

Διερεύνηση της σχέσης κατανάλωσης καυσίμων οχήματος υβριδικής τεχνολογίας και μηκοτομής της οδού

Examination of the fuel consumption of a hybrid technology vehicle and the road grade

ΓΑΛΑΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ, Πολιτικός Μηχανικός, Συγκοινωνιολόγος Msc, Υπ. Δρ. Π.Θ.

ΚΑΛΙΑΜΠΕΤΣΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Επιστημονικός Συνεργάτης Π.Θ.

ΗΛΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην παρούσα εργασία διερευνάται η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμων οχήματος υβριδικής τεχνολογίας (Toyota Prius) και της κατά μήκος κλίσης της οδού. Εξετάστηκε η διαδρομή Λαμίας-Βόλου και στις δυο κατευθύνσεις επί της εθνικής οδού ΠΑΘΕ, με ταχύτητες κίνησης 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα. Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου ελήφθησαν από 45 διαδρομές στην κατεύθυνση Λαμίας-Βόλου και 47 διαδρομές στην κατεύθυνση Βόλου-Λαμίας, μεταξύ πέντε θέσεων στάθμευσης οχημάτων ως σημεία αναφοράς. Κατά τη διάρκεια της έρευνας σημειώθηκε επίσης η ημερομηνία και ώρα της κάθε διαδρομής, η εξωτερική θερμοκρασία, η ένταση του αέρα, η χρήση κλιματισμού αλλά και η ανανέωση της βενζίνης.

ABSTRACT: This study examines the relationship between the fuel consumption of a hybrid technology vehicle (Toyota Prius) and the road grade. Both directions of the national highway between the cities Lamia and Volos were tested, with examined speeds 120km/hr, 130km/hr and 140km/hr. Fuel consumption data collected from 45 routes in the Lamia-Volos heading and 47 routes in the Volos-Lamia heading among five parking areas as reference sites. During the experiment were also noticed the date and time of the route, the outside temperature and wind, the use of air condition and the case of refueling.

Λέξεις κλειδιά: Κατανάλωση καυσίμων, μηκοτομή οδού, υβριδικό όχημα, βιωσιμότητα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χάραξη των οδών, αστικών ή κυρίως υπεραστικών, εκτός από τις παραμέτρους της οδικής ασφάλειας, λειτουργικότητας και προστασίας του περιβάλλοντος, λαμβάνει σημαντικά υπόψη και την παράμετρο της οικονομικής βιωσιμότητας. Η κατανάλωση των καυσίμων από τα οχήματα που κινούνται σε μια οδό συναρτάται με τις κατά μήκος κλίσεις, επηρεάζοντας το χρόνο απόσβεσης ενός έργου οδοποιίας. Η αύξηση της τιμής των καυσίμων για τις οδικές μετακινήσεις στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς, καθώς και η ανάπτυξη οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας εγείρει το ζήτημα της κατανάλωσης καυσίμων σε σχέση με τα γεωμετρικά στοιχεία της οδού σε ερευνητική προτεραιότητα.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζουμε τη σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμων και της κατά μήκος κλίσης της οδού. Επιλέχθηκε ένα ΙΧ επιβατικό όχημα υβριδικής τεχνολογίας, μάρκας Toyota Prius. Το όχημα κινήθηκε επί τμήματος της εθνικής οδού Π.Α.Θ.Ε. μεταξύ

των πόλεων Λαμίας και Βόλου και στις δυο κατευθύνσεις. Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου ελήφθησαν από 45 διαδρομές στην κατεύθυνση Λαμίας-Βόλου και από 47 διαδρομές στην κατεύθυνση Βόλου-Λαμίας, μεταξύ πέντε θέσεων στάθμευσης οχημάτων που αποτέλεσαν και τα σημεία αναφοράς για τον οδηγό. Ο οδηγός οδήγησε το όχημα με σταθερή ταχύτητα για κάθε διαδρομή μεταξύ των σημείων αναφοράς. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμου για τις ταχύτητες κίνησης 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος σημειώθηκαν επίσης η ημερομηνία και ώρα της κάθε διαδρομής, η εξωτερική θερμοκρασία, η ένταση του αέρα, η χρήση κλιματισμού αλλά και η περίπτωση ανανέωσης της βενζίνης. Τελικά, με τη χρήση γεωμετρικών δεδομένων της κατά μήκος κλίσης της οδού, διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμων του οχήματος για τις επιλεγμένες ταχύτητες κίνησης του οχήματος.

Τα αποτελέσματα της εργασίας θα ενισχύσουν τη θεώρηση της οικονομικής

παραμέτρου σχεδιασμού και λειτουργίας των υπεραστικών οδών, λαμβάνοντας υπόψιν το ζήτημα της κατανάλωσης καυσίμων των οχημάτων σε σχέση με τη μηκοτομή της οδού. Επιπλέον, η εργασία θα επικεντρωθεί στην κατανάλωση καυσίμων οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος και της βιώσιμης ανάπτυξης των έργων οδοποιίας.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Το ενεργειακό ζήτημα των μεταφορών

Στην εποχή της αλματώδους οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης η εξάρτηση της ανθρωπότητας από τις συμβατικές ενεργειακές πηγές (ορυκτά καύσιμα) είναι μεγαλύτερη από ποτέ. Η χρήση ορυκτών καυσίμων κυριαρχεί στις οδικές μεταφορές με βασικά μειονεκτήματα την ενεργειακή εξάρτηση και τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων (Borcken et al., 2007). Οι διεθνείς εξελίξεις στο γεωπολιτικό τομέα λόγω του εύθραυστου πολιτικού σκηνικού στις χώρες παραγωγής πετρελαίου της Μέσης Ανατολής ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τις διαφοροποιήσεις στις τιμές των ορυκτών καυσίμων. Η μονοπωλιακή ενεργειακή εξάρτηση των χωρών της Ευρώπης και της Ελλάδας ιδιαίτερα, σε συνδυασμό με τις ένταση της οικονομικής κρίσης έχουν αυξήσει δραματικά το κόστος χρήσης καυσίμων για μετακινήσεις. Η επίδραση των παραγόντων αυτών στον τομέα των οδικών μετακινήσεων είναι σημαντική, καθώς σε συνδυασμό με την εφαρμογή διοδίων στους αυτοκινητοδρόμους μειώνει τη δυνατότητα μετακινήσεων των πολιτών.

