόλος των οχημάτων μειώνεται αισθητά (~15%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα

φυσικού αερίου (3B) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα ο συνολικός στόλος αυξάνεται οριακά (~3%) για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4A&B). Μείωση κατά ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς παρατηρείται στο σενάριο μειωμένης διαθεσιμότητας βιομάζας 5A, ενώ στο σενάριο 5B παραμένει σχεδόν αμετάβλητος.

Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου (3A-Γ) η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων μειώνεται αισθητά (έως και 20%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου (3B) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων αυξάνεται ελαφριά (~5%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4A&B) ή παραμένει σχεδόν αμετάβλητη για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας βιομάζας (5A&B). Για τα σενάρια 3B&Γ παρατηρούμε ακόμα μεγαλύτερη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του στόλου των βαρέων οχημάτων (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αύξηση έως και 10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια 4A&B και μείωση ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για το σενάριο 5A. Το σενάριο 5B είναι παρόμοιο με το σενάριο αναφοράς.

Στα σενάρια της μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου (3A-Γ) οι εκπομπές CO₂ του στόλου των οχημάτων μειώνονται αισθητά (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, ιδιαίτερα για τα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου (3B) και ηλεκτροκίνηση (3Γ). Αντίθετα οι εκπομπές CO₂ του στόλου των οχημάτων αυξάνονται ελαφριά (~5%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας φυσικού αερίου (4A&B). Μείωση κατά ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς παρατηρείται στο σενάριο 5A, ενώ στο σενάριο 5B παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες. Για τα σενάρια 3B&Γ παρατηρούμε ακόμα μεγαλύτερη μείωση των εκπομπών CO₂ του στόλου των βαρέων οχημάτων (έως και 25%) σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, αύξηση έως και 5% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς για τα σενάρια 4A&B και μείωση ~10% για το σενάριο 5A σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Τόσο για το σύνολο του στόλου των οχημάτων, όσο και για τους επιμέρους στόλους ελαφρών και βαρέων οχημάτων, η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ είναι αντίστοιχη με την εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας για όλα τα σενάρια.

Συμπεράσματα

Η διατριβή αυτή ασχολείται με την ανάλυση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα. Εξετάζεται η μετάβαση σε σχέση με τεχνολογικά, οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια με ορίζοντα το 2050.

Προτείνονται δύο μοντέλα αξιολόγησης με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας, με στόχο την επιλογή των βέλτιστων εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών.

Το πρώτο μοντέλο αξιολογεί καύσιμα και τεχνολογίες του τομέα μεταφορών στην Ελλάδα, σε σχέση με οικονομικά και πολιτικά κριτήρια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου, η χρήση ΜΕΚ σε συνδυασμό με βιοκαύσιμα 1^{ης} και 2^{ης} γενιάς είναι τα πιο κατάλληλα καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα.

Το δεύτερο μοντέλο αξιολογεί καύσιμα επόμενης γενιάς που προέρχονται από βιομάζα σε σχέση με οικονομικά, τεχνολογικά, κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δεύτερου μοντέλου, η χρήση βιοσυνθετικού φυσικού αερίου και ηλεκτρισμού από καύση βιομάζας αξιολογούνται ως τα πιο κατάλληλα καύσιμα για τον τομέα των οδικών μεταφορών. Η χρήση βιοαιθανόλης εμφανίζεται ως 3^η επιλογή.

Ακολούθως, με τη χρήση του λογισμικού Leap γίνεται μοντελοποίηση, προσομοιώνεται η παρούσα τάση εξέλιξης και αναλύονται δύο εναλλακτικά σενάρια διεύθυνσης καυσίμων και τεχνολογιών και συγκρίνονται με την παρούσα τάση εξέλιξης. Και στα δύο σενάρια έχουμε σημαντική μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων (βενζίνης και ντίζελ). Επίσης, για το σενάριο 1 έχουμε αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων και των βιοκαυσίμων και για το σενάριο 2 αυξημένη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, των βιοκαυσίμων και της αεριοκίνησης.

Τόσο η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων το 2050 όσο και εκπομπές CO₂ μειώνονται και για τα δύο σενάρια σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, στο σενάριο 2 επιτυγχάνονται τα καλύτερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται το 2050 κατά 26% και οι εκπομπές CO₂ είναι μειωμένες κατά 38% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2010.

Τέλος, μελετάται η τυχόν μακροχρόνια έλλειψη διαθεσιμότητας ή περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας πρωτογενών καυσίμων (αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας) και οι επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Στο σενάριο μειωμένης διαθεσιμότητας βιομάζας η κατανάλωση ενέργειας του στόλου των οχημάτων μειώνεται κατά ~10% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς. Ωστόσο, στα σενάρια μειωμένης διαθεσιμότητας αργού πετρελαίου μειώνεται ακόμη περισσότερο. Ιδιαίτερα στα σενάρια της υποκατάστασης των οχημάτων εσωτερικής καύσης με οχήματα φυσικού αερίου και ηλεκτροκίνηση, τόσο η κατανάλωση ενέργειας όσο και οι εκπομπές CO₂ του στόλου των οχημάτων μειώνονται έως και 25%.

Η μετάβαση του τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα στη νέα ενεργειακή πραγματικότητα χαμηλών εκπομπών CO₂ δεν θα είναι μονοσήμαντη. Θα επιτευχθεί με την διείσδυση πολλών και διαφορετικών νέων καυσίμων και τεχνολογιών, η διείσδυση των οποίων θα εξαρτηθεί κυρίως από το κόστος τους και την αποδοχή τους από την κοινωνία.

Καινοτομία διατριβής

Η διατριβή χαρακτηρίζεται από επιστημονική πρωτοτυπία καθώς για τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα: α) αναπτύσσονται πρωτότυπα μοντέλα αξιολόγησης καυσίμων και τεχνολογιών με τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας και τη χρήση του λογισμικού Expert Choice και β) αναλύονται σενάρια διείσδυσης καυσίμων και τεχνολογιών με τη χρήση του λογισμικού LEAP.

