



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:
ΑΓΓΕΛΙΔΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

Επιβλέποντες: **Ηλιού Νικόλαος,**

Αναπληρωτής Καθηγητής Π.Θ.

Καλιαμπέτσος Γεώργιος,

Επιστημονικός Συνεργάτης Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2012



Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	7
2.1. ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ.....	7
2.1.1 Μονάδες μέτρησης.....	7
2.1.2 Ευρώπη.....	7
2.1.3 Ενεργειακά ζητήματα.....	9
2.2. ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ.....	13
2.2.1 Η εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές.....	13
2.2.2 Οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμων.....	14
2.2.3 Η έννοια της κατανάλωσης καυσίμου στις οδικές μεταφορές.....	14
2.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στα οχήματα οδικών μεταφορών.....	15
2.3 Τι είναι υβριδικό αυτοκίνητο;.....	18
2.3.1 Γενικές... υβριδικές αρχές.....	18
2.3.2 Τύποι υβριδικών συστημάτων.....	19
2.3.3 Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας.....	19
2.3.4 Οικονομία καυσίμου των υβριδικών αυτοκινήτων σε σύγκριση με τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα.....	21
2.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ, ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ & ΑΣΦΑΛΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗ (ECO-DRIVING).....	22
2.4.1 Τι είναι το Eco-Driving (Οικονομική Οδήγηση);.....	22
2.4.2 Οφέλη του Eco-Driving.....	25
2.4.3 Κανόνες και τεχνικές εφαρμογής του Eco-Driving.....	28
2.4.4 Γεγονότα και στοιχεία: Πετυχημένα παραδείγματα.....	38
2.4.5 Πως εφαρμόζεται η Οικονομική Οδήγηση.....	39
2.4.6 Παρακολούθηση και αξιολόγηση των εκπομπών CO ₂	48
2.5. Επιπτώσεις στα καύσιμα και στις εκπομπές CO ₂ ,που προκύπτουν από προηγμένα συστήματα πλοήγησης τα οποία λαμβάνουν υπόψη την κλίση της οδού.....	51
ΓΕΝΙΚΑ.....	51
2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	52
2.5.2. ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	54
2.5.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	59
2.5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	63





2.6. Βελτίωση επιλογής διαδρομής για χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου – Πιθανά αποτελέσματα ενός νέου εργαλείου οδηγικής υποστήριξης	68
Γενικά.....	68
2.6.1. Εισαγωγή.....	69
2.6.2. Υλικό.....	72
2.6.3. Μέθοδος.....	73
2.6.4. Αποτελέσματα.....	88
2.7. Αποτελέσματα Συμφόρησης και Στάθμης Εξυπηρέτησης Κυκλοφορίας του Δρόμου στην Εξοικονόμηση Καυσίμου σε Όχημα.....	92
Γενικά.....	92
2.7.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	92
2.7.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	95
2.7.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	97
2.7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	102
2.8. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	110
Γενικά.....	110
2.8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	110
2.8.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ/ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ.....	111
2.8.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	114
2.8.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	115
2.8.5 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	123
2.9 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΕΔΑΦΩΝ.....	135
Γενικά.....	135
2.9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	135
2.9.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	137
2.10. Βέλτιστο Δρομολόγιο Βασιζόμενο στην Εξοικονόμηση Καυσίμου ...	151
Γενικά.....	151
2.10.1 Εισαγωγή.....	151
2.10.2. Μεθοδολογία.....	153
2.10.3. Αποτελέσματα και συζήτηση.....	159
2.11 Βασικά Συμπεράσματα, συζήτηση και περαιτέρω έρευνα	162





3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	164
3.1 Περιοχή μελέτης	164
3.2 Όχημα μελέτης	165
3.3 Συλλογή των δεδομένων	166
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	167
4.1 Αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου αποκλειστικά του Toyota Prius	167
4.1.1 Διαδρομή Λαμία-Βόλος (P1-P5).....	167
4.1.2 Διαδρομή Βόλος-Λαμία (P1-P6).....	171
4.1.3 Διερεύνηση συμπεριφοράς της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα και τη μέση κατά μήκος κλίση	175
4.2 Αποτελέσματα σύγκρισης κατανάλωσης καυσίμων Prius-Peugeot σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού.	178
4.2.1 Διαδρομή Λαμία-Βόλος (P1-P5).....	178
4.2.2 Διαδρομή Βόλος-Λαμία (P6-P1).....	182
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	186
6. Βιβλιογραφία	188





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, εφαρμόζοντας τις πρακτικές της eco-driving οδήγησης, η οποία συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, στην μείωση των εκπομπών ρύπων καθώς και στον περιορισμό των τροχαίων ατυχημάτων. Ακολουθώντας το Eco-Driving δίνουμε έμφαση μόνο στα γεωμετρικά στοιχεία της οδού, και τα καθιστούμε κύριο παράγοντα μεταβολής της κατανάλωσης καυσίμου.

Αρχικά επιλέχθηκε ένα ΙΧ επιβατικό όχημα υβριδικής τεχνολογίας, μάρκας Toyota Prius. Το όχημα κινήθηκε επί της εθνικής οδού Π.Α.Θ.Ε. μεταξύ των πόλεων Λαμίας και Βόλου και στις δυο κατευθύνσεις. Δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου ελήφθησαν από 43 διαδρομές στην κατεύθυνση Λαμίας-Βόλου και από 37 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 ταχύτητες κίνησης 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων 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 για τις επιλεγμένες ταχύτητες κίνησης του οχήματος.

Στη συνέχεια έγινε συγκριτική μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου του υβριδικού οχήματος Toyota Prius με βενζινοκίνητο όχημα μάρκας Peugeot 207cc. Τα οχήματα κινήθηκαν ταυτόχρονα στην προαναφερθείσα διαδρομή, εκτελώντας ένα κύκλο διαδρομής για κάθε ταχύτητα μελέτης. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμου για τις ταχύτητες κίνησης 110χλμ/ώρα, 120χλμ/ώρα, 130 χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα. Στα οχήματα επέβαιναν 2 άτομα και





εκτελούσαν τις διαδρομές κάτω από τις ίδιες συνθήκες, με σταθερή πάντα ταχύτητα. Ομοίως με τη χρήση γεωμετρικών δεδομένων της κατά μήκος κλίσης της οδού, διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων για τις επιλεγμένες ταχύτητες κίνησης.

Τα αποτελέσματα της εργασίας θα ενισχύσουν τη θεώρηση της οικονομικής παραμέτρου σχεδιασμού και λειτουργίας των υπεραστικών οδών, λαμβάνοντας υπόψη 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. ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

2.1.1 Μονάδες μέτρησης

Οι δύο πιο συνηθισμένοι τρόποι για τη μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου των αυτοκινήτων είναι οι εξής:

- Η κατανάλωση καυσίμου: Η ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται ανά απόσταση. Συχνά μια αυθαίρετη απόσταση, συνηθέστερα λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα (l/100 km). Το μέτρο αυτό χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, την Κίνα, τον Καναδά, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία.
- Η οικονομία καυσίμου (απόδοση): Η αποδοτικότητα ορίζεται ως η παραγωγή ανά γέμισμα. Σε αυτοκίνητα είναι η διανυόμενη απόσταση ανά μονάδα χρησιμοποιούμενου καυσίμου, σε μίλια ανά γαλόνι (mpg), είτε σε χιλιόμετρα ανά λίτρο (km / l), που χρησιμοποιούνται συνήθως στο Ηνωμένο Βασίλειο, ΗΠΑ (mpg) και στην Ιαπωνία, στην Κορέα, στην Ινδία, στο Πακιστάν, σε περιοχές της Αφρικής, στις Κάτω Χώρες, στη Δανία και στη Λατινική Αμερική (km / l). Αν χρησιμοποιείται mpg, είναι σημαντικό να συγκεκριμενοποιείται για ποιο γαλόνι γίνεται λόγος εν προκειμένω. Το βρετανικό γαλόνι είναι περίπου 20% μεγαλύτερο από το γαλόνι στις ΗΠΑ.

Ένα συναφές μέτρο είναι η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται ως αποτέλεσμα της διαδικασίας καύσης, συνήθως μετρούμενη σε γραμμάρια CO₂ ανά χιλιόμετρο (CO₂ g / km). Ο βενζινοκινητήρας (βενζίνη) θα παράγει περίπου 2,32 kg διοξείδιο του άνθρακα για κάθε λίτρο βενζίνης που καταναλώνεται (19,4 lb / gal). Ένας τυπικός κινητήρας diesel παράγει 2,66 kg / L (£ 22.23 / gal) αν και κατά κανόνα καίει λιγότερα λίτρα ανά χιλιόμετρο για ένα ταυτόσημο αυτοκίνητο. Δεδομένου ότι οι εκπομπές CO₂ είναι σχετικά σταθερές ανά λίτρο είναι ανάλογες με την κατανάλωση καυσίμου.

2.1.2 Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα επιβατικά οχήματα συνήθως ελέγχονται με τη βοήθεια δύο κύκλων οδήγησης, και οι αντίστοιχες οικονομίες καυσίμων αναφέρονται ως «αστικές» και «εκτός πόλης», σε λίτρα ανά 100 km και (στο Ηνωμένο Βασίλειο) σε μίλια ανά αυτοκρατορικό γαλόνι.

Η αστική οικονομία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον κύκλο δοκιμών γνωστό ως ECE-15, που θεσπίστηκε με την οδηγία της ΕΟΚ 90/C81/01 το






1999. Προσομοιώνει ένα 4.052 μ. (2,518 μίλια) αστικής διαδρομής με μέση ταχύτητα 18,7 χλμ/ώρα (11,6 μίλια / ώρα) και με μέγιστη ταχύτητα 50 χλμ/ώρα (31 mph).

Ο υπεραστικός κύκλος ή EUDC διαρκεί 400 δευτερόλεπτα (6 λεπτά 40 δευτερόλεπτα) με μέση ταχύτητα 62,6 χλμ/ώρα (39 mph) και τελική ταχύτητα 120 km / h (74,6 μίλια/ώρα). Οι τιμές κατανάλωσης καυσίμων της ΕΕ έχουν την τάση να είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των ΗΠΑ για τα αποτελέσματα των δοκιμών US EPA για το ίδιο όχημα. Για παράδειγμα, το 2011 Honda CR-Z με ένα πεντατάχυτο μηχανικό κιβώτιο έχει βαθμολογηθεί 6.1/4.4 l/100 km στην Ευρώπη και 7.6/6.4 l/100 km στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι διαφημίσεις πρέπει να αναφέρουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και της κατανάλωσης καυσίμων με σαφή τρόπο. Από το Σεπτέμβριο του 2005 μία αυτοκόλλητη έγχρωμη Πράσινης Βαθμολογίας Θεώρηση, η οποία αξιολογεί την οικονομία καυσίμου από τις εκπομπές CO₂: A: ≤ 100 g / km, B: 100-120, C: 121-150, D: 151-165, E: 166-185, F: 186 -225, και Z: 226 +. Ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, για τη βενζίνη A αντιστοιχεί σε περίπου 4,1 l/100 km και G περίπου 9,5 l/100 km .

Vehicle Information																	
<p>CO₂ emission figure (g/km)</p>  <p> < 120 A 120+ to 140 B 140+ to 150 C 150+ to 175 D 170+ to 190 E 190+ to 225 F 225+ G </p>	<p>A 104 g/km</p>																
<p>Fuel Use (estimated) for 18,000 kilometres A fuel use figure is indicated to the consumer as a guide for comparison purposes. This figure is calculated by using the combined drive cycle (urban and extra urban fuel consumption cycles).</p> <p>Motor Tax for 12 months Motor Tax varies according to the CO₂ emissions of the vehicle.</p> <p>Vehicle Registration Tax (VRT) Rate Percentage rate of VRT payable at the value of the vehicle is dependent on the CO₂ emissions.</p>	<p>774 litres</p> <p>€100</p> <p>14%</p>																
<p>Environmental Information</p> <p>A guide on fuel economy and CO₂ emissions which contains data for all new passenger car models is available at any point of sale free of charge or directly from the Society of the Irish Motor Industry, 5 Upper Pembroke Street, Dublin 2, Tel: 01-6761690, web address: www.simi.ie. In addition to the fuel efficiency of a car, driving behaviour as well as other non-technical factors play a role in determining a car's fuel consumption and CO₂ emissions. CO₂ is the main greenhouse gas responsible for global warming.</p>																	
<p>Make:</p>																	
<p>Model/Version:</p>																	
<p>Carbon dioxide emissions (g/km): 104 g/km This figure may be obtained from the vehicle's Certificate of Conformity. Important note: Some specifications of this make/model may have lower CO₂ emissions than this. Check with your dealer.</p>																	
<p>Fuel Consumption:</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Drive cycle</th> <th>Litres/100km</th> <th>Fuel Type:</th> <th>Patrol</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Urban</td> <td>5.0</td> <td>Engine Capacity (cc):</td> <td>1497</td> </tr> <tr> <td>Extra-urban</td> <td>4.9</td> <td>Transmission:</td> <td>Automatic</td> </tr> <tr> <td>Combined</td> <td>4.3</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Drive cycle	Litres/100km	Fuel Type:	Patrol	Urban	5.0	Engine Capacity (cc):	1497	Extra-urban	4.9	Transmission:	Automatic	Combined	4.3		
Drive cycle	Litres/100km	Fuel Type:	Patrol														
Urban	5.0	Engine Capacity (cc):	1497														
Extra-urban	4.9	Transmission:	Automatic														
Combined	4.3																





2.1.3 Ενεργειακά ζητήματα

Δεδομένου ότι η συνολική δύναμη που αντιτίθεται στην κίνηση του οχήματος (με σταθερή ταχύτητα) επί την απόσταση την οποία ταξιδεύει το όχημα αποτελεί το έργο που ο κινητήρας του οχήματος πρέπει να επιτελεί.