Στις οδικές μεταφορές η χρήση ορυκτών καυσίμων δεν είναι μονόδρομος, αλλά τα τελευταία χρόνια εντείνεται η προσπάθεια για τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια και τα βιοκαύσιμα. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας ενέχει το μειονέκτημα της πρωτογενούς δημιουργίας της από άλλη ανανεώσιμη ή μη πρώτη ύλη. Ως ανανεώσιμες χαρακτηρίζονται η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική, ακόμα και η πυρηνική ενέργεια, η οποία όμως ενέχει αυξημένο κίνδυνο για τον άνθρωπο από ατυχήματα όπως στο πυρηνικό εργοστάσιο της Φουκουσίμα στην Ιαπωνία. Εναλλακτικά, η χρήση βιοκαυσίμων όπως το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη χαρακτηρίζονται από το ηθικό δίλημμα της χρήσης σιτηρών για καύσιμα από

τις οικονομικά και τεχνολογικά προηγμένες χώρες ή την αντιμετώπιση των διατροφικών προβλημάτων στις χώρες του τρίτου κόσμου.

Η αντιμετώπιση των ενεργειακής ζήτησης και η επιλογή του μέσου κάλυψής της δεν είναι εύκολη υπόθεση. Για το λόγο αυτό, πολιτικές και δράσεις που μειώνουν την τελική κατανάλωση ενέργειας είναι το ίδιο ή περισσότερο σημαντικές από ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας (Barker and Rubin, 2007; Song et al., 2008). Νέες τεχνολογίες όπως οι κυψέλες καυσίμων και η χρήση υδρογόνου βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και θα απαιτηθεί μεγάλο χρονικό διάστημα για την εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα.

Τρεις είναι οι βασικοί άξονες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των οδικών μεταφορών. Ο πρώτος άξονας είναι η βελτιστοποίηση της χρήσης των βιώσιμων μέσων μετακίνησης, όπως είναι το περπάτημα και το ποδήλατο στις αστικές μετακινήσεις και η μετακίνηση με λεωφορεία ή σιδηρόδρομο στις υπεραστικές. Ο δεύτερος άξονας είναι η χρήση οχημάτων που ενσωματώνουν τεχνολογία υψηλής απόδοσης του κινητήρα. Ο τρίτος άξονας είναι η προώθηση της έννοιας της οικολογικής-οικονομικής οδήγησης με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά μεταφερόμενο επιβάτη και χιλιόμετρο διανυόμενης απόστασης.

Τα βασικότερα οφέλη της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στις οδικές μεταφορές είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση του κόστους μετακίνησης
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και λοιπών ρύπων
- Βελτίωση των δεικτών οικονομικής βιωσιμότητας των οδικών έργων

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων στις οδικές μετακινήσεις

Με την έννοια «κατανάλωση καυσίμων» ορίζουμε την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται για τη διάνυση μιας συγκεκριμένης απόστασης με μεταφορικό μέσο που απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας. Διεθνώς, έχει επικρατήσει η έννοια της κατανάλωσης καυσίμων να εκφράζει την ποσότητα των λίτρων που απαιτούνται από ένα όχημα για την κάλυψη μιας απόστασης 100 χιλιομέτρων (lt/100km). Για παράδειγμα,

ένα ΙΧ όχημα με κατανάλωση 7.4lt/100χλμ, χρειάζεται 7.4lt για να διανύσει μια απόσταση 100 χλμ. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμων στα οχήματα οδικών μεταφορών είναι οι εξής:

- Η τεχνολογία και απόδοση του κινητήρα
- Το είδος και η απόδοση του καυσίμου
- Ο σχεδιασμός και η συντήρηση του οχήματος
- Τα χαρακτηριστικά της οδού
- Ο χαρακτήρας του οδηγού και ο τρόπος οδήγησης (eco-driving)

2.3 Η τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων

Υβριδικό ορίζεται το όχημα που συνδυάζει έναν συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης με έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες. Ως αποτέλεσμα καταναλώνονται λιγότερα ορυκτά καύσιμα και εκλύονται λιγότεροι ρύποι στην ατμόσφαιρα. Οι μπαταρίες που διαθέτει αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την ανάκτηση της κινητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της πέδησης, είτε από τη λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι βασικότερες λειτουργίες για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων είναι η «ανάκτηση ενέργειας» και η λειτουργία «start-stop».

Ο ηλεκτροκινητήρας υποβοηθά τον συμβατικό κινητήρα κατά την επιτάχυνση του οχήματος μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμων. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου επιτυγχάνεται με τη δυνατότητα να μη λειτουργεί ο κινητήρας σε στάση ή σε επιβράδυνση. Ο ηλεκτροκινητήρας του οχήματος χαρακτηρίζεται από απόδοση μέγιστης ροπής από τις μηδενικές στροφές ανά λεπτό και σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας. Το αποτέλεσμα είναι να εμφανίζει μεγαλύτερες επιδόσεις επιτάχυνσης του οχήματος είτε από στάση, είτε εν κινήσει.

Η οδήγηση ενός οχήματος υβριδικής τεχνολογίας δε διαφέρει από ένα συμβατικό όχημα. Καθότι χρησιμοποιούν βενζίνη και μελλοντικά ντίζελ, ο ανεφοδιασμός τους σε καύσιμα γίνεται στα πρατήρια υγρών καυσίμων, όπως ισχύει για όλα τα συμβατικά οχήματα. Η νέα τεχνολογία των μπαταριών θα παρέχει τη δυνατότητα φόρτισης από παρόδεις εγκαταστάσεις.