Η καινοτομία της παρούσας διατριβής μπορεί να συνοψιστεί στα εξής:

- Μοντελοποίηση και αξιολόγηση των νέων καυσίμων και τεχνολογιών στον τομέα των οδικών μεταφορών.

- Επεξεργασία και αξιολόγηση σεναρίων διείσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών σε σχέση με οικονομικά, τεχνολογικά, κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια.
- Επιλογή σεναρίων διείσδυσης νέων καυσίμων και τεχνολογιών με χρήση του λογισμικού LEAP σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂.
- Μελέτη των επιπτώσεων στην ενεργειακή ασφάλεια από τυχόν μακροχρόνιους περιορισμούς στην προμήθεια καυσίμων ή στη μη διαθεσιμότητά τους με χρήση του λογισμικού LEAP σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂.

Συμβολή της διατριβής

Η διατριβή συμβάλει στην πρόοδο της επιστήμης καθώς αξιολογούνται εναλλακτικά καύσιμα και τεχνολογίες στις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα σε σχέση με οικονομικά, τεχνολογικά, κοινωνικά και πολιτικά κριτήρια.

Με τη χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας αξιολογούνται διάφορα σενάρια, ώστε να υπολογισθούν οι βέλτιστες επιλογές νέων καυσίμων και τεχνολογιών. Επίσης, αναλύεται ο τομέας των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα με τη χρήση του λογισμικού LEAP.

Οι προηγούμενες προσεγγίσεις στη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας χρησιμοποιούν ως παραμέτρους συνήθως συνδυασμό οικονομικών και πολιτικών ή περιβαλλοντικών κριτηρίων, ενώ διερευνούν μεμονωμένες κατηγορίες καυσίμων (π.χ. μόνο υγρά βιοκαύσιμα, υδρογόνο κτλ.), σε τμήματα του στόλου οχημάτων.

Η βασική διαφορά της μεθόδου της διατριβής είναι ο μεγάλος αριθμός κριτηρίων και καυσίμων που χρησιμοποιούνται, ώστε να καλύπτεται το σύνολο των λύσεων που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν τις επόμενες δεκαετίες, (Tsita and Pilavachi, 2012

και Tsita and Pilavachi, 2013). Επίσης, παρουσιάστηκαν λεπτομερώς τα βιοκαύσιμα επόμενης γενιάς (Κιαρτζής, Πηλαβάκης και Τσίτα, 2016).

Οι προηγούμενες προσεγγίσεις στην ανάλυση σεναρίων με τη χρήση του λογισμικού LEAP, διερευνούν τις επιπτώσεις σεναρίων στον τομέα των μεταφορών σε σχέση με την ενέργεια και το περιβάλλον ως επί το πλείστον σε αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ διερευνούνται πολιτικές και σενάρια που προτείνονται από τις χώρες αυτές. Στην παρούσα διατριβή το σενάριο αναφοράς και τα αντίστοιχα εναλλακτικά σενάρια βασίζονται στις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ελλάδος για το περιβάλλον και τις μεταφορές.

Τέλος, μελετάται η τυχόν μακροχρόνια έλλειψη διαθεσιμότητας ή περιορισμένη δυνατότητα προμήθειας πρωτογενών καυσίμων (αργού πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας) και οι επιπτώσεις στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας.

Προτάσεις για νέα έρευνα

Οι προτάσεις για νέα έρευνα αφορούν τα κριτήρια αξιολόγησης και την ανάλυση των σεναρίων διείσδυσης των νέων καυσίμων και τεχνολογιών του τομέα οδικών μεταφορών.

Στα οικονομικά υποκριτήρια προτείνεται να προστεθούν μακροοικονομικά μεγέθη που αντιστοιχούν στο δημόσιο χρέος και στον πληθωρισμό και η φορολογία (έμμεση και άμεση), καθώς επηρεάζουν τη βιωσιμότητα επενδύσεων σε νέα καύσιμα. Προτείνεται επίσης η αναθεώρηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στα οικονομικά κριτήρια με νεότερα στοιχεία που θα προκύπτουν από σύγχρονες μονάδες παραγωγής καυσίμων επόμενης γενιάς, είτε πιλοτικής είτε βιομηχανικής κλίμακας.

Στα τεχνολογικά υποκριτήρια προτείνεται να προστεθεί η ενίσχυση της τεχνολογικής καινοτομίας μέσω Ευρωπαϊκών πολιτικών χρηματοδότησης της έρευνας σε νέα καύσιμα και τεχνολογίες.

Στα κοινωνικά υποκριτήρια προτείνεται να προστεθούν το εκπαιδευτικό και μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού, καθώς μπορούν να προσδιορίσουν τον βαθμό κατανόησης του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής από τους πολίτες. Ομοίως, η προσθήκη της κουλτούρας του πληθυσμού σε δράσεις ανακύκλωσης ως υποκριτήριο μπορεί να καταδείξει θέματα προώθησης αντίστοιχων επενδύσεων. Νέα υποκριτήρια μπορεί να αποτελέσουν η ηλικιακή και γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού, ακόμη και οι δεξιότητές του στην χρήση Η/Υ και του διαδικτύου που θα προσδιορίσουν την κατανόηση νέων καυσίμων και τεχνολογιών από τους πολίτες.

Στα πολιτικά υποκριτήρια προτείνεται να προστεθούν η στροφή του πληθυσμού στα μέσα μαζικής μεταφοράς, η αλλαγή της οδηγητικής συμπεριφοράς (car-pooling) και οι συνδυασμένες μεταφορές με χρήση οδικού και σιδηροδρομικού ή ακτοπλοϊκού δικτύου. Η αλλαγή αυτή θα τροποποιήσει σημαντικά τον βαθμό διείσδυσης των νέων καυσίμων με σημαντικές επιπτώσεις στον στόλο των οχημάτων έως το 2050. Αντίστοιχες επιπτώσεις μπορούν να εξεταστούν στην περίπτωση της αλλαγής των αναπτυξιακών πολιτικών της χώρας που θα οδηγήσουν είτε σε φαινόμενα έντονης αστικοποίησης είτε σε ενίσχυση της υπαίθρου και της ηπειρωτικής χώρας.