Για ένα όχημα του οποίου πηγή δύναμης είναι μια μηχανή θερμότητας (μια μηχανή που χρησιμοποιεί τη θερμότητα για να παράγει χρήσιμο έργο), το ποσό ενέργειας του καυσίμου που καταναλώνει ένα όχημα ανά μονάδα απόστασης (οδό) εξαρτάται από:

- Τη θερμοδυναμική αποδοτικότητα του κινητήρα
- Τις δυνάμεις της τριβής μέσα στο μηχανικό σύστημα που παραδίδει το μηχανικό έργο στις ρόδες
- Τις δυνάμεις τριβής στις ρόδες και του δρόμου (τριβή κυλίσματος)
- Άλλες εσωτερικές δυνάμεις στις οποίες η μηχανή λειτουργεί ενάντια (ηλεκτρικοί γεννήτρια, κλιματισμό, υδραντλία, ανεμιστήρας κ.λπ.)
- Εξωτερικές δυνάμεις που αντιστέκονται στην κίνηση (π.χ., αέρας, βροχή)
- Μη-αναπαραγωγική δύναμη φρεναρίσματος (φρένα που μετατρέπουν την ενέργεια κινήσεων σε θερμότητα και δεν την αποθηκεύουν σε μια χρήσιμη μορφή π.χ., ηλεκτρική ενέργεια στα υβριδικά οχήματα).

Στην ιδανική περίπτωση, ένα αυτοκίνητο που κινείται με σταθερή ταχύτητα στο επίπεδο του εδάφους στο κενό με τροχούς χωρίς τριβές θα μπορούσε να ταξιδέψει σε οποιαδήποτε ταχύτητα χωρίς να καταναλώνει καθόλου ενέργεια πέρα από αυτή που χρειάζεται για να φτάσει το αυτοκίνητο μέχρι αυτή την ταχύτητα. Λιγότερο ιδανικά, οποιοδήποτε όχημα πρέπει να χρησιμοποιήσει την ενέργεια για την υπερνίκηση των δυνάμεων οδικών φορτίων, οι οποίες αποτελούνται από την αεροδυναμική έλξη, την αντίσταση κυλίσματος ροδών, και της ενέργεια αδράνειας που χάνεται όταν επιβραδύνεται το όχημα από τα φρένα τριβής. Με το ιδανικό αναπαραγωγικό φρενάρισμα, η αδρανής ενέργεια θα μπορούσε να ανακτηθεί εντελώς, αλλά υπάρχουν λίγες επιλογές για τη μείωση της αεροδυναμικής αντίστασης ή αντίστασης κύλισης, εκτός από τη βελτιστοποίηση σχήματος του οχήματος και το σχεδιασμό των ελαστικών. Η ενέργεια οδικών φορτίων, ή η ενέργεια που απαιτείται στις ρόδες, μπορεί να υπολογιστεί με την αξιολόγηση της εξίσωσης κίνησης των οχημάτων πάνω σε ένα συγκεκριμένο κύκλο οδήγησης. Ο κινητήρας του οχήματος πρέπει να παρέχει, στη συνέχεια, αυτή την ελάχιστη ενέργεια για να κινήσει το όχημα, και θα χάσει μια πρόσθετη ενέργεια μεγάλου ποσού στο στάδιο της μετατροπής της ενέργειας καυσίμων σε έργο και διαβίβασης του στις ρόδες.



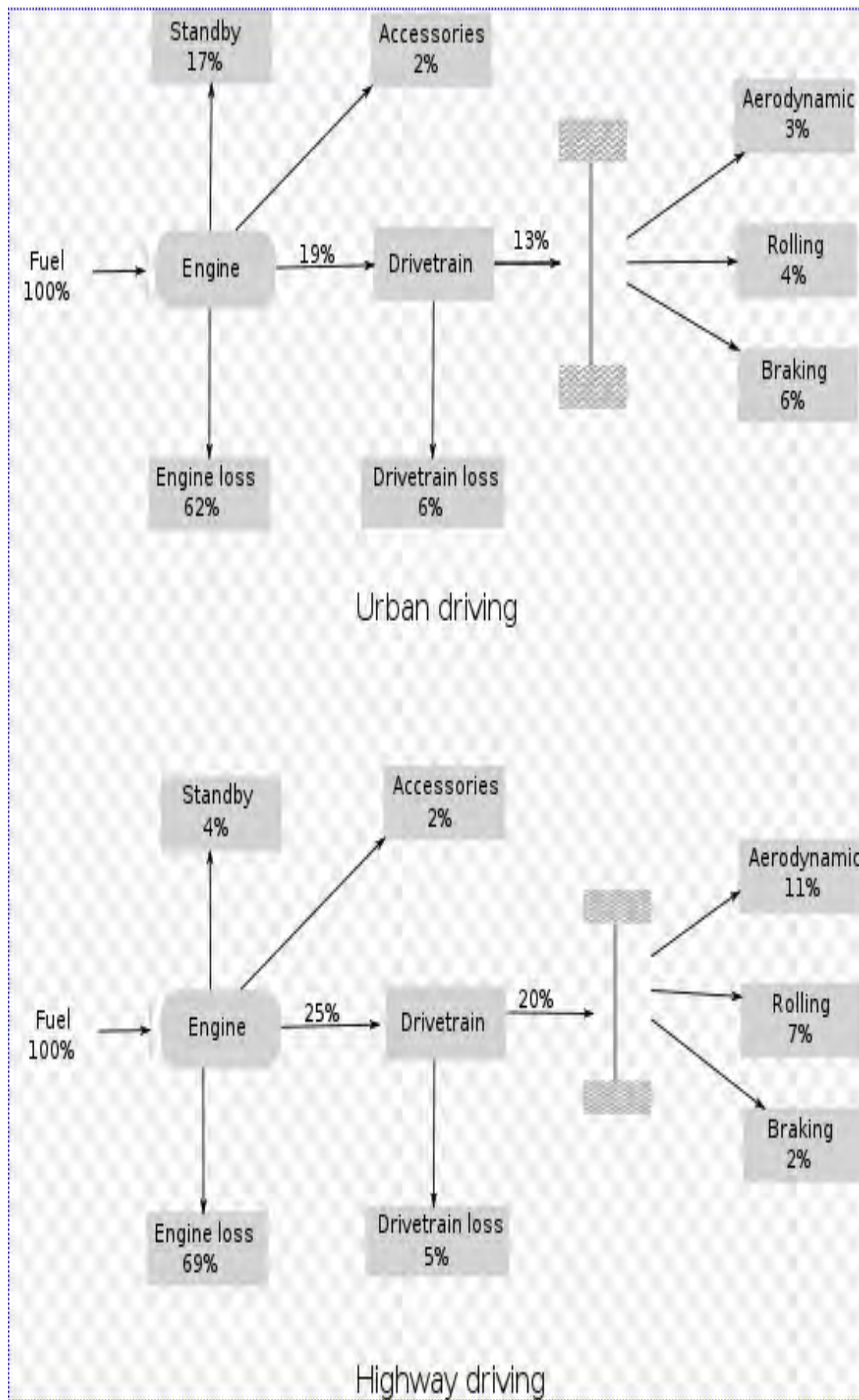


Συνολικά, οι πηγές των απωλειών ενέργειας σε κίνηση του οχήματος μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Απόδοση του κινητήρα, που κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, τη μάζα του αυτοκινήτου και του φορτίου του, και την ταχύτητα του κινητήρα (συνήθως μετριέται σε RPM).
- Αεροδυναμική δύναμη αντίστασης, η οποία αυξάνει κατά προσέγγιση από το τετράγωνο της ταχύτητας του αυτοκινήτου,
- Τριβή κύλισης
- Φρενάρισμα, αν και το αναπαραγωγικό φρενάρισμα λαμβάνει μέρος της ενέργειας που διαφορετικά θα χανόταν.
- Απώλειες στη μετάδοση.
- Κλιματισμό.
- Μεταφορά ισχύος. Τα παλαιότερα συστήματα τροφοδοτούνταν από μια υδραυλική αντλία συνδεδεμένη στη μηχανή. Τα πιο σύγχρονα σχέδια βελτιώνουν την αποδοτικότητα καυσίμων μόνο με το να ενεργοποιήσουν τη βοήθεια δύναμης όταν απαιτείται. Αυτό γίνεται με τη χρησιμοποίηση είτε απευθείας ηλεκτρικής βοήθειας είτε μιας ηλεκτρικά τροφοδοτημένης υδραυλικής αντλίας.
- Ψύξη. Παλαιότερα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούσαν διαρκώς μηχανικό ανεμιστήρα να στέλνει αέρα μέσα από το ψυγείο σε ποσοστό που σχετίζεται άμεσα με την ταχύτητα του κινητήρα.
- Ηλεκτρικά συστήματα. Προβολείς, η φόρτιση της μπαταρίας, ενεργή ανάρτηση, ανεμιστήρες, ηχεία, και άλλα ηλεκτρονικά μπορεί επίσης να αυξήσουν σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου.

Οι μειώσεις στην απόδοση των καυσίμων από ηλεκτρικά φορτία είναι πιο έντονες σε χαμηλότερες ταχύτητες, επειδή τα περισσότερα ηλεκτρικά φορτία είναι σταθερά, ενώ το φορτίο του κινητήρα αυξάνεται με ταχύτητα. Έτσι, σε χαμηλότερη ταχύτητα υψηλότερη αναλογία ιπποδύναμης του κινητήρα χρησιμοποιείται από ηλεκτρικά φορτία. Στα υβριδικά αυτοκίνητα φαίνεται η μεγαλύτερη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου από ηλεκτρικά φορτία.







2.1.4 Τεχνολογίες ενίσχυσης οικονομίας καυσίμου

- Η χρήση ελαφρύτερων υλικών για τα κινούμενα μέρη όπως τα έμβολα, ζάντες αλουμινίου
- Χρήση λαδιών κινητήρα που απαιτούν λιγότερη ενέργεια για να κυκλοφορήσουν
- Μείωση του όγκου του νερού των συστημάτων ψύξης, έτσι ώστε οι κινητήρες να επιτυγχάνουν νωρίτερα τη θερμοκρασία αποδοτικής λειτουργίας
- Χρήση ψυκτικών πρόσθετων που αυξάνουν την θερμική απόδοση του συστήματος ψύξης
- Σχεδιάζοντας το εξωτερικό του οχήματος για τη μείωση συντελεστή αεροδυναμικής
- Η αντικατάσταση ελαστικών με μοντέλα χαμηλής αντίστασης κύλισης
- Χρησιμοποιώντας ένα χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων ή συνεχούς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης αυτόματο κιβώτιο
- Η αύξηση του αριθμού των σχέσεων μετάδοσης του κιβωτίου σε μηχανικά κιβώτια
- Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα
- Η αντικατάσταση κινητήρων βενζίνης με πιο αποδοτικούς κινητήρες diesel
- Αυτόματη διακοπή κινητήρα όταν όχημα είναι σταματημένο (ήπια υβριδικά)
- Ανακτώντας τη χαμένη ενέργεια, από την πέδηση
- Ανακτώντας τη χαμένη ενέργεια στο σύστημα ανάρτησης του οχήματος
- Βελτιστοποιώντας στρατηγικές για άλλους κινητήρες εσωτερικής καύσης:
- Τη μείωση του βάρους του οχήματος, χρησιμοποιώντας υλικά όπως αλουμίνιο, πλαστικά, ατσάλι υψηλής αντοχής και ίνες άνθρακα, αντί του μαλακού χάλυβα και σιδήρου





2.2.ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Το 2003, είχε υπολογιστεί ότι στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντιστοιχούσε στον τομέα των μεταφορών μερίδιο 30% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Είχε διαπιστωθεί ότι η τάση ήταν αυξητική και ότι από αυτό το μερίδιο το 98% αντιστοιχούσε στην κατανάλωση παραγώγων πετρελαιοειδών προϊόντων.

Τις μεταφορές σήμερα, είτε αυτές αφορούν ανθρώπους είτε εμπορεύματα, τις διακρίνουμε σε τρεις ιδιαίτερες κατηγορίες: τις επίγειες χερσαίες, τις θαλάσσιες και τις αεροπορικές. Οι δύο τελευταίες, πλην ελαχίστων άκρως περιορισμένων και εξειδικευμένων εξαιρέσεων, χρησιμοποιούν κοινή πηγή ενέργειας τα συμβατικά υγρά καύσιμα, τα οποία είναι προϊόντα διύλισης αργού πετρελαίου. Οι επίγειες μεταφορές, έχουν μια διαφοροποίηση ως προς την πηγή ενέργειας τους έναντι των άλλων δύο. Τα συμβατικά καύσιμα εδώ δεν είναι η μοναδική πηγή ενέργειας. Μπορεί να κατέχουν τη μερίδα του λέοντος, αλλά στις επίγειες μεταφορές υπάρχει η δυνατότητα και γίνονται σημαντικές προσπάθειες για όλο και μεγαλύτερη διείσδυση στο ενεργειακό τους μείγμα και άλλων πηγών ενέργειας, χρόνο με το χρόνο σε όλο και μεγαλύτερο ποσοστό.