Τα υβριδικά οχήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων και εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Ένα υβριδικό

όχημα εμφανίζει μέχρι και 25% χαμηλότερες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Ιδιαίτερα για τις εκπομπές CO και NOx η μείωσή τους αγγίζει και το 90% (www.hybridcars.gr).

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι υβριδικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, που χαρακτηρίζονται από τη διάταξη των μηχανικών τους μερών:

- Παράλληλη διάταξη
- Σειριακή διάταξη
- Συνδυασμένη διάταξη

2.4 Η σχέση της κατά μήκος κλίσης της οδού και της κατανάλωσης καυσίμων

Οι οδηγοί επιλέγουν συχνά διαδρομές για να μειώσουν το χρόνο διαδρομής ή το συνολικό κόστος της μετακίνησης. Η πιο σύντομη ή γρήγορη διαδρομή δεν είναι όμως απαραίτητα και η πιο φιλική στο περιβάλλον ή ενεργειακά η πιο αποδοτική (Schwarzkopf and Leipnik, 1977). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί αρκετά προηγμένα συστήματα πλοήγησης οχημάτων που παρέχουν στους οδηγούς τη δυνατότητα να επιλέξουν τη συντομότερη σε μήκος ή διάρκεια διαδρομή με βάση δεδομένα κυκλοφοριακού φόρτου (Shokri et al., 2009; Facanha, 2009; Barth, 2007). Επίσης, υπάρχουν συστήματα που εξετάζουν και προτείνουν τη διαδρομή με τη χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων και εκπομπές ρύπων (Ahn et al., 2010; Ericsson et al., 2006).

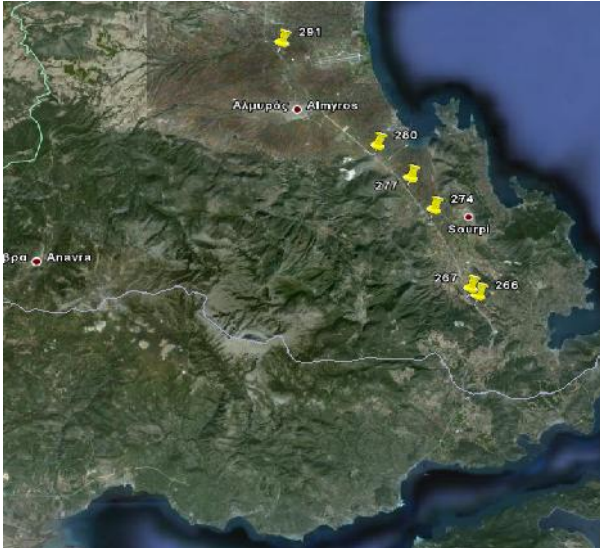
Εκτός από τον παράγοντα της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η κατά μήκος κλίση της οδού επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμων και εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων. Η έρευνα των Boriboonsomsin and Kanok (2009) έδειξε ότι η εξοικονόμηση της κατανάλωσης καυσίμων ενός επιβατικού οχήματος μεταξύ δυο διαδρομών σε επίπεδο και λοφώδες έδαφος κυμαίνεται από 15% έως 20%. Οι Park and Rakha (2006) συμπέραναν ότι η αύξηση της κατά μήκος κλίσης μιας οδού κατά 6% αυξάνει την κατανάλωση καυσίμων από 40% έως 94%, ενώ ακόμα και μια αύξηση της κατά μήκος κλίσης της οδού κατά 1% μπορεί να αυξήσει την κατανάλωση καυσίμων μεταξύ 13% και 18%.

Αντίστοιχα ήταν τα συμπεράσματα της έρευνας της κατανάλωσης καυσίμων για αστικά λεωφορεία εξετάζοντας τόσο την κατά μήκος κλίση της οδού όσο και την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων (Khan and Clark, 2010).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιοχή μελέτης

Το πρώτο στάδιο της έρευνας ήταν η επιλογή της προς μελέτης οδού. Επιλέχθηκε ο αυτοκινητόδρομος Π.Α.Θ.Ε. μεταξύ των πόλεων της Λαμίας και του Βόλου και στις δυο κατευθύνσεις (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Οδός μελέτης και θέσεις στάθμευσης οχημάτων

Εξετάστηκε η κατανάλωση καυσίμων μεταξύ 5 σταθμών εξυπηρέτησης οχημάτων (χώροι στάθμευσης) στην κατεύθυνση Λαμίας-Βόλου και 6 χώρους στάθμευσης στην κατεύθυνση Βόλου-Λαμίας. Η επιλογή των οδικών τμημάτων έγινε με βάση τη δυνατότητα σταθερής οδήγησης με τη συνηθέστερη ταχύτητα κίνησης των οχημάτων στους αυτοκινητοδρόμους. Επιπλέον, τα προς εξέταση οδικά τμήματα της οδού έπρεπε να έχουν επαρκές μήκος ώστε να μην εισέρχεται ο παράγοντας του ποσοστού φόρτισης της μπαταρίας, ο οποίος είναι καθοριστικός σε μικρού μήκους διαδρομές.

Τα τοπογραφικά και γεωμετρικά στοιχεία της οδού μεταξύ των οδικών τμημάτων, όπως ορίζονται από τις Χ.Θ. των χώρων στάθμευσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της χιλιομετρικής θέσης και υψόμετρου των χώρων στάθμευσης υπολογίστηκε η απόσταση και η κατά μήκος κλίση της οδού. Επιπλέον, υπολογίστηκε η μέση κλίση της οδού από το πρώτο χώρο στάθμευσης (P1) μέχρι καθενός επομένου. Συνεπώς, προέκυψε ότι η συνολική μέση κατά μήκος κλίση της

οδού είναι 0,31 μεταξύ των χώρων στάθμευσης (P1-P5) και (P1-P6).