Η ανάλυση των σεναρίων διείσδυσης καυσίμων και τεχνολογιών μπορεί να τροποποιηθεί ως προς τα χαρακτηριστικά του στόλου οχημάτων και των αντίστοιχων καυσίμων, όπως η αλλαγή του κύκλου ζωής των οχημάτων και της αντίστοιχης χιλιομετρικής απόστασης που διανύουν.

Τέλος, μπορεί να αναλυθεί η επίπτωση των μελλοντικών τεχνολογικών βελτιώσεων στα χαρακτηριστικά των κινητήρων και των καυσίμων στην οικονομία του καυσίμου.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωση βιβλιογραφία

1. Ajanovic A., 2010. Renewable fuels - A comparative assessment from economic, energetic and ecological point of view up to 2050, in EU countries, World Renewable Energy Forum 2012, Denver.
2. Alasti E., 2011. Social Acceptance of Bioenergy in Europe. MSc Thesis, Lund University, Sweden.
3. Alonso J., Lamata M., 2006. Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge- Based Systems*, 14(4), 445-459.
4. APEC, 2010. A Study of Employment Opportunities from Biofuel Production in APEC Economies, APEC Energy Working Group, February 2010.
5. Atkinson A.B., Stiglitz J.E., 1980. *Lectures on Public Economics*, London.
6. Badin F., Vinot E., 2007. The Potential for Fuel Consumption Reduction from Stop-Start to Plug-in HEVs in actual use. *Hybrid Vehicle Technologies 2007 Symposium*, San Diego.
7. Balagopal B., Paraniakas P., Rose J., 2010. What' s Next for Alternative Energy? The Boston Consulting Group Report.
8. Balat H., 2010. Prospects of biofuels for a sustainable energy future: a critical assessment. *Energy Educ Sci Technology Part A*, 85-111.
9. Balat M., 2011. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy Conversion and Management*, 52, 858-875.
10. Balat M., Balat M., 2009. Political, Economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy* 34, 3589-3603.
11. Balat H., Kirtay E., 2010. Hydrogen from biomass- Present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy* 35, 7416-7426.
12. Baptista P., Tomas, M., Silva C., 2010. Plug-in hybrid fuel cell vehicles market penetration scenarios. *International Journal of Hydrogen Energy* 35, 10024-10030.
13. Bauer M., Ma, E., Elizalde A., 2003. Transport and energy demand in Mexico: the personal income shock. *Energy Policy* 31, 1475-1480.
14. Berglund, C., Söderholm, P., 2006. Modeling technical change in energy systems analysis: analyzing the introduction of learning-by-doing in bottom-up energy models. *Energy Policy* 34, 1344-1356.
15. BERR, 2008. Investigation into the Scope for the Transport Sector to Switch to Electric Vehicles and Plug-in Hybrid Vehicles, Dep. for transport, United Kingdom.
16. Black & Veatch, 2012. Cost and Performance data for power generation technologies Report. Available from: < <http://bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf>>.

17. Boarnet M.G., 2010. Planning, climate change and transportation: Thoughts on policy analysis. *Transportation Research Part A* 44, 587-595.
18. Böhringer C., Rutherford T.F., 2007. «Combining Top-Down and Bottom-up in Energy Policy Analysis: A Decomposition Approach», Centre for European Economic Research, <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp06007.pdf>
19. Bose R.K., 1996. Energy Demand and Environmental implications in urban transport-case of Delhi. *Atmospheric Environment* 30(3), 403-412.
20. BP, 2014. BP Energy Outlook 2035.
21. Brennan L., Owende P., 2010. Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 557-577.
22. Bridgewater A.V., Toft A.J., Brammer J.G., 2002. A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 181-248.
23. Brohmann B., Feenstra Y., Heiskanen E., Hodson M., Mouric R., Prasad G., Raven R., 2007. Factors influencing the societal acceptance of new renewable and energy efficiency technologies: meta-analysis of recent European projects. Paper presented at European Roundtable for Sustainable Consumption, 2007, Basel, June 20-22.
24. Cai W.J., Wang C., Chen J.N., Wang K., Zhang Y., Lu X.D., 2008. Comparison of CO₂ emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020. *Energy Policy* 36, 1181-94.
25. Calix C., 2009. Energy Policy and Energy Plan for Honduras to 2030. Database of DGE-Honduras.
26. Carriquiry M.A., Du X. and Timilsina G.R., 2010. "Second Generation Biofuels: Economics and Policies", WPS 5406, World Bank, Development Research Group, Environment and Energy Team.
27. Chatzimouratidis A.I., Pilavachi P.A., 2007. Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic hierarchy process. *Energy Policy* 35, 4027-4038.
28. Chauhan K. A., Shah N.C., Venkata R.R., 2008. The Analytic Hierarchy Process as a decision-support system in the housing sector: a case study. *World Applied Sciences Journal* 3, 609-613.
29. Cheng J.J., Timilsina G.R., 2010. "Advanced Biofuel Technologies: Status and Barriers", WPS 5411, World Bank, Development Research Group, Environment and Energy Team.
30. Common M., Stagl S., 2005. *Ecological Economics – An Introduction*, Cambridge.
31. Connolly D., Lund H., Mathiesen B.V., Leahy M., 2010. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy* 87(4), 1059-1082.