Μία από αυτές τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας, η δεύτερη σημαντικότερη του τομέα, είναι η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία εισέβαλε στο προσκήνιο παλαιόθεν με τρένα, τραμ, μετρό, τρόλεϊ και πρόσφατα επεκτείνεται και με ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Άλλη πηγή, είναι τα ανανεώσιμα καύσιμα, κυρίως τα βιοκαύσιμα βιοντίζελ και βιοαιθανόλη, τα οποία σπανιότερα σε αυτούσια μορφή και συνηθέστερα σαν πρόσμικτα σε διαφορετικά ποσοστά στο πετρέλαιο και την βενζίνη αντίστοιχα, εκτοπίζουν σταθερά τα συμβατικά καύσιμα από τη χρήση τους στις επίγειες μεταφορές. Σημαντικές επίσης ερευνητικές και πειραματικές προσπάθειες γίνονται σήμερα για την ανάπτυξη νέων ανταγωνιστικών τεχνολογιών και για την εξασφάλιση βιώσιμων οικονομικά και περιβαλλοντικά ενεργειακών πηγών και εναλλακτικών καυσίμων, σε αντικατάσταση των συμβατικών υγρών καυσίμων. Οι κυψέλες καυσίμων, το υδρογόνο και τα φωτοβολταϊκά, βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο τα τελευταία χρόνια και είναι πιθανόν σύντομα οι επιστήμονες και οι διεθνείς εξελίξεις θα τα προωθήσουν σε ευρύτερη εμπορική χρήση.

2.2.1 Η εξοικονόμηση ενέργειας στις μεταφορές

Τρεις είναι οι βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους θα πρέπει να στραφούμε για να επιτύχουμε θετικά αποτελέσματα στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας στις μεταφορές:

- Ορθολογική, επιλεκτική και βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων μέσων μεταφοράς (περπάτημα, ποδήλατο, χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς,





εκμετάλλευση της βέλτιστης μεταφορικής ικανότητας ενός οχήματος μεταφοράς)

- Χρήση οχημάτων τα οποία ενσωματώνουν τεχνολογίες υψηλής απόδοσης (υψηλή απόδοση σημαίνει καλύτερη εκμετάλλευση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παραλαβή περισσότερης ωφέλιμης ενέργειας από την ούτως ή άλλως καταναλισκόμενη)
- Οικολογική/οικονομική οδήγηση με την έννοια της ελαχιστοποίησης της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά επιβάτη και χιλιόμετρο διανυθείσας απόστασης (χρήση μεγάλης σχέσης μετάδοσης που συνδέεται με χαμηλές στροφές κινητήρα και κατά το δυνατόν σταθερή ταχύτητα χωρίς απότομες αυξομειώσεις)

2.2.2 Οφέλη από την εξοικονόμηση καυσίμων

- Μείωση του κόστους μεταφοράς, με άμεση συνέπεια στην αύξηση των διαθέσιμων οικονομικών πόρων
- Μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τους εξωγενείς ενεργειακούς πόρους και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου
- Μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής
- Μείωση των επικίνδυνων υποπροϊόντων καύσης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Αύξηση της βιωσιμότητας των ενεργειακών πόρων

2.2.3 Η έννοια της κατανάλωσης καυσίμου στις οδικές μεταφορές

Με τον όρο κατανάλωση καυσίμου εννοούμε την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνουμε για να διανύσουμε μια συγκεκριμένη απόσταση. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), έχει επικρατήσει ο όρος «κατανάλωση καυσίμου» να εκφράζει την ποσότητα των λίτρων που απαιτούνται από ένα όχημα για την κάλυψη 100 χιλιομέτρων (liters/100km). Έτσι, για παράδειγμα, όταν ακούμε ότι ένα ΙΧ έχει κατανάλωση 7,4 λίτρα, καταλαβαίνουμε ότι αυτό το αυτοκίνητο για να διανύσει μία απόσταση 100 χιλιομέτρων χρειάζεται 7,4 λίτρα. Είναι προφανές λοιπόν ότι όσο μικρότερη είναι η κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος, τόσο οικονομικότερο είναι σαν όχημα στη χρήση του, και τόσο φτηνότερη είναι η μεταφορά με αυτό.

Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της κατανάλωσης ενός οχήματος είναι με την ποσοτικοποίηση του αριθμού των διανυόμενων χιλιομέτρων ανά μονάδα καταναλισκόμενου καυσίμου. Αυτός ο τρόπος δεν είναι απόλυτα σωστός και σύμφωνος με τον όρο αλλά χρησιμοποιείται. Είναι ουσιαστικά το αντίστροφο του προηγούμενου ορισμού, και εκφράζει τον αριθμό των χιλιομέτρων τα οποία μπορεί να διανύσει το όχημα για κάθε λίτρο καυσίμου που καίει





(χλμ/λίτρο). Έτσι, για παράδειγμα το ίδιο όχημα που έχει κατανάλωση 7,4 λίτρα στα 100 χλμ, με ένα λίτρο καυσίμου διανύει 13,5 χλμ.

2.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου στα οχήματα οδικών μεταφορών

Οι σπουδαιότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καύσιμου στα οχήματα οδικών μεταφορών είναι:

• Η τεχνολογία και η απόδοση του κινητήρα

Δύο είναι οι βασικές τεχνολογίες κινητήρων εσωτερικής καύσης, οι οποίες κατηγοριοποιούν τα οχήματα σήμερα και έχουν επικρατήσει στις οδικές μεταφορές: Οι βενζινοκινητήρες, ή κινητήρες Όττο από το επώνυμο του εφευρέτη τους, οι οποίοι χρησιμοποιούν πτητικά καύσιμα (βενζίνη), είναι ελαφρύτερες κατασκευές, λειτουργούν με χαμηλότερες πιέσεις και σπινθηριστές και έχουν βαθμό απόδοσης περί το 30%. Οι ντιζελοκινητήρες, ή κινητήρες Ντίζελ από το επώνυμο του εφευρέτη τους, οι οποίοι χρησιμοποιούν μη πτητικά καύσιμα (πετρέλαιο), είναι βαρύτερες κατασκευές, λειτουργούν με υψηλότερες πιέσεις, χωρίς σπινθηριστές (με αυτανάφλεξη) και έχουν βαθμό απόδοσης 45%. Η απόδοση όμως ενός κινητήρα, δεν εξαρτάται μόνο από τον τύπο του (βενζινοκινητήρας ή ντιζελοκινητήρας), ο οποίος θεωρητικά καθορίζεται από τον βαθμό απόδοσής του λόγω του θερμοδυναμικού του κύκλου, αλλά και από την παλαιότητα, τις φθορές και την αρχική κατασκευαστική του ποιότητα.

• Το είδος και η απόδοση του καυσίμου

Δύο είναι τα κυρίαρχα είδη υγρών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα στις επίγειες μεταφορές, η βενζίνη και το πετρέλαιο. Η επιλογή του ενός ή του άλλου είναι αναγκαστική και υπαγορεύεται από τον τύπο του κινητήρα του οχήματος. Τα καύσιμα κατατάσσονται με διάφορους τρόπους. Ένας τρόπος κατάταξης και ταυτόχρονα αξιολόγησης είναι με βάση την απόδοσή τους, δηλαδή την αξία του ενεργειακού τους περιεχόμενου. Ο όρος θερμογόνος δύναμης καυσίμου εκφράζει αυτό ακριβώς, δηλαδή το ποσό της ενέργειας το οποίο αποδίδεται από την καύση μιας μοναδιαίας ποσότητας καυσίμου (π.χ. kWh/kg ή kWh/liter, MJ/kg ή MJ/liter, kcal/kg ή kcal/liter). Η θερμογόνος δύναμης δεν εξαρτάται μόνο από τον τύπο καυσίμου (π.χ. ντίζελ ή βενζίνη), αλλά και από την ποιότητα του, η οποία εξαρτάται από τον τόπο προέλευσης και τη σύστασή του, τον τρόπο και τη διαδικασία παραγωγής του, τα πρόσθετα, τις προδιαγραφές, την εμπορική του ονομασία και τον ποιοτικό έλεγχο της εταιρίας που το εγγυάται.





• Τα χαρακτηριστικά και η κατάσταση του οχήματος

Μπορεί τα αγωνιστικά αυτοκίνητα να μην είναι οικονομικά, αλλά σίγουρα οι σχεδιαστές τους έχουν λάβει υπόψη τους όλους τους παράγοντες που θα εξοικονομούσαν καύσιμο. Η μετωπική επιφάνεια, η αεροδυναμική και το βάρος είναι τα στοιχεία που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για έρευνα, ανάπτυξη και βελτιστοποίηση. Επειδή εχθρός του καλού είναι το καλύτερο, επιστήμονες, τεχνολόγοι και σχεδιαστές δεν πρόκειται ποτέ να σταματήσουν τον αγώνα για τη μείωση της αντίστασης του αέρα, τη μείωση των τριβών, την αύξηση της αντοχής των υλικών με ταυτόχρονη μείωση του βάρους των κατασκευών. Ο ευαισθητοποιημένος υποψήφιος αγοραστής οχήματος, ο οποίος θέλει να μετακινείται οικονομικά, αν δεν είναι οδηγός αγώνων ταχύτητας, δεν θα κοιτάξει μόνο την μικρή μετωπική επιφάνεια, την τέλεια αεροδυναμική και τα ελαφρά κι ανθεκτικά κράματα (κάμπριο, αεροτομές, τιτάνια κι αλουμινένιες ζάντες). Το είδος της κυρίαρχης χρήσης και η εκπλήρωση των αναγκών που πηγάζουν από αυτήν, θα πρέπει να είναι το πρωταρχικό στοιχείο για την επιλογή του τύπου, του μεγέθους και του κυβισμού του οχήματος μεταφοράς μας. Η τακτική συντήρηση πέρα από ασφάλεια, μακροπρόθεσμα σημαίνει και οικονομία. Αξίζει να θυμάται κάποιος ότι οι ρυθμισμένοι κινητήρες, τα λαδωμένα και γρασαρισμένα κινούμενα μέρη αλλά και η πίεση του αέρα των ελαστικών, η οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του τύπου και του βάρους του οχήματος, αποδεδειγμένα εξοικονομούν σημαντικές ποσότητες καυσίμου.

• Το είδος της διαδρομής

Οι κατασκευαστές έχουν τυποποιήσει σε τρεις κατηγορίες το είδος οδήγησης, κατηγοριοποιώντας ως προς το είδος της διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο αριθμός των στάσεων και επανεκκινήσεων, οι αυξομειώσεις ταχύτητας, η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση ταχύτητα. Έτσι για κάθε συγκεκριμένο όχημα μαζί με τα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, παρέχονται και στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου για τρεις διαφορετικούς οδηγικούς κύκλους: Αστικό, Μικτό και Εκτός πόλης, με παραδείγματα αντίστοιχων καταναλώσεων 8.4 λίτρα/100 χλμ., 6.4 λίτρα/100 χλμ. και 5.3 λίτρα/100 χλμ. Η εκτός πόλης οδήγηση, θεωρείται η οικονομικότερη, γιατί είναι η οδήγηση με την πλέον σταθερή ταχύτητα. Το είδος της διαδρομής και η κατάσταση του οδοστρώματος (ανηφορικό – κατηφορικό, άσφαλτος – χώμα) είναι προφανές ότι συμβάλει ανάλογα, έμμεσα ή άμεσα, στη κατανάλωση.





• Ο χαρακτήρας του οδηγού και το τρόπο οδήγησης

Ο χαρακτήρας του οδηγού και ο τρόπος οδήγησης επηρεάζουν σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Οι απότομες, επανειλημμένες κι άχρηστες αυξομειώσεις ταχύτητας αλλά και οι συχνές κι ανατιολόγητες στάσεις αυξάνουν τις καταναλώσεις καυσίμου. Έτσι, η οδηγητική συμπεριφορά μπορεί και να εξαρτάται έμμεσα από την ηλικία, το φύλλο ή από το επάγγελμα του οδηγού, στο βαθμό που οι συγκεκριμένες κατηγορίες, έναντι άλλων, αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων αντιδράσεων ή συμπεριφορών.





2.3 Τι είναι υβριδικό αυτοκίνητο;

Υβριδικό λέγεται το αυτοκίνητο το οποίο συνδυάζει έναν συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες. Έτσι, απαιτείται λιγότερο καύσιμο για την κίνησή του και εκλύονται λιγότεροι ρύποι στην ατμόσφαιρα. Οι μπαταρίες που διαθέτει χρειάζονται για την αποθήκευση της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προέρχεται είτε από την ανάκτηση της κινητικής ενέργειας κατά το φρενάρισμα, είτε από τη λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ήδη εξελίσσονται υβριδικά των οποίων οι μπαταρίες θα μπορούν να φορτίζονται και από οικιακές πρίζες.