Πίνακας 1. Τοπογραφικά-γεωμετρικά στοιχεία της οδού (Λαμία - Βόλος)

Λαμία - Βόλος					
Χώρος στάθμευσης		Υψόμετρο	Μήκος	Κλίση	Μέση Κλίση
A.A.	Χ.Θ.	(M)	ΧΛΜ.	(%)	(%)
P1	266,30	136,50			
P2	274,00	33,50	7,70	-1,34	-1,34
P3	277,20	36,80	3,20	0,10	-0,91
P4	280,50	28,60	3,30	-0,25	-0,76
P5	291,25	59,00	10,75	0,28	-0,31

Πίνακας 2. Τοπογραφικά-γεωμετρικά στοιχεία οδού (Βόλος - Λαμία)

Βόλος - Λαμία					
Χώρος στάθμευσης		Υψόμετρο	Μήκος	Κλίση	Μέση Κλίση
A.A.	Χ.Θ.	(M)	ΧΛΜ.	(%)	(%)
P1	291,40	59,00			
P2	280,65	28,60	10,75	-0,28	-0,28
P3	277,00	36,80	3,65	0,22	-0,15
P4	274,00	33,50	3,00	-0,11	-0,15
P5	267,00	128,00	7,00	1,35	0,28
P6	266,30	136,50	0,70	1,21	0,31

3.2 Όχημα μελέτης

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το όχημα υβριδικής τεχνολογίας «Toyota Prius». Το όχημα συνδυάζει έναν βενζινοκινητήρα 1.8lt (VVT-I) με δυο ηλεκτροκινητήρες (Prius brochure). Το εξελιγμένο πλήρως υβριδικό σύστημα του οχήματος υπολογίζει αυτόματα την απαιτούμενη επιτάχυνση ώστε να επιλέξει τον τύπο του κινητήρα που θα θέσει σε λειτουργία. Η σειριακή-παράλληλη διάταξη σημαίνει ότι ο βενζινοκινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργούν ανεξάρτητα. Αυτή η διάταξη επιτρέπει την ταυτόχρονη υποστήριξη του ηλεκτροκινητήρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα τα στάδια της οδήγησης.

Το όχημα έχει τη δυνατότητα να κινηθεί μόνο με τη χρήση του ηλεκτροκινητήρα καταναλώνοντας μηδενική ποσότητα καυσίμων και εκπέμποντας μηδενικούς ρύπους, αλλά με την αύξηση της ταχύτητας ενεργοποιείται παράλληλα και ο ηλεκτροκινητήρας. Η τεχνολογία «Hybrid Synergy Drive» αποτελεί μια από τις πλέον καινοτόμες σε εφαρμογή μαζικής κλίμακας, η οποία ανακτά και επαναχρησιμοποιεί το μέγιστο διαθέσιμο δυνατό ποσό ενέργειας που

σε διαφορετική περίπτωση δε θα ήταν δυνατό να αξιοποιηθεί.



Σχήμα 2: Όχημα μελέτης

3.3 Συλλογή των δεδομένων

Ένας έμπειρος οδηγός (άντρας, 50 ετών) κινήθηκε με το όχημα κατά μήκος της διαδρομής και στις δυο κατευθύνσεις. Επειδή δεν εξετάστηκε η οδηγική συμπεριφορά αλλά η κατανάλωση καυσίμων του οχήματος δε ζητήθηκε η συμμετοχή περισσότερων οδηγών. Η μόνη απαίτηση ήταν ο οδηγός να είναι έμπειρος, ώστε να μπορεί να οδηγήσει με ασφάλεια το όχημα στις τρεις εξεταζόμενες ταχύτητες: 120km/hr, 130km/hr και 140km/hr. Η επιλογή των ταχυτήτων έγινε ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές της οδού. Η ταχύτητα του οχήματος ήταν σταθερή κάθε φορά μεταξύ των σημείων αναφοράς (χώροι στάθμευσης). Το μικρό μήκος της εξεταζόμενης διαδρομής (25km) δεν επιβάρυνε το οδηγικό έργο, ώστε ο οδηγός να διατηρήσει σταθερή την ταχύτητα του οχήματος και να κινηθεί με ασφάλεια. Κατά τη διάρκεια της έρευνας ο οδηγός σημείωνε την ημερομηνία και ώρα της κάθε διαδρομής, την εξωτερική θερμοκρασία, την ένταση του αέρα, τη χρήση κλιματισμού αλλά και την περίπτωση ανανέωσης της βενζίνης.

Συνολικά, εξετάστηκαν 45 διαδρομές στην κατεύθυνση Λαμία-Βόλος, εκ των οποίων 30 διαδρομές με ταχύτητα 120km/hr, 11 με ταχύτητα 130km/hr και 4 με ταχύτητα 140km/hr. Επιπλέον, εξετάστηκαν 47 διαδρομές στην κατεύθυνση Βόλος-Λαμία, εκ των οποίων 32 διαδρομές με ταχύτητα 120km/hr, 12 με ταχύτητα 130km/hr και 3 με ταχύτητα 140km/hr. Με την αύξηση της εξεταζόμενης ταχύτητας μειώθηκε ο αριθμός των διαδρομών, ώστε να περιοριστεί τόσο ο κίνδυνος για την οδική ασφάλεια του οδηγού, όσο και να μειωθεί το κόστος εκπόνησης της έρευνας. Επιπλέον, τα περισσότερα οχήματα στην οδό κινούνται στο εύρος των ταχυτήτων 110-130 χλμ/ώρα και δεν κρίνεται σκόπιμη η

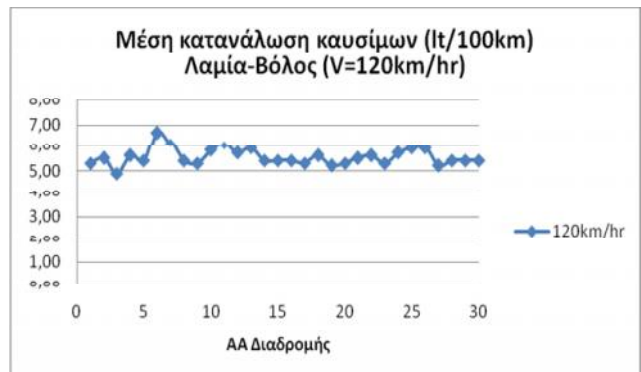
εξέταση ταχυτήτων που υπερβαίνουν σημαντικά το όριο ταχύτητας.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