32. Cozens P., Manson-Whitton C., 2010. Bio-SNG: Feasibility Study, Establishment of a Regional Project, Final Report to NEPIC, National Grid and Centrica.
33. Dannenberg A., Mennel T., Moslener U., 2008. What does Europe pay for clean energy? – Review of macroeconomic simulation studies. *Energy Policy* 36, 1318-1330.
34. Das A., Parikh J., 2004. Transport scenarios in two metropolitan cities in India: Delphi and Mumbai. *Energy Policy* 31, 1493-1507.
35. Das D., Khanna N., Veziroglou T.N., 2008. Recent developments in biological hydrogen production process. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 14, 57-67.
36. Demirbas A., 2009. *Biofuels, Securing the Planet' s Future Energy Needs*, Springer - Verlag, London.
37. Demirbas M. F., 2011. Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy* 88, 3473-3480.
38. Devine-Wright P., 2008. Reconsidering public acceptance of renewable energy technologies: a critical review, in: Jamasb T., Grubb M., Pollitt M., *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economies and Policy*, Cambridge University Press.
39. Donovan J., Stowe N., 2009. "Is the Future of Biofuels in Algae?" *RenewableEnergyWorld.com* 06/12/2009. Available from <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/06/is-the-future-ofbiofuels-in-algae>.
40. EC, DG for Mobility and Transport, 2011. Study on Clean Transport Systems Project.
41. EC, 2014, "EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050 – Reference Scenario 2013"
42. Ecorys, 2006. Study on Strategic Evaluation on Transport Investment Priorities under Structural and Cohesion funds for the Programming Period 2007-2013. Country Report Greece.
43. Edwards P.P., Kuznetsov V.L., David, W.I.F., Brandon, N.P., 2008. Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. *Energy Policy* 36, 4356-4362.
44. Emadi A., 2011. Transportation 2.0. *IEEE Power and Energy* 9 (4), 19-29.
45. Emisia, 2013, available from <<http://www.emisia.com/>>.
46. EREC, 2004. Renewable Energy Target for Europe: 20% by 2020.
47. ERTRAC, 2009. European industry roadmap, electrification of road transport, version 3.2.
48. EU, 2010. A European strategy on clean and energy efficient vehicles, COM(2010)186.
49. EU, 2011. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. COM (2011) 112.
50. EU, 2011a. EU COM(2011) 885 final Energy Roadmap 2050.

51. EU, 2011b. EU SEC(2011) 1565 final, part 2/2 Energy Roadmap 2050 Impact Assessment.
52. EU, 2014. Directive 2014/94/EU: On the deployment of alternative fuels infrastructure.
53. EU-Directive 2003/30/EC, 2003. On the promotion of the use of biofuels and other renewable fuels for transport.
54. European Biodiesel Board, 2006. Biodiesel Chains: Promoting favourable conditions to establish biodiesel market actions, WP2 Biodiesel Market Status, Deliverable 7: EU-27 Biodiesel Report.
55. European Biofuels Technology Platform, 2012. Biomass with CO₂ Capture and Storage - The way forward for Europe. European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants. Available from: <http://bellona.org/ccs/uploads/tx_wec_contentelements/filedownload/EBTP__ZEP_Report_BioCCS_The_Way_Forward.pdf>.
56. European Central Bank, 2010. Energy Markets and the Euro Area Macroeconomy. Occasional Paper Series, 113.
57. European Commission Joint Research Centre (EU-JRC), 2008. Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties.
58. EUROPIA, 2011. White Paper on Fuelling EU Transport.
59. Eurostat, 2012. "Gross inland energy consumption by fuel type". Available from: <<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=tsdcc320&language=en>>.
60. Faaij A.P.C., 2006. Bio-energy in Europe: changing technology choices. Energy Policy 34, 322-342.
61. Farrell A.E., Keith D.W., Corbett J.J., 2003. "A Strategy for Introducing Hydrogen into Transportation." Energy Policy 31: 1357-1367
62. Feng Y.Y., Zhang L.X., 2012, Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. Procedia Environmental Sciences 13, 632-644.
63. Flores C.W., Ojeda O.A, Flores M., Rivas F.R., 2011. Sustainable energy policy in Honduras: Diagnosis and challenges. Energy Policy 39, 551-562.
64. Forman E., Selly M.A., 2001. Decision By Objectives: How to convince others that you are right, World Scientific Publishing.
65. Forster H., Healy S., Loreck C., Matthes F., Fishedick M., Samadi S., Venjakob J., 2012. Decarbonisation scenarios leading to EU energy roadmap 2050. Smart energy for Europe Platform.
66. Frank A.A., 2007. Plug-in hybrid vehicles for a sustainable future. Scientific American 95 (2), 158-165.
67. Froggatt A., Levi M.A., 2009. Climate and energy security policies and measures: synergies and conflicts. Foreign Affairs 85, 1129-1141.