2.3.1 Γενικές... υβριδικές αρχές

Η οδήγηση ενός υβριδικού δεν διαφέρει σχεδόν σε τίποτα από αυτή ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Η λειτουργία του υβριδικού συστήματος είναι αυτόματη και δεν απαιτεί ειδικές γνώσεις από τον οδηγό. Καθότι χρησιμοποιούν βενζίνη (στο άμεσο μέλλον θα υπάρξουν και diesel), ο ανεφοδιασμός τους γίνεται στα πρατήρια καυσίμων, όπως ισχύει για όλα τα συμβατικά οχήματα.

Σε ένα υβριδικό όχημα η απαιτούμενη ενέργεια για την κίνησή του προέρχεται από τη συνεργασία ενός συμβατικού κινητήρα εσωτερικής καύσης (βενζίνης ή diesel) και ενός ή περισσότερων ηλεκτροκινητήρων. Ο ηλεκτροκινητήρας υποβοηθά τον κινητήρα στις περιπτώσεις που αυξάνουν πολύ την κατανάλωση καυσίμου, όπως η λειτουργία στο ρελαντί και η επιτάχυνση, βοηθώντας έτσι να μειωθεί η κατανάλωση. Αυτό σημαίνει πως σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό αυτοκίνητο ίδιου μεγέθους και κυβισμού, το υβριδικό επιτυγχάνει χαμηλότερο κόστος μετακίνησης.

Ο ηλεκτροκινητήρας έχει το χαρακτηριστικό να αποδίδει τη μέγιστη ροπή του από τις 0 σ.α.λ. και σε όλο σχεδόν το φάσμα στροφών λειτουργίας τους, συνεισφέροντας έτσι σε πιο γρήγορες επιταχύνσεις, είτε από στάση είτε εν κινήσει.

Εν κατακλείδι, τα υβριδικά προσφέρουν χαμηλότερη κατανάλωση και εκπομπές ρύπων σε συνδυασμό με υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό αυτοκίνητο. Στην Ευρώπη υπολογίζεται πως ένα υβριδικό αυτοκίνητο μειώνει τις συνολικές εκπομπές ρύπων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του κατά 25% σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβατικό μοντέλο. Ειδικά στις εκπομπές CO₂, NO_x και υδρογονανθράκων η μείωση φτάνει ακόμη και το 90%.





2.3.2 Τύποι υβριδικών συστημάτων

Οι βασικοί τύποι υβριδικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται από τις αυτοκινητοβιομηχανίες είναι τρεις, ανάλογα με τη διάταξη των μηχανικών τους μερών: παράλληλη, σειριακή και συνδυασμένη.

Παράλληλη διάταξη

Στον συγκεκριμένο τύπο, ο κινητήρας είναι η κύρια πηγή ισχύος και ο ηλεκτροκινητήρας συνεισφέρει όποτε χρειάζεται. Ο κινητήρας λειτουργεί σε κάθε περίπτωση, με το ηλεκτρικό μοτέρ, το οποίο παρέχει τη μέγιστη ροπή του από τις 0 σ.α.λ., να τον υποβοηθά στις εκκινήσεις και στις επιταχύνσεις, στις περιπτώσεις δηλαδή όπου χρειάζεται περισσότερη ενέργεια. Η παράλληλη διάταξη είναι η πιο απλή, και αυτό διότι προσαρμόζεται ένας ηλεκτροκινητήρας με τις μπαταρίες του σε ένα συμβατικής τεχνολογίας αυτοκίνητο.

Σειριακή διάταξη

Εδώ, η ενέργεια για την κίνηση του αυτοκινήτου προέρχεται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα, όπως ακριβώς και στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Ο συμβατικός κινητήρας απλώς δίνει κίνηση σε μια γεννήτρια η οποία φορτίζει τις μπαταρίες του συστήματος. Το όλο σύστημα είναι ίδιο με αυτό ενός ηλεκτρικού οχήματος, η ύπαρξη όμως του συμβατικού κινητήρα το καθιστά υβριδικό.

Συνδυασμένη διάταξη

Ο ηλεκτροκινητήρας κινεί το όχημα από την εκκίνηση και στις πολύ χαμηλές ταχύτητες. Όσο η ταχύτητα αυξάνει, συμβατικός κινητήρας και ηλεκτρικό μοτέρ λειτουργούν συνδυαστικά παρέχοντας την απαιτούμενη ισχύ. Η διάταξη αυτή είναι και η πιο πολύπλοκη, περιλαμβάνοντας μια συσκευή διαχωρισμού ισχύος και γεννήτρια. Ο κινητήρας, εκτός από το αυτοκίνητο κινεί και τη γεννήτρια του ηλεκτροκινητήρα.

2.3.3 Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

Τα υβριδικά συστήματα ενσωματώνουν κάποιες επιπλέον λειτουργίες οι οποίες βοηθούν στην εξοικονόμηση και την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας.





Ανάκτηση ενέργειας

Ένα σημαντικό στοιχείο των υβριδικών συστημάτων, είναι η εκμετάλλευση της ενέργειας που κανονικά θα χανόταν στο ρολάρισμα και στο φρενάρισμα. Όταν πατάμε τα φρένα, οι δαγκάνες σφίγγουν πάνω στις δισκόπλακες αναγκάζοντας έτσι τους τροχούς να σταματήσουν. Αυτό επιτυγχάνεται μετατρέποντας την κινητική ενέργεια (κίνηση του οχήματος) σε θερμική (θερμότητα που αναπτύσσεται στα φρένα και που χάνεται στον αέρα). Στα υβριδικά συστήματα, όταν το αυτοκίνητο ρολάρει ή φρενάρει, ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια και φορτίζει τις μπαταρίες του.

Start-stop

Ένα σημαντικό σύστημα που συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης και των ρύπων είναι αυτό που σβήνει αυτόματα τον κινητήρα όταν το αυτοκίνητο είναι σταματημένο, π.χ. σε φανάρι και τον εκκινεί επίσης αυτόματα μόλις απενεργοποιηθούν τα φρένα. Στα υβριδικά αυτοκίνητα είναι ενσωματωμένο στο υβριδικό τους σύστημα. Αντίστοιχο σύστημα διαθέτουν πλέον και πολλά συμβατικά αυτοκίνητα, στα οποία η λειτουργία γίνεται με τη βοήθεια της μίζας.





2.3.4 Οικονομία καυσίμου των υβριδικών αυτοκινήτων σε σύγκριση με τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα

Με τη μετατροπή της ενέργειας των καυσίμων, όπως η βενζίνη, σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της ΜΕΚ (μηχανής εσωτερικής καύσεως), τα υβριδικά, επιτυγχάνουν γενικά μεγαλύτερη οικονομία καυσίμων από ότι αν χρησιμοποιηθεί η ΜΕΚ για τροφοδοτηθούν οι τροχοί άμεσα, όπως τα συμβατικά αυτοκίνητα. Τα Υβριδικά επιτρέπουν επίσης στη ΜΕΚ να απενεργοποιείτε τουλάχιστον περιοδικά κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού, ακόμη και όταν είναι εν κινήσει. Αντίθετα με τα συμβατικά οχήματα, τα οποία απαιτούν η ΜΕΚ να παραμείνει σε λειτουργία καταναλώνοντας συνεχώς καύσιμα.

Ειδικά εκείνα με ικανότητα plug-in, μπορούν να λειτουργήσουν για αρκετά μίλια με μπαταρία μόνο. Για τους οδηγούς που κάνουν συχνές μικρές διαδρομές, αυτό μπορεί να σημαίνει ολόκληρα ταξίδια χωρίς καύση οποιουδήποτε καυσίμου.

Οι κινητήρες ντίζελ καίνε ντίζελ, ένα υγρό υδρογονανθράκων που είναι παρόμοιο με βενζίνη αλλά με πολύ χαμηλότερο αριθμό οκτανίων. Αντί να χρησιμοποιεί μπουζί για την ανάφλεξη των καυσίμων όπως οι βενζινοκινητήρες, οι ντίζελ ΜΕΚ επικαλούνται την θερμότητα και την πίεση που παράγεται από τη συμπίεση για να προκαλέσει την ανάφλεξη του αέριου μείγματος ντίζελ στο θάλαμο καύσης .

Οι κινητήρες ντίζελ είναι γενικά πιο οικονομικοί από τους βενζινοκινητήρες, λόγω του σχεδιασμού τους , που επιτρέπει πιο λεπτομερή καύση, και παραγωγή περισσότερης ενέργεια ανά μονάδα καυσίμου.

Η εξέλιξη των κινητήρων ντίζελ έχουν εξαλείψει την προηγούμενη φήμη τους για το θόρυβο και τα βρώμικα καυσαέρια. Το πετρέλαιο τροφοδοτεί μερικά από τα πιο οικονομικά σε καύσιμα οχήματα στο δρόμο, που παίρνουν mileage που φθάνει τα 40 mpg ή περισσότερο στην οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο. Τα υβριδικά έχουν mpg αξιολογήσεις, 33 έως 50 mpg.





2.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ, ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ & ΑΣΦΑΛΗΣ ΟΔΗΓΗΣΗ (ECO-DRIVING)

Ένας έξυπνος τρόπος οδήγησης

2.4.1 Τι είναι το Eco-Driving (Οικονομική Οδήγηση];

Το Eco-Driving είναι ένας έξυπνος τρόπος οδήγησης ο οποίος συμβάλλει στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, στην μείωση των εκπομπών ρύπων και των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και στον περιορισμό των τροχαίων ατυχημάτων. Το Eco-Driving είναι ένας τρόπος οδήγησης κατάλληλα επιλεγμένος ώστε να εφαρμόζεται στα σύγχρονα επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά και λεωφορεία. Eco-Driving σημαίνει συνετή, ήπια και ασφαλής οδήγηση σε χαμηλό αριθμό στροφών του κινητήρα (1.200 - 2.500 στροφές ανά λεπτό) με την οποία κατά μέσο όρο εξοικονομείται 5 έως 10% καύσιμο.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία των κινητήρων των οχημάτων έχουν κάνει δυνατή την υιοθέτηση ενός νέου, πιο αποδοτικού και πιο ελκυστικού τρόπου οδήγησης των αυτοκινήτων, των φορτηγών και των λεωφορείων. Ο βελτιωμένος αυτός τρόπος οδήγησης ονομάζεται οικονομική οδήγηση ή αλλιώς Eco-Driving και οι περισσότερες από τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά το Eco-Driving, εφαρμόζονται και σε οχήματα παλαιότερης τεχνολογίας. Το Eco-Driving προσφέρει σημαντικά οφέλη σε οδηγούς ιδιωτικών και επαγγελματικών ή εταιρικών αυτοκινήτων, σε οδηγούς λεωφορείων και φορτηγών καθώς και σε ιδιοκτήτες στόλων οχημάτων: εξοικονόμηση καυσίμου και κόστους, αυξημένη οδική ασφάλεια και μεγαλύτερη άνεση κατά την μετακίνηση. Σε αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν ήδη εκτελεστεί περισσότερο ή λιγότερο επιτυχημένα προγράμματα εφαρμογής του Eco-Driving.

Ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα Eco-Driving συνήθως αποτελείται από τις παρακάτω πέντε πρακτικές εφαρμογής:

- Εκπαίδευση νέων (αρχαρίων) οδηγών
- Εκπαίδευση παλαιών οδηγών
- Χρήση βοηθητικού εξοπλισμού εξοικονόμησης καυσίμου
- Ρύθμιση της πίεσης των ελαστικών
- Καταναλωτική συμπεριφορά (ετικέτα οικονομίας καυσίμου)

Και οι πέντε παραπάνω εφαρμογές αποτελούν ολοκληρωμένες πρακτικές συνετής και υπεύθυνης χρήσης του οχήματος. Επίσης, ο προσανατολισμός της καταναλωτικής συνείδησης προς πιο αποδοτικά οχήματα και η ενεργειακά αποδοτική οδηγική συμπεριφορά, αποτελούν τα δύο άκρα της ίδιας διαδικασίας ενημέρωσης των χρηστών των μέσων μεταφοράς. Eco-Driving





σημαίνει βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μέσω της αλλαγής της οδηγικής συμπεριφοράς και την αγορά ενός αποδοτικού αυτοκινήτου, φορτηγού ή λεωφορείου. Eco-Driving επίσης σημαίνει βελτίωση της αποδοτικότητας των μετακινήσεων μέσω συχνών ελέγχων της πίεσης των ελαστικών του οχήματος και την βοηθητικού εξοπλισμού εξοικονόμησης καυσίμου.

Εκπαίδευση νέων (αρχαρίων) οδηγών

Ο πιο αποδοτικός τρόπος διάδοσης του Eco-Driving ,από πλευράς αποτελεσματικότητας και κόστους, είναι η εισαγωγή του στην διαδικασία εκπαίδευσης και απόκτησης διπλώματος των νέων οδηγών. Όταν οι νέοι οδηγοί διδάσκονται εξ αρχής να οδηγούν με βάση τις αρχές του Eco-Driving, είναι εύκολο να αφομοιώσουν αυτόν τον τρόπο οδήγησης και να τον εφαρμόζουν καθημερινά ως τον συνήθη τρόπο οδήγησης τους. Για να αποτελέσει όμως το Eco-Driving ένα ολοκληρωμένο και ουσιαστικό τμήμα της διαδικασίας εκπαίδευσης των νέων οδηγών, είναι απαραίτητο ο νέος οδηγός να εξετάζεται στην εφαρμογή των κανόνων του Eco-Driving κατά την διαδικασία εξέτασης για την απόκτηση διπλώματος οδήγησης.