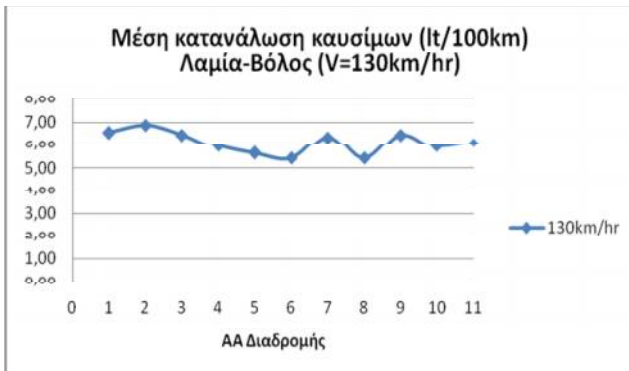
4.1 Διαδρομή Λαμία-Βόλος (P1-P5)

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους. Λαμβάνοντας υπόψιν τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού υπολογίστηκε το προφίλ κατανάλωσης καυσίμων σε lt/100km για τις τρεις εξεταζόμενες ταχύτητες (Σχήματα 3, 4 και 5). Παρατηρούμε ότι για την ταχύτητα 120km/hr η μέση κατανάλωση καυσίμων ήταν 5.56 lt/100km (Σχήμα 3). Αντίστοιχα, για ταχύτητα 130 km/hr η μέση κατανάλωση ήταν 6.11 lt/100km και για την ταχύτητα 140 km/hr ήταν 6.85 lt/100km.

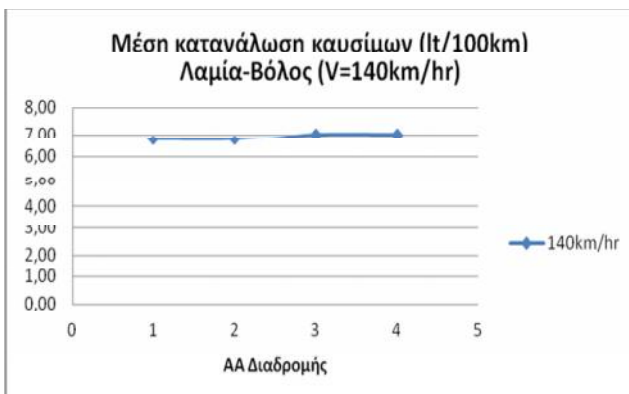
Η μέση κατανάλωση καυσίμων του οχήματος σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού στη διαδρομή Λαμία-Βόλος παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Η διαφορά του επιπέδου κατανάλωσης καυσίμων για τις τρεις εξεταζόμενες είναι εμφανής ενώ το προφίλ της κατανάλωσης είναι αντίστοιχο με την κατά μήκος κλίση της οδού. Οι τελικές τιμές κατανάλωσης καυσίμων που εμφανίζονται στο οδικό τμήμα 4 (P4-P5), (Σχήμα 6), είναι οι ίδιες που προκύπτουν από τα Σχήματα 3, 4 και 5 για τα τρία επίπεδα ταχύτητας.



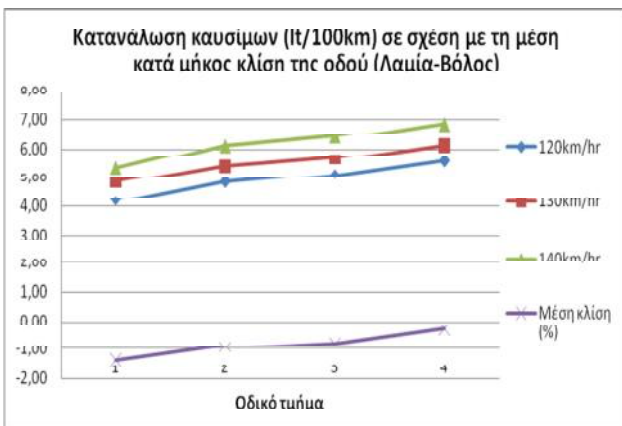
Σχήμα 3. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Λαμία-Βόλος (V=120km/hr)



Σχήμα 4. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Λαμία-Βόλος (V=130km/hr)



Σχήμα 5. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Λαμία-Βόλος (V=140km/hr)



Σχήμα 6. Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού (Λαμία-Βόλος)

Εκτός από τη μέση κατανάλωση καυσίμων στην οδό, εξετάστηκε επίσης για τα τρία επίπεδα ταχύτητας η κατανάλωση σε κάθε οδικό τμήμα βάση της κατά μήκος κλίσης (Σχήμα 7). Το προφίλ κατανάλωσης καυσίμων είναι αντίστοιχο με την ταχύτητα κίνησης του οχήματος και την κατά μήκος κλίση της οδού.

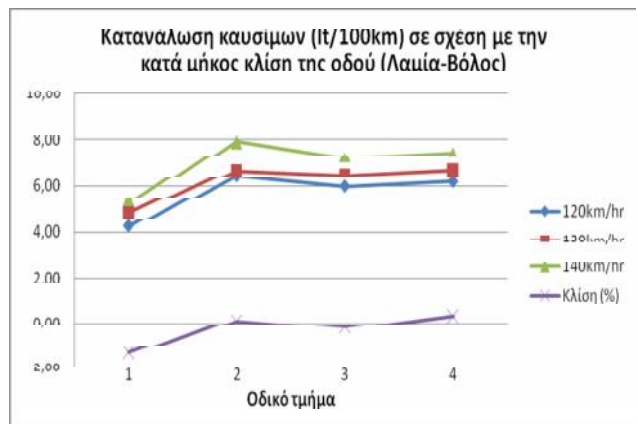
Στο πρώτο οδικό τμήμα (P1-P2), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι αρνητική (-1.34%) και η κατανάλωση καυσίμων χαμηλή (4.22,

4.85 και 5.35 lt/100km) για τα τρία επίπεδα ταχύτητας (120, 130, 140 km/hr), (Πίνακας 3).