68. Ghoniem A.F., 2011. Needs, resources and climate change: Clean and efficient conversion technologies. *Progress in Energy and Combustion Science* 37, 15-51.
69. Good D.A., Hanson J., Francisco J.S., Li Z.J., Jeong G.R., 1999. Kinetics and reaction mechanism of hydroxyl radical reaction with methyl formate. *Journal of Physical Chemistry A* 103, 10893–10898.
70. Grassi G., 2005. Biofuel for transport, Latin America Thematic Network on Bioenergy. Available from: http://web.etaflorence.it/uploads/media/LAMNET_biofuels_transport.pdf.
71. Greenpeace, 2009. Green development and new work places, Athens, May 2009.
72. Hamelinck C. N., Faaij A.P.C., 2002. Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass. *Journal of Power Sources* 111, 1-22.
73. Heaps C.G., 2012. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Soft-ware version 2012.0049] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA. Available from <http://www.energycommunity.org/>.
74. Hill N., Hazeldine, T., Einem J., Pridmore, A., Wynn, D., 2009. EU transport GHG: routes to 2050?, *Alternative Energy Carriers and Powertrains to Reduce GHG from Transport*, AEA.
75. Hoekman S.K., 2009. Biofuels in the U.S. – challenges and opportunities. *Renewable Energy* 34, 14-22.
76. Howarth R.W., Bringezu S., Martinelli L.A., Santoro R., Messer D., Sala O., 2009. Introduction: biofuels and the environment in the 21st century. Pages 15- 36, in R.W. Howarth and S. Bringezu (eds) *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuels Project Rapid Assessment, 22-25 September 2008, Gammersbach Germany. Cornell University, Ithaca NY, USA. Available from <http://cip.cornell.edu/DPubS?service=UI&version=1.0&verb=Display&handle=scope/1245782001>
77. Iatridis M., Karamani F., 2009. Energy Efficiency Policies and Measures in Greece. EEI Project "Monitoring of Energy Efficiency in EU 27, Norway and Croatia (ODYSSEE-MURE)" Report.
78. ICS-UNIDO (International Centre For Science and High Technology - United Nations Industrial Development Organization), 2007. Bio-fuels, Technology Status and Future Trends, Technology Assessment and Decision Support Tools. Available from: http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0706_ICS_UNIDO_-_Bio-fuels.pdf.
79. IEA-AMF, 2009. Strategic Plan 2009-2014.
80. IEA-AMF, 2011. Algae as a Feedstock for Biofuels – An Assessment of the Current Status and Potential for Algae Biofuels Production.
81. IEA-HEV, 2011. Matching electric vehicle deployment and charging infrastructure.
82. IFP Energies nouvelles, 2011. New biofuel production technologies: overview of these expanding sectors and the challenges facing them.

83. Ishizaka A., Labib A., 2009. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: benefits and limitations. *OR Insight* 22, 201-220.
84. Jones S., 2000. Hydrogen Distribution and Transmission, UK Hydrogen Energy Network - Hydrogen Storage Workshop. Available from: <http://www.fuelcellmarkets.com/content/images/articles/Nov_00_Hydrogen_Energy_Network.pdf>.
85. Kamal M.A., 2001. Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19, 19-27.
86. Kablan M.M., 2004. Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy* 32, 1151-1158.
87. Kim J.S., Park S.C., Kim J.W., Park J.C., Park S.M., Lee J.S., 2010. Production of bioethanol from lignocellulosic: status and perspectives in Korea. *Bioresource Technology* 101, 4801-4805.
88. Kirtay E., 2011. Recent advances in production of hydrogen from biomass. *Energy Conversion and Management* 52, 1778-1789.
89. Knoshaug E., Darzins A., 2011. Algal biofuels: the process. *CEP* 11, 37-47.
90. Kolwzan K., Narewski M., 2012. Study on alternative fuels for marine applications. *Clean Shipping Currents* 1(3), 1-43.
91. Köhler J., Whitmarsh L., Nykvist B., Schilperoor M., Berga, N., Haxeltine, A., 2009. A transitions model for sustainable mobility. *Ecological Economics* 68, 2985-2995.
92. Kristofel C., Wopienka E., 2011. Social acceptance of alternative and mixed biomass pellets. IEE/09/758/SI2.558286-MixBioPells WP2/D2.6, EC Report.
93. Kromer M.A., Bandivadekar A., Evans C., 2010. Long-term greenhouse gas emissions and petroleum reduction goals: Evolutionary pathways for the light-duty vehicle sector. *Energy* 35, 387-397.
94. Lee S., Shah Y.T., 2012. *Biofuels and Bioenergy Processes and Technologies*. CRC Press.
95. Levi M., Economy E.C., O'Neil, S., Segal, A., 2010. Globalising the Energy Revolution. *Foreign Affairs* 89 (6), 111-122.
96. Li Y., Wang T., Yin X., Wu C., Ma C., Li H., Lv Y., Sun L., 2010. 100 t/a-scale demonstration of direct dimethyl ether synthesis from corncob-derived syngas. *Renewable Energy* 35, 583-587.
97. Liberatore, M.J., Nydick, R.L., 2003. *Decision Technology – Modeling, Software and Applications*, John Wiley and Sons Inc, New York.
98. Macharis C., Springael J., De Brucker K., Verbeke A., 2004. PROMETHEE and AHP: the design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153, 307-317.
99. Mandell S., 2009. Policies towards a more efficient car fleet. *Energy Policy* 37, 5184-5191.

100. Marsh G., Biofuels: aviation alternative?, *Renewable Energy Focus*, Volume 9, Issue 4, July-August 2008, Pages 48-51, ISSN 1755-0084, DOI: 10.1016/S1471-0846(08)70138-0.
101. McKinsey & Company report, 2009. Roads toward a low-carbon future: reducing CO₂ emissions from passenger vehicles in the global road transportation system. Available from http://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/pdfs/roads_toward_low_carbon_future_new.ashx.
102. McKinsey & Company, 2010. The Role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles - A Portfolio of Power-trains for Europe: A Fact Based Analysis. Available from https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwik4s6ons7OAhXMvBQKHdYkBLQQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eesi.org%2Ffiles%2Furope_vehicles.pdf&usq=AFQjCNEzMVE5STLbvi6z3VhRiz-lwshbQ
103. MEDENER, 2013. Energy efficiency trends in Mediterranean countries. Report on energy efficiency indicators in Southern and Eastern Mediterranean countries.
104. Meibom, P., Hilger, K.B., Madsen, H., Vinther, D., 2013. Energy comes together in Denmark. *IEEE Power & Energy Magazine*, Sep 2013, 46-55.
105. Meijden C., Veringa H., Vreugdenhil B., Drift B., Zwart R., Smit R., 2009. Production of bio-methane from woody biomass. Energy Research Centre of the Netherlands, Report. <ftp://ec.nl/pub/www/library/report/2009/m09086.pdf>.
106. Meijden C.M., Veringa H.J., Rabou L., 2010. The production of synthetic natural gas (SNG): a comparison of three wood gasification systems for energy balance and overall efficiency. *Biomass and Bioenergy* 34, 302-311.
107. Melin K. 2011, Technoeconomical study of bio-SNG production from lignocellulosic biomass. EGATEC Conference 12-13 May 2011, GERG Network. http://www.egatec2011.dk/presentations/thursday12/PS2F_Melin_egatec2011.pdf
108. Mellios, G., Samaras, C., Ntziachristos, L., 2011. Projection of CO₂ emissions from road transport. Report No.1:0.RE.0034.V4. ETC/ACC Implementation Plan 2010.
109. Michelin, 2012. Let's drive BIO! What biofuels for what uses tomorrow?, Michelin Challenge Bibendum Booklets.
110. Midden C.J.H., Meijnders A.L., Ouwens D., 2007. Biomass as a sustainable energy source: environmental load, cost-effectiveness and public acceptance. http://www.nwo.nl/nwohome.nsf/pages/NWOP_5W8CBN
111. Morse E.L., 2009. Low and Behold, Making the most of cheap oil. *Foreign Affairs* 88 (5), 36-52.
112. Naber J. E., Coudriaan F., 2008. Successfully using biomass to harness renewable energy in an efficient and cost-effective way. http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/NeueBiokraftstoffe/5_HTU.pdf
113. Nath R., Adams K., 2013. The U.S. biofuel race – Hype or reality? BCG Perspectives, The Boston Consulting Group Inc. Available from