Επανεκπαίδευση των παλαιών οδηγών

Αν και είναι σημαντικό οι οδηγοί να διδάσκονται εξ αρχής έναν ορθολογικό και συνετό τρόπο οδήγησης, εξίσου σημαντική είναι και η εκπαίδευση των οδηγών οι οποίοι διαθέτουν ήδη δίπλωμα οδήγησης. Οι περισσότεροι παλαιοί οδηγοί έχουν διδαχθεί και εφαρμόζουν στην πράξη έναν τρόπο οδήγησης του αυτοκινήτου που δεν συμβαδίζει με την σύγχρονη τεχνολογία των κινητήρων των οχημάτων, ενώ οι βελτιωμένες δυνατότητες και επιδόσεις των νέων οχημάτων συχνά χρησιμοποιούνται καταχρηστικά και άσκοπα από τους οδηγούς. Επιπρόσθετα είναι σαφές ότι πολλοί οδηγοί που ενδεχομένως επιδιώκουν συνειδητά να κάνουν μια ορθολογική και οικονομική χρήση των οχημάτων τους, είτε αγνοούν πλήρως είτε εμπειρικά γνωρίζουν ένα μέρος μόνο από τους κανόνες που πρέπει να ακολουθήσουν για να το επιτύχουν. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου, είναι ένα σημαντικό μέρος από τα οφέλη που μας προσφέρουν οι εφαρμογές των νέων τεχνολογιών στα οχήματα, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας, η προστασία του περιβάλλοντος, η οδική ασφάλεια κλπ. να αναιρούνται από αυτή την συμπεριφορά των οδηγών. Για παράδειγμα οι περισσότεροι οδηγοί έχουν συνηθίσει να αλλάζουν σχέση μετάδοσης (ταχύτητα) σε μεγάλο αριθμό στροφών του κινητήρα. Η οδήγηση με έναν ελαφρά διαφορετικό τρόπο, προσαρμοσμένο στα χαρακτηριστικά των σύγχρονων κινητήρων των επιβατικών αυτοκινήτων, φορτηγών και λεωφορείων προσφέρει σημαντικά οφέλη στην εξοικονόμηση καυσίμου, στην άνεση και την ασφάλεια. Με σωστή εκπαίδευση, οι οδηγοί μπορούν να





εξοικονομήσουν κατά μέσο όρο 5 έως 10% καύσιμο ενώ ορισμένοι οδηγοί μπορούν να εξοικονομήσουν καύσιμο ακόμα και πάνω από 20%.

Πίεση των ελαστικών

Ο έλεγχος της πίεσης των ελαστικών συνήθως για τον οδηγό δεν αποτελεί προτεραιότητα κατά τον έλεγχο του οχήματος, αν και μια μικρή απώλεια 0,1 bar ανά μήνα στην πίεση των ελαστικών σημαίνει ότι σε ένα χρόνο τα ελαστικά θα έχουν 1,2 bar ή περίπου 17,5 psi μικρότερη πίεση. Όταν η πίεση των ελαστικών είναι πολύ χαμηλή, η αντίσταση του ελαστικού στην τριβή με το οδόστρωμα αυξάνεται με συνέπεια να αυξάνεται και η κατανάλωση καυσίμου. Επίσης, η οδήγηση με χαμηλή πίεση ελαστικών είναι επικίνδυνη λόγω των ανεπιθύμητων επιδράσεων στην πρόσφυση και το φρενάρισμα του οχήματος. Αποτελέσματα ερευνών σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες έχουν δείξει ότι περίπου το 50% των κυκλοφορούντων επιβατικών αυτοκινήτων παρουσιάζουν πολύ χαμηλή πίεση ελαστικών.

Καταναλωτική συμπεριφορά (Ετικέτα οικονομίας καυσίμου)

Η εξοικονόμηση καυσίμου ξεκινά με την αγορά ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων. Για τον λόγο αυτό, σε πολλές χώρες έχει εισαχθεί η χρήση της ενεργειακής ετικέτας για όλα τα καινούργια επιβατικά αυτοκίνητα, η οποία παρέχει πληροφορίες για την επίσημη τιμή κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO₂ ενός αυτοκινήτου. Οι ετικέτες τοποθετούνται σε όλα τα νέα αυτοκίνητα που διατίθενται προς πώληση στις εκθέσεις αυτοκινήτων ενώ πληροφορίες για την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές CO₂ κάθε νέου αυτοκινήτου εμφανίζονται σε κάθε σχετικό διαφημιστικό έντυπο ή άλλο πληροφοριακό υλικό

Όσον αφορά την επίσημη τιμή κατανάλωσης καυσίμου που αναγράφεται στην ετικέτα, αυτή για κάθε συγκεκριμένο αυτοκίνητο συγκρίνεται με την μέση κατανάλωση των αυτοκινήτων της ίδιας κατηγορίας. Σε ορισμένες χώρες της Ε. Ε, η ετικέτα οικονομίας καυσίμου των αυτοκινήτων είναι παρόμοια με την ετικέτα που χρησιμοποιείται για την ενεργειακή σήμανση των ηλεκτρικών συσκευών. Στην ετικέτα η επίσημη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου παρουσιάζεται με ένα συγκεκριμένο ενδεικτικό χρώμα, το οποίο κατατάσσει σε κατηγορίες το αυτοκίνητο ανάλογα με τον αν καταναλώνει περισσότερο ή λιγότερο καύσιμο από τον μέσο όρο των αυτοκινήτων της ίδιας κατηγορίας. Το κίτρινο χρώμα σημαίνει πως η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος κυμαίνεται σε μέτριο επίπεδο, το κόκκινο χρώμα ότι καταναλώνει περισσότερο, και το πράσινο χρώμα λιγότερο από τον μέσο όρο. Άλλοι τύποι ετικετών οικονομίας καυσίμου, μεταξύ των οποίων και αυτή που υπάρχει στην Ελλάδα, απλώς εκπληρώνουν τις ελάχιστες απαιτήσεις της σχετικής Κοινοτικής Οδηγίας και παρουσιάζουν μόνο την τιμή της κατανάλωσης





καυσίμου (κύκλος εντός πόλης, εκτός πόλης και συνδυασμένος κύκλος) και των εκπομπών CO₂. Παρόλα αυτά υπάρχει η πρόθεση από πλευράς της Ε.Ε για μια μελλοντική εναρμόνιση από όλες τις χώρες της Ε.Ε. της σχετικής ετικέτας, σε μια κοινή τυποποιημένη μορφή.

Εξοπλισμός Εξοικονόμησης Καυσίμου

Κατά την διάρκεια και μετά από μια διαδρομή με το αυτοκίνητο, οι οδηγοί, οι ιδιοκτήτες στόλων οχημάτων, οι εκπαιδευτές και οι αρχάριοι οδηγοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορα συστήματα και συσκευές για να ελέγξουν και να βελτιώσουν την οδηγική τους συμπεριφορά και την κατανάλωση καυσίμου. Σε αρκετές δοκιμές έχει αποδειχθεί ότι η χρήση συσκευών όπως οι οικονομητρητές, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές ταξιδιού, τα συστήματα cruise control καθώς και οι περιοριστές ταχύτητας και στροφών, συμβάλλουν στην εξοικονόμηση καυσίμου και πολλές φορές ακόμη και στην αύξηση της οδικής ασφάλειας. Σε πειραματικές δοκιμές όπου χρησιμοποιήθηκαν κοινές και σχετικά απλές συσκευές εξοικονόμησης καυσίμου, οι οδηγοί πέτυχαν κατά μέσο όρο 5% εξοικονόμηση καυσίμου ενώ σε μερικές περιπτώσεις η εξοικονόμηση καυσίμου ξεπέρασε ακόμη και το 10%. Αντίστοιχα, με την χρήση πιο πολύπλοκων και εξελιγμένων πειραματικών συσκευών, η βελτίωση της αποδοτικότητας άγγιξε το 20%.

Επομένως η χρήση του βοηθητικού εξοπλισμού εξοικονόμησης καυσίμου, συμβάλλει σημαντικά στην οικονομική οδήγηση. Ο οδηγός που τα χρησιμοποιεί και ταυτόχρονα έχει εκπαιδευτεί να εφαρμόζει τις αρχές του Eco-Driving, είναι σε θέση να βελτιώσει ακόμη περισσότερο τα οφέλη που προκύπτουν.

2.4.2 Οφέλη του Eco-Driving

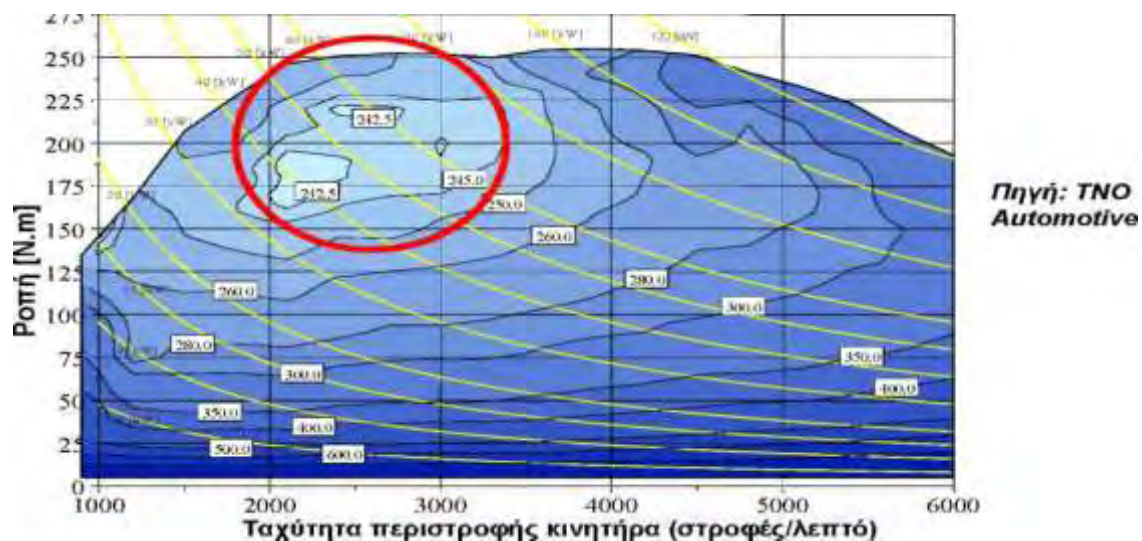
Τεχνικές Πληροφορίες

Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία των κινητήρων και οι επιδόσεις των επιβατικών αυτοκινήτων, των μικρών και μεγάλων φορτηγών και των λεωφορείων έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Επίσης τα βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα έχουν γίνει πολύ «καθαρότερα» και φιλικά προς το περιβάλλον, με σημαντικά μικρότερες εκπομπές επικίνδυνων ρύπων που επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία. Σημαντικό μέρος του επιτεύγματος αυτού οφείλεται στην εισαγωγή καταλυτών που ελαττώνουν τις εκπομπές των CO, HC και NO_x και των καταλυτών επιλεκτικής αναγωγής οι οποίοι ελαττώνουν τις εκπομπές NO_x στα οχήματα diesel. Επίσης υπήρξαν κάποιες βελτιώσεις στην απόδοση των συμβατικών κινητήρων και στις εκπομπές CO₂.





Δυστυχώς τα οφέλη που προκύπτουν από τις παραπάνω βελτιώσεις αξιοποιούνται μόνο μερικώς σε συνθήκες πραγματικής κυκλοφορίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός του ότι οι περισσότεροι χρήστες δεν οδηγούν το όχημά τους με τον τρόπο που έχει σχεδιαστεί και βαθμονομηθεί ο κινητήρας του οχήματος. Τα επιβατικά αυτοκίνητα υποβάλλονται σε έναν υποχρεωτικό κύκλο δοκιμών με βάση τον οποίο καθορίζονται οι εκπομπές καυσαερίων τους. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιούνται με βάση ένα ενιαίο επίσημο πρότυπο δοκιμών που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ η Ε. Ε. επίσης ορίζει και ανώτατα επιτρεπόμενα όρια στις εκπομπές καυσαερίων των οχημάτων. Έτσι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων σχεδιάζουν τους κινητήρες των οχημάτων ώστε να λειτουργούν μέσα στα όρια μιας λεπτής ισορροπίας- μεταξύ της βέλτιστης λειτουργικότητας και του κατάλληλου επιπέδου εκπομπών καυσαερίων ώστε να πληρούν τις αντίστοιχες προϋποθέσεις και τα όρια των πρότυπων δοκιμών που επιβάλλει η Ε.Ε. Παρόλα αυτά όμως ο συνήθης τρόπος οδήγησης δεν συμβαδίζει πλήρως με τον τρόπο με τον οποίο έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί ο κινητήρας. Μέσω του Eco-Driving όμως οι οδηγοί είναι δυνατό να προσεγγίσουν τις βέλτιστες συνθήκες χρήσης του κινητήρα του οχήματος.