Στο δεύτερο οδικό τμήμα (P2-P3), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι θετική (+0.10%) και η κατανάλωση καυσίμων αυξάνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (6.36, 6.68 και 7.90 lt/100km), (Πίνακας 3). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 2.14, 1.83 και 2.55 lt/100km (Πίνακας 4).

Στο τρίτο οδικό τμήμα (P3-P4), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι αρνητική (-0.25%) και η κατανάλωση καυσίμων μειώνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (5.98, 6.53 και 7.28 lt/100km), (Πίνακας 3). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 0.38, 0.16 και 0.62 lt/100km (Πίνακας 4).

Τέλος, στο τέταρτο οδικό τμήμα (P4-P5), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι θετική (0.28%) και η κατανάλωση καυσίμων αυξάνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (6.15, 6.71 και 7.48 lt/100km), (Πίνακας 3). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 0.17, 0.18 και 0.19 lt/100km (Πίνακας 4). Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση καυσίμων σχετίζεται άμεσα όχι μόνο με την κατά μήκος κλίση σε ένα οδικό τμήμα (θετική - αρνητική), αλλά και με την ένταση μεταβολής της κατά μήκος κλίσης της οδού.



Σχήμα 7. Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) σε σχέση με την κατά μήκος κλίση της οδού (Λαμία-Βόλος)

Πίνακας 3: Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) ανά οδικό τμήμα (Λαμία-Βόλος)

Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) Λαμία-Βόλος				
Κλίση (%)	-1,34	0,1	-0,25	0,28
V (km/hr)	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5
120	4,22	6,36	5,98	6,15
130	4,85	6,68	6,53	6,71
140	5,35	7,90	7,28	7,48

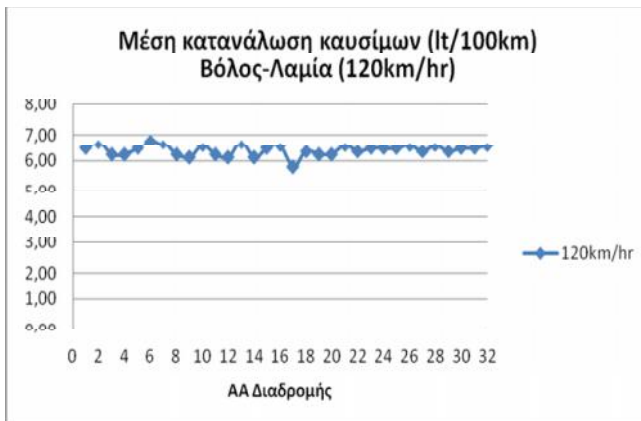
Πίνακας 4: Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km) ανά οδικό τμήμα, (Λαμία-Βόλος)

Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km) Λαμία-Βόλος				
V (km/hr)	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5
120	0	2,14	-0,38	0,17
130	0	1,83	-0,16	0,18
140	0	2,55	-0,62	0,19

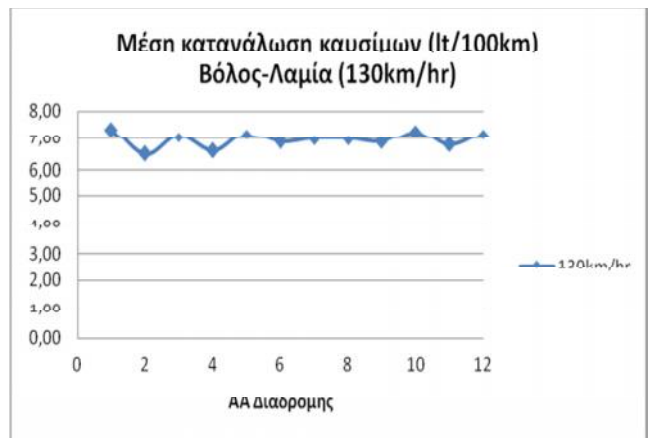
4.2 Διαδρομή Βόλος-Λαμία (P1-P6)

Στη διαδρομή Βόλος-Λαμία, υπολογίστηκε το προφίλ κατανάλωσης καυσίμων σε lt/100km σύμφωνα με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού για τις τρεις εξεταζόμενες ταχύτητες (Σχήματα 8, 9 και 10). Παρατηρούμε ότι για την ταχύτητα 120km/hr η μέση κατανάλωση καυσίμων ήταν 6.35 lt/100km (Σχήμα 8). Αντίστοιχα, για ταχύτητα 130 km/hr η μέση κατανάλωση ήταν 6.99 lt/100km και για την ταχύτητα 140 km/hr ήταν 7.53 lt/100km.

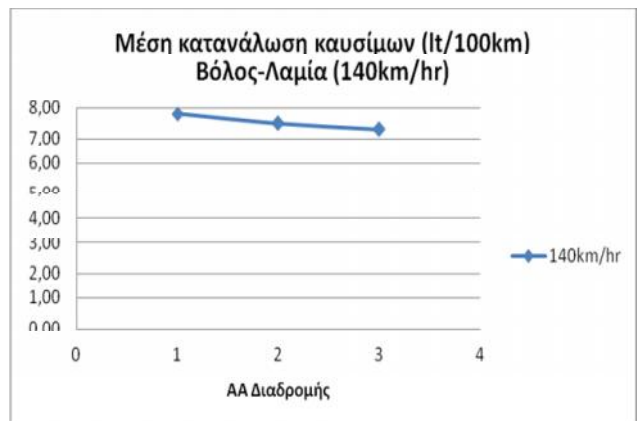
Η μέση κατανάλωση καυσίμων του οχήματος σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού στη διαδρομή Βόλος-Λαμία παρουσιάζεται στο Σχήμα 11. Η διαφορά του επιπέδου κατανάλωσης καυσίμων για τις τρεις εξεταζόμενες είναι εμφανής ενώ το προφίλ της κατανάλωσης είναι αντίστοιχο με το προφίλ της μέσης κλίσης της οδού. Οι τελικές τιμές κατανάλωσης καυσίμων που εμφανίζονται στο οδικό τμήμα 5 (P5-P6), (Σχήμα 11), είναι οι ίδιες που προκύπτουν από τα Σχήματα 8, 9 και 10 για τα τρία επίπεδα ταχύτητας.