<https://www.bcgperspectives.com/Images/The_US_Biofuel_Race_Oct_2013_tcm80-147625.pdf>.

114. Nava M.R., Daim T.U., 2007. Evaluating alternative fuels in USA: a proposed forecasting framework using AHP and scenarios. *International Journal of Automotive Technology and Management* 7(4), 289 - 313.
115. Neuwahl F., Loschel A., Mongelli I, Delgado L., 2008. Employment impacts of EU biofuels policy: combining bottom-up technology information and sectoral market simulations in an input-output framework. *Ecological Economics* 68, 447-460.
116. Ntziachristos L., Mellios G., Kouridis C., Papageorgiou T., Theodosopoulou M., Samaras Z., Zierock K., Kouvaritakis N., Panos E., Karkatsoulis P., Schilling S., Meretei T., Bodor P., A., Damjanovic S., Petit A., 2008. European database of vehicle stock for the calculation and forecast of pollutant and greenhouse gases emissions with tremove and copert. Final Report.
117. OECD/IEA, 2003. *Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future*, Paris.
118. OECD/IEA, 2007. *Energy Security and Climate Policy*, Paris.
119. OECD/IEA, 2009a. *Cities, Towns and Renewable Energy*, Paris.
120. OECD/IEA, 2009b. *World Energy Outlook*, Paris.
121. OECD/IEA, 2009c. *Transport, Energy and CO₂*, Paris.
122. OECD/IEA, 2011a, *Energy Policies of IEA Countries: Greece 2011 Review*, Paris.
123. OECD/IEA, 2011b. *Technology Roadmap, Biofuels for Transport*, Paris.
124. OECD/IEA, 2012a. *Tracking Clean Energy Progress*, Paris.
125. OECD/IEA, 2012b. *Bioenergy for Heat and Power, Technology Roadmap*, Paris.
126. OECD/IEA, 2013. *Redrawing the Energy-Climate Map*, Paris.
127. OECD/IEA, 2014. *Energy Supply Security – Emergency response of IEA countries 2014*, Paris.
128. Oilgae, 2011. *Comprehensive Oilgae Report*. www.oilgae.com.
129. OTTI, Proceedings of the 2nd European Conference on Smart grids and E-Mobility, Brussels, October 2010.
130. Pant D., Bogaert G.V., Diels L., Vanbroekhoven K., 2010. A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresour Technol* 101, 1533–1543.
131. Pant D., Singh A., Bogaert G.V., Diels L., Vanbroekhoven K., 2011. An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: relevance and key aspects. *Renew Sustain Energ Rev* 15, 1305–1313.

132. Papadopoulos A., Boemi S., Giama E., SliniT., 2011. Knowledge transfer and research needs for preparing mitigation/adaptation policy portfolios. Report to EC project PROMITHEAS-4.
133. Papagiannaki K., Diakoulaki D., 2009. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark. *Energy Policy* 37, 3259-3267.
134. Papalexandrou M.A., Pilavachi P.A., Chatzimouratidi A.I., 2008. Evaluation of liquid bio-fuels using the Analytic Hierarchy Process. *Process Safety and Environment Protection* 86, 360-374.
135. Pascual C., Elkind J., 2010. *Energy Security, Economics, Politics, Strategies and Implications*, Brookings Institution Press, Washington D.C.
136. Patil V., Tran K.Q., Giselrod H.R., 2008. Towards sustainable production of biofuels from microalgae, *Int. Jnl of Molecular Science* 9,1188-1195.
137. Pilavachi P.A., Chatzipanagi A.I., Spyropoulou A.I., 2009a. Evaluation of hydrogen production methods using the Analytic Hierarchy Process. *Int. Jnl of Hydrogen Energy* 34, 5294-5303.
138. Pilavachi P.A., Stephanidis S.D., Pappas V.A., Afgan N.H., 2009b. Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies. *Applied Thermal Engineering* 29, 2228-2234.
139. Poh K.L., Ang B.W., 1999. Transportation fuels and policy for Singapore: an AHP planning approach. *Computers and Industrial Engineering* 37, 507-525.
140. Quintero J.A., Montoya M.I., Sanchez O.J., Giraldo O.H., Cardona C.A., 2008. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. *Energy* 33(3), 385-399.
141. RETRANS, 2010. Opportunities for the use of renewable energy in road transport, Policy Makers Report.
142. Ribeiro K.S., Kobayashi S., Beuthe M., Gasca J., Greene D., Lee D.S., Muromachi Y., Newton P.J., Plotkin S., Sperling D., Wit R., Zhou P.J., 2007. "Transport and its infrastructure", In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
143. Rohracher H., Bogner T., Spath P., Faber F., 2004. Improving the public perception of bioenergy in the EU, EC. Final Report.
144. Romm J., 2006. The car and fuel of future. *Energy Policy* 34 (17), 2609-2614.
145. Rosch C., Kaltschmitt M., 1999. Energy from biomass-do non-technical barriers prevent an increased use? *Biomass and Bioenergy* 16, 347-356.
146. Rutz D., Janssen R., 2007. *Biofuel technology handbook*, WIP Renewable Energies, Munich. Available from: <http://www6.zetatalc.com/docs/Biogas/Biofuel_Technology_handbook_1vs_WIP_2007.pdf>.