Εικόνα 3.1: «Χάρτης» λειτουργίας ενός μέσου σύγχρονου βενζινοκίνητου αυτοκινήτου

Στον οριζόντιο άξονα του παραπάνω διαγράμματος εμφανίζεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η οποία μετριέται σε στροφές του κινητήρα ανά λεπτό (r.p.m.). Ο οδηγός μπορεί να διαβάσει την ένδειξη του πραγματικού αριθμού στροφών του κινητήρα από το στροφόμετρο του πίνακα οργάνων.

Αντίστοιχα στον κάθετο άξονα εμφανίζεται η ροπή του κινητήρα η οποία εκφράζει το μηχανικό έργο που έχει την δυνατότητα να παρέχει ένας κινητήρας. Για τα οχήματα που λειτουργούν με ψεκασμό του καυσίμου (βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα), μεγάλη πίεση στο πεντάλ του γκαζιού στις χαμηλές στροφές σημαίνει και υψηλή ροπή.





Η περιοχή που βρίσκεται εντός του κόκκινου κύκλου αποτελεί την πιο αποδοτική περιοχή του κινητήρα από πλευράς οικονομίας καυσίμου. Για να μπορεί κάποιος να οδηγεί αποδοτικά, πρέπει να προσπαθεί να διατηρεί την λειτουργία του κινητήρα μέσα σε αυτή την περιοχή για όσο δυνατό περισσότερο χρόνο. Αυτό ακριβώς αφορούν και πολλές από τις τεχνικές εφαρμογής του Eco-Driving: την διατήρηση του κινητήρα στην αποδοτική περιοχή λειτουργίας του σε συνδυασμό με θέματα οδικής ασφάλειας, καθώς η ενεργειακή αποδοτικότητα δεν πρέπει ποτέ να υπερισχύει της ασφάλειας. Άλλες τεχνικές κάνουν χρήση των νέων τεχνολογιών, όπως η διακοπή της παροχής καυσίμου όταν ο οδηγός αφήνει το γκάζι και αφήνει το όχημα να κινηθεί με επιλεγμένη κάποια σχέση μετάδοσης.

Περιβαλλοντικά, Οικονομικά και Κοινωνικά Οφέλη

Το Eco-Driving παρέχει την δυνατότητα για αξιοσημείωτη εξοικονόμηση καυσίμου και συνεπώς μείωση των εκπομπών CO₂ που προέρχονται από τις οδικές μεταφορές. Οι πολιτικές των κυβερνήσεων ανά την Ευρώπη μέχρι στιγμής δίνουν μικρή σημασία στην υλοποίηση και εφαρμογή σχετικών μέτρων για οικονομική οδήγηση, παρά το γεγονός ότι η Ε.Ε. και άλλοι διακεκριμένοι φορείς έχουν επανειλημμένα επισημάνει την αποτελεσματικότητά τους. Το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Κλιματική Αλλαγή (ECCP) του 2001, υπολογίζει πως το δυναμικό αποφυγής έκλυσης CO₂ με την εκπαίδευση των οδηγών στην οικονομική οδήγηση, ανέρχεται σε τουλάχιστον 50 εκατομμύρια τόνους CO₂ μέχρι το 2010 ή αλλιώς όσες είναι οι ετήσιες εκπομπές CO₂ από 15 εκατομμύρια οχήματα. Το Eco-Driving αποδεικνύεται ως μια πολλά υποσχόμενη προοπτική με χαμηλό κόστος που αναμένεται να συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων του Κιότο και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις οδικές μεταφορές.

Το Eco-Driving ελαττώνει:

- την κατανάλωση καυσίμου
- το κόστος συντήρησης και επισκευής του οχήματος
- το άγχος κατά την οδήγηση
- την ηχορύπανση
- τις εκπομπές καυσαερίων
- τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου
- τα τροχαία ατυχήματα

Το Eco-Driving βελτιώνει :

- την οδική ασφάλεια
- την άνεση

Η βελτιωμένη οδική ασφάλεια προέρχεται από:





- την οδήγηση που προβλέπει τις συνθήκες κυκλοφορίας
- την διατήρηση σταθερής ταχύτητας
- την μικρότερη ταχύτητα
- τα λιγότερα προσπεράσματα
- την μείωση του άγχους και της επιθετικότητας

2.4.3 Κανόνες και τεχνικές εφαρμογής του Eco-Driving

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια σύνοψη των κυριότερων κανόνων και τεχνικών για την σωστή εφαρμογή του Eco-Driving. Κάθε κανόνας ή συμβουλή συνοδεύεται και από μια επεξήγηση του λόγου για τον οποίο ο κάθε κανόνας ή συμβουλή συμβάλλει στην επίτευξη ενός ορθολογικού και αποδοτικού τρόπου οδήγησης.

Αυτοί οι κανόνες και τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εκπαιδευτικά προγράμματα, ως πληροφοριακό υλικό αλλά και σε κάθε άλλη δραστηριότητα που αφορά την διάδοση και την εφαρμογή των αρχών του Eco-Driving

1. Αλλάξτε σχέση μετάδοσης (ταχύτητα) προς τις μεγαλύτερες σχέσεις όσο το δυνατόν γρηγορότερα

Αλλάξτε σχέση μετάδοσης (ταχύτητα) προς τις μεγαλύτερες σχέσεις π.χ. από 2^η σε 3^η, από 3^η σε 4^η κλπ. μέχρι την μεγαλύτερη σχέση, όσο το δυνατό πιο γρήγορα. Για τα οχήματα που κινούνται με βενζίνη ή υγραέριο πάντα αλλάζετε ταχύτητα προς υψηλότερη σχέση κοντά στις 2.500 στροφές/λεπτό και για οχήματα diesel κοντά στις 2.000 στροφές/λεπτό. Εξίσου σημαντική είναι και η όσο δυνατό μεγαλύτερη καθυστέρηση αλλαγής ταχυτήτων προς τις μικρότερες σχέσεις μετάδοσης.

Σημαντικό μέρος από την ισχύ ενός κινητήρα, χάνεται λόγω απωλειών από εσωτερικές τριβές οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται και η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ή απλούστερα όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα. Οδηγώντας με χαμηλές στροφές στον κινητήρα οι απώλειες αυτές περιορίζονται και συνεπώς μειώνεται και η κατανάλωση καυσίμου. Η αποδοτικότητα ενός οχήματος αυξάνεται επίσης όταν οδηγούμε με υψηλό φορτίο στον κινητήρα (πατώντας περισσότερο γκάζι στις χαμηλές στροφές). Συνεπώς ο πιο αποδοτικός τρόπος οδήγησης κατά την επιτάχυνση του οχήματος είναι η όσο πιο γρήγορη δυνατή αλλαγή ταχυτήτων προς τις υψηλότερες σχέσεις, διατηρώντας χαμηλά τις στροφές του κινητήρα και σχετικά υψηλό φορτίο στον κινητήρα. Η οδήγηση με υψηλή σχέση μετάδοσης, αυτόματα απαιτεί υψηλό φορτίο στον κινητήρα για να μπορεί το όχημα να κινηθεί με κατάλληλο τρόπο.

Για να είναι δυνατή η μέγιστη αξιοποίηση της αποδοτικότητας του κινητήρα ενός οχήματος που κινείται με βενζίνη ή υγραέριο, συστήνεται η αλλαγή





ταχυτήτων προς κάποια μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης στις 2.500 στροφές/λεπτό. Το στροφόμετρο του οχήματος αποτελεί πολύτιμη βοήθεια για τον καθορισμό της στιγμής οικονομικής αλλαγής ταχυτήτων.

Εξαιτίας του γεγονότος του ότι οι κινητήρες diesel παρουσιάζουν την μέγιστη αποδοτικότητα τους σε χαμηλότερες στροφές του κινητήρα, για τα οχήματα diesel συστήνεται η αλλαγή ταχυτήτων προς κάποια μεγαλύτερη σχέση μετάδοσης στις 2.000 στροφές/λεπτό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω προτεινόμενοι αριθμοί στροφών για οικονομική αλλαγή των ταχυτήτων, αποτελούν περισσότερο κατά προσέγγιση εμπειρικούς κανόνες. Ο κατάλληλος αριθμός στροφών κυμαίνεται ανάλογα με κάθε κινητήρα και σύμφωνα με τις κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες. Πληροφορίες για τον κατάλληλο αριθμό στροφών, ώστε να επιτυγχάνεται οικονομική αλλαγή ταχυτήτων συνήθως αναγράφονται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή των περισσότερων οχημάτων. Επίσης σε μερικά νέα οχήματα και ιδιαίτερα σε φορτηγά και λεωφορεία, η οικονομική περιοχή λειτουργίας του κινητήρα επισημαίνεται με πράσινο χρώμα στο στροφόμετρο.

Ο παραπάνω συνιστώμενος τρόπος αλλαγής ταχυτήτων εφαρμόζεται κυρίως σε οχήματα με χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, όμως μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα βαθμό και σε οχήματα με αυτόματο σύστημα μετάδοσης (βλ. «αυτοκίνητα με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων»). Ακόμα αξίζει να σημειωθεί πως οι αλλαγές ταχυτήτων με αυτόν τον τρόπο σε καμία περίπτωση δεν είναι επιζήμια για έναν κατάλληλα συντηρημένο κινητήρα.

2. Οδηγείτε με σταθερή ταχύτητα

Διατηρήστε σταθερή την ταχύτητα του οχήματος, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα την μεγαλύτερη δυνατή σχέση μετάδοσης. Κατά την επιτάχυνση του αυτοκινήτου, η χημική ενέργεια που εμπεριέχεται στα καύσιμα χρησιμοποιείται για την κίνηση του οχήματος.

Σημαντικό μέρος της ενέργειας αυτής χάνεται υπό τη μορφή θερμότητας όταν φρενάρουμε το όχημα. Το φαινόμενο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό μετά από ένα δυνατό φρενάρισμα, όταν τα φρένα του οχήματος υπερθερμαίνονται εξαιτίας της μετατροπής της κινητικής ενέργειας του οχήματος σε θερμότητα. Συνεπώς, με τις συνεχόμενες επιταχύνσεις και τα συνεχόμενα φρεναρίσματα καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας και επομένως καύσιμο.

Αυτό μπορεί επίσης να αποδειχθεί και από το γεγονός του ότι ένα μεσαίο αυτοκίνητο χρειάζεται μόνο 5 KW ή 6,7 HP ισχύος για να κινηθεί με σταθερή ταχύτητα 50 km/h (για να κινηθεί με 120 km/h η αντίστοιχη απαιτούμενη ισχύς αυξάνεται σε 25 KW ή 33,5 HP). Το υπόλοιπο 90% ή και περισσότερο της ισχύος του κινητήρα απαιτείται μόνο για την επιτάχυνση του αυτοκινήτου ή για





ανάπτυξη πολύ μεγάλης ταχύτητας. Με το να οδηγούμε με σταθερή ταχύτητα για όσο τον δυνατόν περισσότερο χρόνο και να αποφεύγουμε τις άσκοπες επιταχύνσεις και φρεναρίσματα, περιορίζουμε σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Τα συστήματα διατήρησης σταθερής ταχύτητας ή πιο γνωστά ως συστήματα "cruise control", βοηθούν αποφασιστικά στην ήπια οδήγηση με σταθερή ταχύτητα.

Η οδήγηση με σταθερή ταχύτητα δεν αυξάνει μόνο την οικονομία στα καύσιμα, αλλά μειώνει και τις εκπομπές ρύπων ενώ επίσης βελτιώνει την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων, την ασφάλεια και την άνεση των επιβατών.

Όπως προαναφέρθηκε, η ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του οχήματος με σταθερή ταχύτητα είναι σχετικά μικρή. Γι' αυτό τον λόγο είναι δυνατή η επιλογή μιας υψηλής σχέσης μετάδοσης π.χ. 4^{ης} ή 5^{ης} με χαμηλές στροφές στον κινητήρα, χωρίς πρόβλημα. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται καύσιμο ενώ σε καμία περίπτωση δεν προκαλείται πρόβλημα στον κινητήρα όταν είναι κατάλληλα συντηρημένος.

Στους σύγχρονους βενζινοκινητήρες, η πίεση στο πεντάλ του γκαζιού δεν είναι άμεσα συνδεδεμένη με την παροχή καυσίμου. Το πεντάλ του γκαζιού ρυθμίζει μόνο την λειτουργία της βαλβίδας εισαγωγής αέρα («πεταλούδας») και συνεπώς μόνο την εισερχόμενη ποσότητα αέρα στον κινητήρα. Ανάλογα με την πίεση που ασκείται στο πεντάλ του γκαζιού και ορισμένες άλλες παραμέτρους όπως ο στιγμιαίος αριθμός στροφών του κινητήρα και η θερμοκρασία του αέρα, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα υπολογίζει την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται να ψεκαστεί στους θαλάμους καύσης του κινητήρα. Γενικά, μικρότερος αριθμός στροφών σημαίνει μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.

3. Πρόβλεψη των συνθηκών κυκλοφορίας

Όταν οδηγείτε, παρατηρείτε όσο πιο μακριά μπροστά μπορείτε ώστε να είστε σε θέση να προβλέπετε τις συνθήκες.