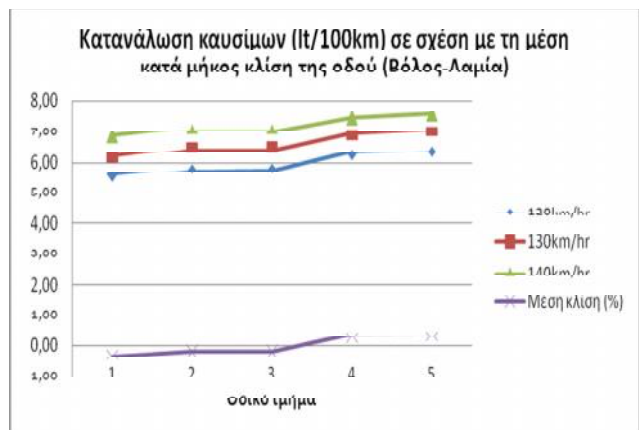
Σχήμα 8. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Βόλος-Λαμία (V=120km/hr)



Σχήμα 9. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Βόλος-Λαμία (V=130km/hr)



Σχήμα 10. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Βόλος-Λαμία (V=140km/hr)



Σχήμα 11. Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού (Βόλος-Λαμία)

Εκτός από τη μέση κατανάλωση καυσίμων στην οδό, εξετάστηκε επίσης για τα τρία επίπεδα ταχύτητας η κατανάλωση σε κάθε οδικό τμήμα βάση της κατά μήκος κλίσης (Σχήμα 12). Το προφίλ κατανάλωσης καυσίμων είναι αντίστοιχο με την ταχύτητα κίνησης του οχήματος και την κατά μήκος κλίση της οδού.

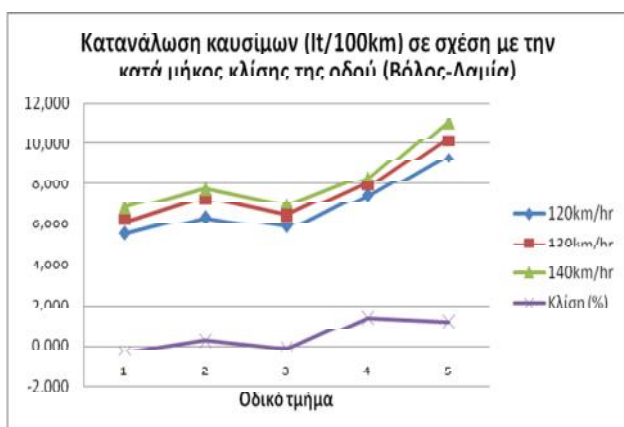
Στο πρώτο οδικό τμήμα (P1-P2), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι αρνητική (-0.28%) και η κατανάλωση καυσίμων χαμηλή (5.56, 6.19 και 6.83 lt/100km) για τα τρία επίπεδα ταχύτητας (120, 130, 140 km/hr), (Πίνακας 5).

Στο δεύτερο οδικό τμήμα (P2-P3), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι θετική (+0.22%) και η κατανάλωση καυσίμων αυξάνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (6.38, 7.21 και 7.75 lt/100km), (Πίνακας 5). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 0.83, 1.02 και 0.92 lt/100km (Πίνακας 6).

Στο τρίτο οδικό τμήμα (P3-P4), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι αρνητική (-0.11%) και η κατανάλωση καυσίμων μειώνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (5.86, 6.50 και 7.07 lt/100km), (Πίνακας 5). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 0.53, 0.71 και 0.69 lt/100km (Πίνακας 6).

Στο τέταρτο οδικό τμήμα (P4-P5), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι θετική (1.35%) και η κατανάλωση καυσίμων αυξάνεται για τα τρία επίπεδα ταχύτητας αντίστοιχα (7.48, 8.00 και 8.34 lt/100km), (Πίνακας 5). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 1.62, 1.50 και 1.28 lt/100km (Πίνακας 6).

Τέλος, στο πέμπτο οδικό τμήμα (P5-P6), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι θετική (1.21%) και η κατανάλωση καυσίμων είναι επίσης υψηλή για τα τρία επίπεδα ταχύτητας (9.29, 10.19 και 11.02 lt/100km), (Πίνακας 5). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 1.81, 2.19 και 2.67 lt/100km (Πίνακας 6). Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση καυσίμων σχετίζεται άμεσα με την κατά μήκος κλίση σε ένα οδικό τμήμα (θετική - αρνητική).



Σχήμα 12. Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) σε σχέση με την κατά μήκος κλίση της οδού (Βόλος-Λαμία)

Πίνακας 5: Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) ανά οδικό τμήμα (Βόλος-Λαμία)

Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) Βόλος-Λαμία					
Κλίση (%)	-0,28	0,22	-0,11	1,35	1,21
V (km/hr)	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6
120	5,56	6,38	5,86	7,48	9,29
130	6,19	7,21	6,50	8,00	10,19
140	6,83	7,75	7,07	8,34	11,02

Πίνακας 6: Κατανάλωση καυσίμων (lt/100km) ανά οδικό τμήμα (Βόλος-Λαμία)

Μεταβολή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km) Βόλος-Λαμία					
V (km/hr)	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P5-P6
120	0	0,83	-0,53	1,62	1,81
130	0	1,02	-0,71	1,50	2,19
140	0	0,92	-0,69	1,28	2,67