147. Saaty O., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 83-98.
148. Saaty T., 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.
149. Saaty, T., 1999. *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. RWS Publications Pittsburgh, Pennsylvania, pp.291.
150. Sahin Y., 2011. Environmental impacts of biofuels. *Energy Educ Sci Technol Part A* 26, 29-142.
151. Santos G., Behrendt H., Teytelboym A., 2010. Part II: Policy instruments for sustainable road transport. *Research in Transportation Economics* 28, 46-91.
152. Schenk P., Thomas-Hall S., Stephens E., Marx U., Mussnug J., Posten C., 2008 Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production. *BioEnergy Research* 1, 20–43.
153. Scott S.A., Davey M.P., Dennis J.S., Horst I., Howe C., Lea-Smith D. J., Smith A. G., 2010. Biodiesel from algae: challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology* 21, 277-286.
154. Seadi T.A., Rutz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., 2008. *Biogas Handbook, Biogas for Eastern Europe Project*. Available from: <<http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>>.
155. Searchinger T., Heimlich R., Houghton R., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 29, 1238–40.
156. Semelsberger T.A., Borup R.L., Greene H.L., 2006. Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. *Journal of Power Sources* 156, 497-511.
157. SHIVAA, 2009. *Green jobs – Greek report*, Project SHIVAA: 502901-LLP-1-2009-1-FR-GRUNDTVIG-GMP. Available from: <[http://www.shivaa-greenjob.eu/data/dataimages/Upload/Green_jobs_report_Greece-\(1\).pdf](http://www.shivaa-greenjob.eu/data/dataimages/Upload/Green_jobs_report_Greece-(1).pdf)>.
158. Sims R., Taylor M.; Saddler J., Mabee, W., 2008. *From 1st- to 2nd-Generation biofuel technologies, an overview of current industry and RD&D activities*, IEA Report.
159. Singh A., Nigam P.S., Murphy J. D., 2011a. Renewable fuels from algae: an answer to debatable land based fuels. *Bioresource Technology* 102, 10-16.
160. Singh A., Pant D., Olsen S.I., Nigam S.P., 2011b. Key issues to consider in microalgae based biodiesel production. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* 29(1), 687-700.
161. Solomon B.D., Barnes J.R., Halvorsen K.E., 2007. Grain and cellulosic ethanol: history, economics and energy policy. *Biomass and Bioenergy* 31, 416-425.
162. Sousa-Aguiar E.F., 2012. Biorefineries via thermochemical route: main challenges in heterogeneous catalysis. *Bio4SuD Conference*, 19-20 Nov 2012, Thessaloniki, Greece.

163. Spiegel E., McArthur N. and Norton R.; *Energy Shift: Game-Changing Options for Fueling the Future*, Booz & Company Inc., 2009.
164. Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A., 2006. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101,87–96.
165. Statoil, 2014. *Energy Perspectives. Long-term macro and market outlook*.
166. Steenhof P.A., McInnis B.C., 2008. A comparison of alternative technologies to decarbonize Canada's passenger transportation sector. *Technological Forecasting and Social Change* 75, 1260-1278.
167. Stockholm Environment Institute, 2011. *LEAP User Guide*, May 2011.
168. Sun Y., Cheng J., 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83, 1-11.
169. Swami S.M., Chaudhari V., Kim D.S., Sim S.J., Abraham M.A., 2008. Production of hydrogen from glucose as a biomass simulant: integrated biological and thermochemical approach. *Int Eng Chem Res* 47, 3645–51.
170. Sweethanol, 2012. *Sustainable Ethanol for EU*. Available from <http://www.sweethanol.eu>
171. Talebnia F., Karakashev D., Angelidaki I., 2010. Production of bioethanol from wheat straw: an overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology* 101, 4744-4753.
172. Thomas C.E., 2009. Fuel cell and battery electric vehicles compared. *International Journal of Hydrogen Energy* 34, 6005-6020.
173. Timilsina G.R., Shrestha A., 2010; "Biofuels Markets: Targets and Impacts", WPS 5364, World Bank, Development Research Group, Environment and Energy Team.
174. Timilsina G.R, Shresth, A., 2011. How much hope should we have for biofuels? *Energy* 36, 2055-2069.
175. Triantaphyllou E., Mann S., 1995. Using the hierarchy process for decision-making in engineering applications: some challenges. *Int. Jnl of Industrial Engineering: Applications and Practice* 2, 35-44.
176. Tsita K.G., Pilavachi P.A., 2012. Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process. *Energy Policy* 48, 677-686.
177. Tsita K.G., Pilavachi P.A., 2013. Evaluation of next generation biomass derived fuels fuels for the transport sector. *Energy Policy* 62, 677, 443-455.
178. Tzeng G.-H., Lin C.-W., Opricovic S., 2005. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy* 33, 1373-1383.
179. UNEP, 2009. *Report, Global Trends in Sustainable Energy Investments*. United Nations Environmental Programme.
180. US DoE - US Department of Energy, 2005. *Genomics GTL roadmap: systems biology for energy and environment*. Office of Science.