Για να μπορείτε να οδηγείτε με σταθερή ταχύτητα (βλ. 2^η Συμβουλή), είναι πολύ σημαντικό να παρατηρείτε από μακριά τις συνθήκες κυκλοφορίας μπροστά σας, έτσι ώστε να αποφεύγονται τα άσκοπα φρεναρίσματα και οι άσκοπες επιταχύνσεις. Για παράδειγμα όταν πλησιάζετε σε φωτεινούς σηματοδότες ή σήμα "STOP" ή προσπερνάτε πιο αργά οχήματα ή ακόμη όταν οδηγείτε σε πολυσύχναστους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας η παρατήρηση και η πρόβλεψη των κυκλοφοριακών συνθηκών μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στο πόσο σταθερά και ήπια οδηγείτε.





Πολλές συνθήκες και καταστάσεις στον δρόμο είναι εύκολο να παρατηρηθούν από μακριά, αρκετά πριν το όχημα φτάσει κοντά σε αυτές. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται τα περιττά φρεναρίσματα και οι επιταχύνσεις οι οποίες απαιτούν σημαντικά ποσά ενέργειας. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείτε σύστημα cruise control (βλ. 2^ο Κανόνα), πρέπει να προβλέπετε τις κυκλοφοριακές συνθήκες με ακόμη μεγαλύτερη προσοχή έτσι ώστε να εκμεταλλεύεστε πλήρως τα οφέλη που προκύπτουν.

4. Επιβραδύνετε ομαλά

Όταν χρειάζεται να μειώσετε ταχύτητα ή να σταματήσετε, επιβραδύνετε ομαλά το όχημα αφήνοντας εγκαίρως το γκάζι και ταυτόχρονα έχετε επιλεγμένη μια υψηλή σχέση μετάδοσης στο κιβώτιο.

Όλα τα αυτοκίνητα που κατασκευάζονται μετά το 1990 είτε κινούνται με βενζίνη είτε με πετρέλαιο diesel, είναι εφοδιασμένα με σύστημα ψεκασμού του καυσίμου σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρονικό σύστημα διακοπής της παροχής καυσίμου κατά την διαδικασία φρεναρίσματος με τον κινητήρα (δηλ. χωρίς γκάζι και με επιλεγμένη κάποια ταχύτητα). Τα πλεονεκτήματα της διακοπής της παροχής καυσίμου προκύπτουν αφήνοντας έγκαιρα το γκάζι, για παράδειγμα όταν το όχημα πλησιάζει σε φωτεινό σηματοδότη. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται επίσης η φθορά των φρένων και των ελαστικών και συνεπώς περιορίζονται τα έξοδα για την συντήρηση του οχήματος. Το φρενάρισμα με τον κινητήρα δεν έχει θετική επίδραση μόνο στην οικονομία καυσίμου, αλλά επίσης μειώνει και τις εκπομπές ρύπων, βελτιώνει την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων, την ασφάλεια και την άνεση των επιβατών.

Στα παλαιότερα αυτοκίνητα με καρμπυρατέρ (εξαερωτήρα) και τα παλαιότερα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα (κατασκευασμένα πριν το 1990) τα οφέλη στην εξοικονόμηση καυσίμου δεν διαφέρουν, είτε τα οχήματα επιβραδύνουν με επιλεγμένη κάποια ταχύτητα είτε όχι, λόγω του ότι το καρμπυρατέρ είναι μια μηχανική συσκευή χωρίς δυνατότητα ηλεκτρονικής διακοπής της παροχής καυσίμου. Τα οχήματα αυτά καταναλώνουν την ίδια ποσότητα καυσίμου όταν φρενάρουν με τον κινητήρα και όταν λειτουργούν στο ελάχιστο φορτίο του κινητήρα (στο ρελαντί). Όμως ακόμη και για αυτά τα οχήματα, με την έγκαιρη απενεργοποίηση του γκαζιού αποφεύγονται τα δυνατά φρεναρίσματα και επομένως αυξάνεται η διάρκεια ζωής των φρένων.





5. Πρόσθετες Συμβουλές και Τεχνάσματα

α) Οδήγηση σε ανηφορικό/κατηφορικό δρόμο

Σε περιοχές με ανηφόρες και κατηφόρες, η κατάλληλη επιτάχυνση και το κατάλληλο φρενάρισμα του οχήματος είναι πολύ σημαντικά για την εξοικονόμηση καυσίμου

Ανηφορικός Δρόμος: Ο στόχος είναι να κινείστε με την μέγιστη δυνατή σχέση μετάδοσης και ταυτόχρονα να χρησιμοποιείτε σχεδόν όλο το γκάζι. Συχνά υποστηρίζεται ότι η σχεδόν πλήρης χρήση του γκαζιού στις χαμηλές στροφές του κινητήρα είναι υπερβολική. Παρόλα αυτά όμως, οι κατασκευαστές σχεδιάζουν τα σύγχρονα αυτοκίνητά με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι δυνατή η συνεχής κίνηση στον δρόμο με 1.000 στροφές/λεπτό και με πλήρες φορτίο στον κινητήρα.

Κατηφορικός Δρόμος: Σε κατηφορικούς δρόμους επιδιώκεται η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της ταχύτητας που αποκτά το όχημα, χωρίς φυσικά ο οδηγός να χρησιμοποιεί το γκάζι έχοντας όμως επιλεγμένη την μέγιστη δυνατή σχέση μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτόν ο οδηγός χρησιμοποιεί την σημαντική κινητική ενέργεια που αποκτά το όχημα, ώστε αυτό να κινηθεί στην κατηφόρα. Η ενέργεια αυτή μπορεί να εκμεταλλευθεί και για περαιτέρω κίνηση του οχήματος για κάποιο χρόνο στον επίπεδο ή ανηφορικό δρόμο που ενδεχομένως ακολουθεί την κατηφόρα, χωρίς να απαιτείται νέα επιτάχυνση.

β) Σβήστε τον κινητήρα σε σύντομες στάσεις

Σβήστε τον κινητήρα όταν χρειάζεται να σταματήσετε το όχημα σας για σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου για 1 λεπτό ή περισσότερο) π.χ. όταν περιμένετε σε ένα φανάρι ή όταν είστε ακινητοποιημένοι λόγω κυκλοφοριακού ή όταν περιμένετε κάποιον κλπ. Στην περίπτωση αυτή, όταν επανεκκινείτε τον κινητήρα μην χρησιμοποιείτε το γκάζι.

Σύγχρονα αυτοκίνητα

Η κατανάλωση καυσίμου ενός σύγχρονου αυτοκινήτου στο ρελαντί (δηλ. χωρίς φορτίο στον κινητήρα) είναι κατά μέσο όρο περίπου 0,5 λίτρα καυσίμου ανά ώρα, η οποία όμως διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα. Επομένως το σβήσιμο του κινητήρα όταν αυτός δεν χρειάζεται να λειτουργεί, μπορεί να οδηγήσει σε αξιοσημείωτη εξοικονόμηση καυσίμου. Το σβήσιμο του κινητήρα πρέπει να εφαρμόζεται για σύντομες στάσεις ενός λεπτού και άνω και όχι για πολύ σύντομες στάσεις (π.χ. 20-30 δευτερολέπτων), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται κάποια οικονομία καυσίμου και να μην επηρεάζεται η άνεση και η ψυχική διάθεση του οδηγού. Για ακόμη μια φορά, έχετε πάντα υπόψη σας ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα δεν πρέπει ποτέ να αποτελεί μεγαλύτερη





προτεραιότητα από ότι η οδική ασφάλεια. "Έτσι, ο κινητήρας πρέπει να σβήνει σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει κίνδυνος για την οδική ασφάλεια. Για παράδειγμα, όταν είστε το πρώτο όχημα σε ένα κόκκινο φανάρι ή όταν περιμένετε σε μια διασταύρωση, δεν συνίσταται να σβήνετε τον κινητήρα καθώς είναι πιθανό να χρειαστεί να κινήσετε άμεσα το όχημα σας για να αποφύγετε ένα άλλο όχημα ή για άλλο λόγο.

Παλαιότερα αυτοκίνητα

Τα παλαιότερα αυτοκίνητα με καρμπυρατέρ μερικές φορές καταναλώνουν μια επιπρόσθετη ποσότητα καυσίμου όταν εκκινεί ο κινητήρας. Για αυτό τον λόγο στα αυτοκίνητα αυτά, από άποψη ενεργειακής απόδοσης, το σβήσιμο του κινητήρα έχει μικρότερα οφέλη, πάντως αποτελεί επίσης πολύ αποτελεσματική τεχνική για σύντομες στάσεις 2-3 λεπτών.

γ) Εκκίνηση του κινητήρα

Όταν εκκινείτε τον κινητήρα σε σύγχρονα οχήματα (κατασκευής μετά από το 1990 περίπου) δεν πρέπει να χρησιμοποιείτε το γκάζι. Η σωστή εκκίνηση του κινητήρα πραγματοποιείται από την κεντρική ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, η οποία ρυθμίζει την κατάλληλη παροχή καυσίμου λαμβάνοντας υπόψη πολλές παραμέτρους. Η χρήση του πεντάλ του γκαζιού κατά την εκκίνηση, το μόνο που κάνει είναι να «μπερδεύει» το σύστημα, να προκαλεί πιο απότομη εκκίνηση και συνεπώς να αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου και τα καυσαέρια.

Αντίθετα, στα παλαιότερα αυτοκίνητα με καρμπυρατέρ μερικές φορές είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσετε λίγο γκάζι για την εκκίνηση του κινητήρα.

δ) Οδήγηση σε στροφές και καμπύλες του δρόμου

Η σωστή μέθοδος για την οδήγηση σε στροφές και καμπύλες, αποτελείται από ένα σύνολο παραμέτρων συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας προσέγγισης στην στροφή, των καιρικών συνθηκών, της φύσης της στροφής/καμπύλης και της κατάστασης του οδοστρώματος. Η ταχύτητα εισόδου στην στροφή πρέπει να ελαττώνεται με κατάλληλη χρήση του φρένου παρά μέσω της αλλαγής ταχύτητας σε μια μικρότερη ταχύτητα.

Ακολουθώντας τον παραπάνω 3^ο κανόνα του Εα)^{^^} για την πρόβλεψη των συνθηκών κυκλοφορίας, το όχημα μπορεί να προσεγγίσει την στροφή με την κατάλληλη ταχύτητα, έτσι ώστε ενδεχομένως να μην χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν τα φρένα. Επομένως, η υψηλότερη δυνατή σχέση μετάδοσης πρέπει και πάλι να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση σε στροφές και καμπύλες των δρόμων. Η χρήση πλήρους επιτάχυνσης πριν τη στροφή, σε συνδυασμό με την απότομη πίεση στα φρένα κατά την οδήγηση σε μία





στροφή και έπειτα πάλι η επιτάχυνση με υψηλό αριθμό στροφών στην έξοδο της στροφής, είναι όχι μόνο επιζήμια από την άποψη της κατανάλωσης καυσίμων αλλά και επικίνδυνη για την ασφάλεια του οδηγού. Οι ελιγμοί ενός οχήματος στον δρόμο με παράλληλη έντονη χρήση των φρένων, προκαλεί σημαντική μεταφορά φορτίου στους άξονες του οχήματος η οποία μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία τους και συνεπώς ατυχήματα.

ε) Βάρος οχήματος

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την μέση κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος είναι το βάρος του. Ένα αυτοκίνητο μεσαίας κατηγορίας βάρους 1.500kg με ένα επιπλέον φορτίο 100kg, καταναλώνει περίπου 6,7% περισσότερη ποσότητα καυσίμου. Ως εκ τούτου, τα επιβατικά αυτοκίνητα για να αποφεύγεται η επιπλέον κατανάλωση καυσίμου πρέπει να κινούνται με το ελάχιστο δυνατό πρόσθετο βάρος. Τα συνηθέστερα πρόσθετα βάρη που καθημερινά συναντώνται στα αυτοκίνητα, περιλαμβάνουν περιττά ή ξεχασμένα βαριά αντικείμενα στο πόρτ μπαγκάζ ή στα πίσω καθίσματα όπως κουτιά με διάφορα αντικείμενα, αλυσίδες χιονιού, εφεδρικά δοχεία καυσίμου, παλιά ανταλλακτικά του οχήματος κλπ. που πρέπει να απομακρύνονται από το όχημα όταν δεν είναι απαραίτητα.

στ) Αεροδυναμική αντίσταση

Ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμων είναι η αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος. Όλα τα οχήματα κατά τον σχεδιασμό τους δοκιμάζονται σε αεροδυναμικές σήραγγές προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την αεροδυναμική συμπεριφορά τους. Κάθε πρόσθετο μέρος ή εξάρτημα που τοποθετείται στο βασικό όχημα όπως αεροτομές, σχάρες ή μπαγκαζιέρες οροφής, πρόσθετες μεγάλες κεραίες κλπ. προκαλούν μεγάλη αύξηση στην αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος και συνεπώς μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου. Ακόμη και τα ανοιχτά παράθυρα σε ένα αυτοκίνητο δημιουργούν πρόσθετα ρεύματα αέρα που αυξάνουν την αεροδυναμική αντίσταση. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την απαίτηση για παροχή μεγαλύτερης ισχύος από τον κινητήρα έτσι ώστε το όχημα να κινηθεί με την επιθυμητή ταχύτητα και συνεπώς πρόσθετη κατανάλωση καυσίμου.