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη εξέτασε την κατανάλωση καυσίμων ενός υβριδικού οχήματος (Toyota Prius) στην εθνική οδό Π.Α.Θ.Ε., μεταξύ των πόλεων Λαμίας και Βόλου. Εξετάστηκε ένα συγκεκριμένο τμήμα της διαδρομής και στις δυο κατευθύνσεις έχοντας θέσει στάθμευσης οχημάτων ως σημεία αναφοράς. Εξετάστηκαν τρεις ταχύτητες κίνησης με το όχημα (120, 130 και 140km/hr), ώστε να συνδυαστεί η παράμετρος της ταχύτητας και της κατά μήκος κλίσης της οδού στην ποσότητα κατανάλωσης καυσίμων. Τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα ακόλουθα:

- Η κατανάλωση καυσίμων σχετίζεται άμεσα με την μέση κατά μήκος κλίση της οδού σε κάθε οδικό τμήμα.
- Η αύξηση της κατά μήκος κλίσης κατά 1.5% οδηγεί και σε αύξηση της κατανάλωσης 2.0-2.5 lt/100km.
- Η αύξηση της κατά μήκος κλίσης κατά 0.5% οδηγεί και σε αύξηση της κατανάλωσης 0.8-1 lt/100km.
- Η κατανάλωση καυσίμων σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα κίνησης του οχήματος. Αύξηση της ταχύτητας κατά 10km/hr οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης 0.5-0.6 lt/100km. Πιθανώς όμως να μην είναι γραμμική η κατανάλωση καυσίμων για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι οι ήπιες κατά μήκος κλίσεις της οδού και η χαμηλότερη ταχύτητα κίνησης των οχημάτων σχετίζονται άμεσα με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων. Η

οικονομική παράμετρος της κατανάλωσης καυσίμων τίθεται πλέον ενεργά στο μηκοτομικό σχεδιασμό των οδικών έργων.

Επιπλέον, η έννοια της οικολογικής και χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας οδήγησης επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης της ταχύτητας κίνησης των οχημάτων στα όρια ταχύτητας της οδού. Επομένως, ενισχύεται η θεώρηση ότι η αυξημένη ταχύτητα κίνησης δεν είναι μόνο επικίνδυνη για την οδική ασφάλεια των οδηγών, αλλά και ακριβή. Η παράμετρος της οικονομίας είναι ισχυρότερο επιχείρημα για να πείσει τους Έλληνες οδηγούς να κινούνται εντός των ορίων ταχύτητας παρά τα κατασταλτικά αστυνομικά μέτρα και οι ποινές του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας.

Μελλοντικά, προτείνεται η σύγκριση στην ίδια ή παρόμοια διαδρομή της κατανάλωσης καυσίμων μεταξύ ενός υβριδικής τεχνολογίας και ενός συμβατικού οχήματος, καθώς και η εξέταση χαμηλότερων ταχυτήτων (100-110 χλμ/ώρα). Επιπλέον, η παρούσα μεθοδολογία μπορεί να επεκταθεί ώστε να εξεταστούν και οδοί σε ορεινό ανάγλυφο με έντονες κατά μήκος κλίσεις. Τα αποτελέσματα της υφιστάμενης αλλά και των προτεινόμενων ερευνών μπορούν να βοηθήσουν στον τομέα της οδικής ασφάλειας και ενεργειακής βιωσιμότητας της χώρας. Πολιτικές και δράσεις στον τομέα του περιορισμού του κόστους οδικών μετακινήσεων ιδιαίτερα τη σημερινή περίοδο οικονομικής κρίσης, αλλά και της ενίσχυσης της οικονομικής αποδοτικότητας των οδικών έργων μέσω της σύγκρισης του κόστους κατασκευής και απόσβεσης των έργων αποτελούν εργαλεία για την αναπτυξιακή πορεία της χώρας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahn, K., Rakha, H. and Moran, K. (2010), "Eco-cruise control systems: Feasibility and initial testing", Virginia Tech Transportation Institute, Virginia, USA

Barker, T. and Rubin, J. (2007), "Macroeconomic effects of climate policies for road transport: Efficiency agreements versus fuel taxation for the UK, 2000-2010", Proceedings of the 86th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Barth, M. (2007), "Environmentally-friendly

navigation", Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, USA

Boriboonsomsin, K. and Barth, M. (2009), "Fuel and CO₂ impacts from advanced navigation systems that account for road grade", Proceedings of the 88th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Borken, J., Steller, H., Meretei, T. and Vanhove, F. (2007), "Global and country inventory of road passenger and freight transportation, their fuel consumption and their emissions of air pollutants in the year 2000", Proceedings of the 86th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Ericsson, E., Larsson, H., and Brundell-Freij, K. (2006), "Optimizing route choice for lowest fuel consumption – Potential effects of a new driver support tool", *Transportation Research Part C*, 14: pp. 369-383

Facanha, C. (2009), "Effects of congestion and road level of service on vehicle fuel economy", Proceedings of the 88th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Hybrid cars, available from:
<http://www.hybridcars.gr/2009-10-04-18-18-1>

Khan, S. and Clark, N. (2010), "An empirical approach in determining the effect of road grade on fuel consumption from transit buses", *International Journal of Commercial Vehicles*, 3 (1): pp. 164-180

Park, S. and Rakha, H. (2006), "Energy and environmental impacts of roadway grades", Proceedings of the 85th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Schwarzkopf, A. B. and Leipnik, R. B. (1977), "Control of highway vehicles for minimum fuel consumption over varying terrain", *Transportation Research*, 11; pp. 279-286

Shokri, F., Chu, M.Y., Mokhtarian, H.R., Rahmat, R.A. and Ismail, A. (2009), "Best route based on fuel-economy", *European*

Journal of Scientific Research, 32 (2): pp. 177-186

Song, G., Yu, L. and Wang, Z. (2008), "A practical modeling approach for evaluation of fuel efficiency for road traffic", Proceedings of the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C

Toyota Prius brochure, available from:
http://brochure.toyota.gr/pdf/PRIUS_Secondary_GR.pdf