181. US DoE - US Department of Energy, 2006. Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol – a joint research agenda. Office of Science and Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, DoE/SC-0095.
182. US DoE - US Department of Energy, 2007. Biomass multi-year program plan. Office of the Biomass program.
183. US DoE - US Department of Energy, 2008a. Algal biofuels-biomass program. Available from: <<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/algabiofuels.pdf>>.
184. US DoE - US Department of Energy, 2008b. Biomass Program Biofuels Initiative. Available from: <http://www1.eere.energy.gov/biomass/biofuels_initiative.html>.
185. US GAO - United States Government Accountability Office, 2009. Aviation and Climate Change. GAO-09-554. Available from: <<http://www.gao.gov/new.items/d09554.pdf>>.
186. Vaidya O. Kumar S., 2006. Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169, 1-29.
187. Vliet O., Broek M., Turk enburg W., Faaij A., 2011. Combining hybrid cars and synthetic fuels with electricity generation and carbon capture and storage. *Energy Policy* 39, 248-268.
188. Vogt K.A., Vogt D.J., Patel-Weynand T., Upadhye R., Edlund D., Edmonds R., Gordon J.C., Suintana A.S., Sigurdardottir R., Miller M., Roads P.A., Andreu M.G., 2009. Bio-methanol: how energy choices in the Western United States can help mitigate global climate change. *Renewable Energy* 34, 233-241.
189. Wang C., W., Lu X., Chen J., 2007. CO₂ mitigation scenarios in China's road transport sector. *Energy Conversion and Management* 48, 2110–2118.
190. Wang J.J., Jing Y.-Y., Zhang C.-F., Zhao J.-H., 2009. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2263-2278.
191. Winebrake J.J., Creswick B.P., 2003. the future of hydrogen fueling systems for transportation: an application of perspective-based scenario analysis using the analytic hierarchy process. *Technological Forecasting and Social Change* 70(2), 359-384.
192. World Bank, 2009. State and Trends of the Carbon Market.
193. WWF, 2009. Low Carbon Jobs for Europe: Current Opportunities and Future Prospects.
194. Xuan J., Leung M.K.H., Leung D. Y.C., Ni M., 2009. A review of biomass-derived fuel processors for fuel cell systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1301-1313.
195. Zeevalkin J., 2008. Energy from wet biomass waste – an assessment of existing and novel technologies. Available from: <<http://www.dcs.vein.hu/eminent2/presentations/TNO%20presentation%20workshop%20wet%20biomass.pdf>>.

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

196. ΒΙΟΝΕΤΤ, 2008. «Οδηγός Βιοκαυσίμων: Βέλτιστες πρακτικές & πιλοτικές εφαρμογές», Αύγουστος 2008.
197. Γερασίμου Α., Ελληνική Εταιρεία Βιομάζας - ΕΛ.Ε.Α.ΒΙΟΜ, «Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ», ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΟ 10 ΕΤΗΣΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ «ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ, ΜΕ ΤΟ ΒΛΕΜΜΑ ΣΤΡΑΜΜΕΝΟ ΣΤΟ 2020», Μάρτιος 2013
198. Γιαννακοπούλου Λ., 2013, «Τομέας Εθνικού Ενδιαφέροντος Ενέργεια» ΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΓΕΤ στο πλαίσιο της διαμόρφωσης στρατηγικής RIS3 2014-2020, Σεπτέμβριος 2013.
199. Γερονικολού Λ., Κυρίτσης Σ., 2005, «Νέες Τάσεις στα Βιοκαύσιμα», Τεχνική Επιθεώρηση, Δεκέμβριος 2005.
200. Δερματάς Δ., 2015, «Ιεράρχηση μεθόδων διαχείρισης στερεών αποβλήτων – Υφιστάμενη κατάσταση στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης», Πρακτικά Ημερίδας Επιτροπής Ενέργειας Ακαδημίας Αθηνών – Διαχείριση και Ενεργειακή Εκμετάλλευση Αποβλήτων στην Ελλάδα, 41-54.
201. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, τεύχος Β, Αρ. Φύλλου 2432, «Κατανομή για το έτος 2011 ποσότητας 132.000 χιλιολitrων αυτούσιου βιοντίζελ», 2011.
202. Κιαρτζής Σ., Πηλαβάκης Π., Τσίτα Κ., 2016. Βιοκαύσιμα Επόμενης Γενιάς για τις Ελληνικές Μεταφορές, Ημερίδα της Επιτροπής Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών "Ενέργεια και μεταφορές στην Ελλάδα: Προϋποθέσεις και μέτρα για καθαρή και βιώσιμη ενέργεια σε όλους τους κλάδους των μεταφορών".
203. Μπορν Τζ., 2007, «Βιοκαύσιμα: Είναι η λύση;», National Geographic Ελλάδα, Οκτώβριος 2007.
204. Οικονομίδης Μ., Δαλαμαρίνης Π., Ρέϋ Φ., Καλφαγιάν Λ., 2013. «Το Ενεργειακό Μέλλον και το Περιβάλλον», Εκδόσεις Γερμανός.
205. Παπαποστόλου Χ., Κονδύλη Α., «Βασικές παράμετροι εφοδιαστικής αλυσίδας βιοκαυσίμων μα ειδική αναφορά στην Ελλάδα», Δελτίο ΠΣΔΜ-Η, Νοέμβριος 2009.
206. Στεφανίδης Σ., Πηλαβάκης Π., Καλογιάννης Κ., Λάμπας Α., 2015, «Πυρόλυση γεωργικών και δασικών αποβλήτων για την παραγωγή καυσίμων και χημικών προϊόντων» Πρακτικά Ημερίδας Επιτροπής Ενέργειας Ακαδημίας Αθηνών – Διαχείριση και Ενεργειακή Εκμετάλλευση Αποβλήτων στην Ελλάδα, 147-162.
207. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (ΥΠΑΝ), «ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ», Φεβρουάριος 2009.
208. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ (ΥΠΕΚΑ), «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΡΟΠΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ», Τεχνική Έκθεση, Ιανουάριος 2012.
209. Φαναριώτης Π., 2009, "Ενέργεια Το Παγκόσμιο Πρόβλημα του 21ου Αιώνα. Τεχνικές, Οικονομικές και Πολιτικές Προεκτάσεις", Εκδόσεις Ι. Σιδέρης, Αθήνα.