Μια σχάρα ή μπαγκαζιέρα οροφής αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αεροδυναμική αντίσταση τόσο που για ταχύτητα του οχήματος 120 km/h η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά τουλάχιστον 20% (δηλ. περίπου 200€ το χρόνο) και μπορεί ακόμα και να αυξηθεί ακόμη περισσότερο ανάλογα με το μέγεθος της σχάρας ή μπαγκαζιέρας. Συνεπώς, τέτοια πρόσθετα εξαρτήματα





πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητο και να αφαιρούνται αμέσως μετά.

ζ) Πίεση ελαστικών

Ελέγχετε την πίεση των ελαστικών τουλάχιστον μια φορά τον μήνα. Τα σύγχρονα ελαστικά αυτοκινήτων σχεδιάζονται ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά με βάση μια συγκεκριμένη προκαθορισμένη πίεση. Ο σχεδιασμός τους αυτός είναι ακριβής ώστε κατά πρώτο λόγο να συμβάλλουν στην οδική ασφάλεια με το απαιτούμενο «κράτημα» του οχήματος στο δρόμο και κατά δεύτερο λόγο στην βέλτιστη ενεργειακή απόδοση του οχήματος. Κάθε απόκλιση από την ιδανική πίεση των ελαστικών του αυτοκινήτου έχει άμεσα αρνητικά αποτελέσματα στην κατανάλωση καυσίμου, στην πρόσφυση του οχήματος, την απόσταση φρεναρίσματος και την φθορά των ελαστικών. Επομένως η ρύθμιση της σωστής πίεσης των ελαστικών είναι βασικός κανόνας για την επιτυχή εφαρμογή της οικονομικής οδήγησης και πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται τουλάχιστον μια φορά τον μήνα.

Ένα σημαντικό ποσοστό της ενέργειας που χρειάζεται για την κίνηση του οχήματος καταναλώνεται για να υπερνικηθεί η αντίσταση κύλισης (τριβή) των ελαστικών με το οδόστρωμα. 25% μικρότερη πίεση ελαστικών σημαίνει περίπου 10% μεγαλύτερη αντίσταση κύλισης και 2% περισσότερο καύσιμο. Για να εξασφαλιστεί η σωστή πίεση ελαστικών θα πρέπει η πίεση αυτή να ελέγχεται τουλάχιστον μια φορά τον μήνα. Κατά κανόνα ο έλεγχος της πίεσης των ελαστικών πρέπει να γίνεται με σχετικά «κρύα» λάστιχα. Αυτό σημαίνει πως για να ελέγξετε σωστά την πίεση των ελαστικών θα πρέπει να έχετε διανύσει λιγότερα από περίπου 3 χιλιόμετρα ή αλλιώς θα πρέπει να περιμένετε για περίπου 10 λεπτά ώστε να πέσει η θερμοκρασία των ελαστικών. Οι κατασκευαστές πάντα συνιστούν δυο διαφορετικές τιμές πίεσης των ελαστικών: μια τιμή πίεσης ελαστικών για οδήγηση χωρίς φορτίο βάρους και/ή συνήθη ταχύτητα και μια τιμή πίεσης για οδήγηση με μέγιστο φορτίο βάρους και/ή μεγάλη ταχύτητα. Οι ενδείξεις για την σωστή πίεση ελαστικών βρίσκονται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή αλλά συχνά αναγράφονται και στο πλαίσιο της πόρτας του οδηγού ή το πορτάκι του ντεπόζιτου καυσίμου. Μερικά από τα επιβατικά αυτοκίνητα που πωλούνται σήμερα είναι εξοπλισμένα με ένα ηλεκτρονικό σύστημα συνεχούς ελέγχου της πίεσης των ελαστικών. Παρόμοια συστήματα μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν και σε άλλα αυτοκίνητα.

η) Ενεργοβόρος εξοπλισμός & συσκευές

Τα συστήματα κλιματισμού, η θέρμανση του πίσω παρμπρίζ ή τα μεγάλα ηχοσυστήματα αυτοκινήτου κλπ. μπορούν να αυξήσουν την κατανάλωση καυσίμων ενός οχήματος σημαντικά.





Γι' αυτό το λόγο συστήνεται ο κλιματισμός να χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι απαραίτητο και να μην ρυθμίζεται κάτω από τους 23 βαθμούς Κελσίου ώστε να περιορίζεται η κατανάλωση καυσίμου. Η ρύθμιση αυτή είναι αναγκαία και από πλευράς υγείας του οδηγού και των επιβατών, δεδομένου του ότι η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά κατά την εναλλαγή των επιβατών μεταξύ του περιβάλλοντος μέσα και έξω από το όχημα, μπορεί να προκαλέσει κάποιο κρουστικό.

Όταν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ο κλιματισμός για να ψύξει το εσωτερικό ενός αυτοκινήτου με θερμοκρασία πάνω από 25°C και ειδικά όταν υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση, έχει υπολογιστεί ότι η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 20%. Εντούτοις, για διαδρομές εκτός πόλης με ταχύτητα πάνω από 80 km/h, η χρήση του κλιματισμού οδηγεί σε μικρότερη επιπλέον κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την επιπλέον ποσότητα καυσίμου που απαιτείται εάν ανοίξουμε ένα παράθυρο (λόγω της αύξησης της αεροδυναμικής αντίστασης). Σε γενικές γραμμές με την χρήση του κλιματιστικού η κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται 10% κατά μέσο όρο.

Αντίστοιχα, για να επιτυγχάνεται οικονομία καυσίμου απαιτείται ορθολογική χρήση και του υπόλοιπου ενεργοβόρου εξοπλισμού (π.χ. ηχοσυστήματα, πρόσθετοι προβολείς κλπ.) αφού και αυτός τροφοδοτείται με ενέργεια που προέρχεται από τον κινητήρα μέσω της γεννήτριας που φορτίζει την μπαταρία του αυτοκινήτου.

θ) Χρήση βοηθητικού εξοπλισμού εξοικονόμησης ενέργειας

Χρησιμοποιείτε τον διαθέσιμο εξοπλισμό το οχήματος που βοηθά τον οδηγό να εξοικονομεί καύσιμο. Ο εξοπλισμός αυτός περιλαμβάνει το στρόφομετρο, τα συστήματα cruise control και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές ταξιδιού. Πολλά από τα νέα αυτοκίνητα είναι εφοδιασμένα με τέτοιο εξοπλισμό που θα σας βοηθήσει να οδηγείτε πιο αποδοτικά, ασφαλέστερα και με μεγαλύτερη άνεση.

Στρόφομετρο

Το στρόφομετρο βοηθά τον οδηγό να διατηρεί τις στροφές του κινητήρα στην αποδοτικότερη περιοχή λειτουργίας του με αποτέλεσμα να βελτιώνει την οικονομία καυσίμου.

Σύστημα Cruise control

Τα συστήματα cruise control διευκολύνουν τον οδηγό να διατηρεί σταθερή ταχύτητα και με συνετή χρήση του να αποφεύγει τα πρόστιμα για υπερβολική ταχύτητα. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται καύσιμο, μειώνονται οι εκπομπές





καυσαερίων και είναι η δυνατή η οδήγηση με έναν ήπιο και ξεκούραστο τρόπο.

Υπολογιστής ταξιδιού

Σήμερα τα περισσότερα αυτοκίνητα διαθέτουν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ταξιδιού που εκτελεί διάφορες λειτουργίες, μεταξύ των οποίων η ένδειξη της μέσης και της στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου. Με την ένδειξη της στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου, ο οδηγός έχει την δυνατότητα άμεσης πληροφόρησης και αντίληψης του τρόπου οδήγησης του μέσω της πραγματικής στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό είναι ιδιαίτερος σημαντικό, γιατί με την χρήση του υπολογιστή ταξιδιού ο κάθε οδηγός μπορεί να δοκιμάσει να εφαρμόσει στην πράξη όλες τους κανόνες και τις τεχνικές του Eco-Driving που αναφέρονται παραπάνω, στην συνέχεια να τους αξιολογήσει και τελικά να τους υιοθετήσει στον καθημερινό τρόπο οδήγησής του.

Οικονομετρητές και ένδειξη σωστής αλλαγής ταχυτήτων

Ένας οικονομητρητής είναι μια συσκευή μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου που λειτουργεί με βάση την αναρρόφηση αέρα στον κινητήρα: σε αυτοκίνητα με καρμπυρατέρ η ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα ή πιο σωστά η πίεση αναρρόφησης αέρα στον κινητήρα αποτελεί δείκτη για την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται. Παράλληλα παρέχεται στον οδηγό μια ένδειξη για τον κατάλληλο χρόνο οικονομικής αλλαγής ταχυτήτων και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία στα καύσιμα.

Οικονομετρητές και συσκευές ένδειξης σωστής αλλαγής ταχυτήτων υπήρχαν σε παλαιότερα αυτοκίνητα της δεκαετίας του 70 και των αρχών του 80. Τα τελευταία χρόνια όμως επανεμφανίστηκαν σε καινούργια αυτοκίνητα, αλλά πλέον είναι πιο εξελιγμένα και διαφοροποιημένα ώστε να λειτουργούν με βάση τα δεδομένα που παρέχει η κεντρική ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα.

Περιοριστές ταχύτητας και/ή περιοριστές στροφών

Με τους περιοριστές ταχύτητας και/ή περιοριστές στροφών ή πιο γνωστούς ως «κόφτες», αποφεύγονται η ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας και υπερβολικών στροφών στον κινητήρα. Οι παράμετροι και οι ανώτατες τιμές ταχύτητας ή στροφών καθορίζονται βάση νομοθεσίας ή από τους ιδιοκτήτες στόλων οχημάτων και τους κατασκευαστές. Με βάση αυτά τα όρια ταχύτητας και στροφών, οι συσκευές αυτές προγραμματίζονται κατάλληλα και έτσι οι οδηγοί δεν έχουν την δυνατότητα να τα ξεπεράσουν. Η χρήση περιοριστών είναι αρκετά συνηθισμένη σε μεγάλα φορτηγά και οχήματα διανομής, δεδομένου ότι οι ιδιοκτήτες-διαχειριστές των στόλων οχημάτων τους





επιλέγουν για να ελαττώσουν το κόστος για καύσιμα, τα ατυχήματα, τα πρόστιμα για υπερβολική ταχύτητα αλλά και για να βελτιώσουν την εικόνα της επιχείρησής τους.

Τα αποτελέσματα μετά από δοκιμές ευρείας κλίμακας έχουν δείξει ότι με τη χρήση όλου του παραπάνω βοηθητικού εξοπλισμού σε ένα όχημα, εξοικονομεί περίπου 5% καύσιμο. "Όμως με την παράλληλη σωστή εκπαίδευση ενός οδηγού στην οικονομική οδήγηση, τα οφέλη είναι σημαντικά μεγαλύτερα.

2.4.4 Γεγονότα και στοιχεία: Πετυχημένα παραδείγματα

Σε αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνονται κάποια πετυχημένα παραδείγματα εφαρμογής της οικονομικής οδήγησης από διάφορες χώρες της Ευρώπης. Τα παραδείγματα αυτά δίνουν στοιχεία για 'αποδεδειγμένα' αποτελέσματα της οικονομικής οδήγησης.

Εταιρίες μεταφορών, Ολλανδία

Μια εταιρεία συμβούλων στην Ολλανδία πραγματοποίησε μια δευτερογενή ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από Ολλανδικές μεταφορικές εταιρείες κατά την περίοδο 1995-2003. Η εισαγωγή και η εφαρμογή του οικονομικού τρόπου οδήγησης στις εταιρείες μεταφορών (εκπαίδευση οδηγών, καταγραφή κατανάλωσης καυσίμου, μηχανισμοί παρακολούθησης) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κατά € 1 ανά 100 χιλιόμετρα.

Για ένα όχημα που εκτελεί μεταφορές μέσα στην Ολλανδία (80,000 km ετησίως/όχημα) αυτό σημαίνει μέση εξοικονόμηση περίπου € 800 ανά έτος και ανά όχημα. Για ένα όχημα διεθνών μεταφορών, η εξοικονόμηση φτάνει τα € 1,400 ανά έτος και ανά όχημα.

Τμήμα αυτοκινήτων του Ολλανδικού Οργανισμού Καταναλωτών

Το 2002 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη στηριγμένη στο τμήμα των αυτοκινήτων του Ολλανδικού Οργανισμού Καταναλωτών. Αυτό το τμήμα αποτελείται από περίπου 6.000 οδηγούς ΙΧ αυτοκινήτων. Για τους σκοπούς της μελέτης, τα μέλη του τμήματος χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, αυτούς που ακολουθούν τις σημαντικότερες συμβουλές οικονομικής οδήγησης και αυτούς που δεν τις ακολουθούν. Έγινε σύγκριση ανάμεσα σε αυτές τις ομάδες, όσον αφορά την μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ομάδα των οδηγών που οδηγούσε οικονομικά για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο του ενός χρόνου, κατανάλωσε 7% λιγότερο καύσιμο από την άλλη.





Βασιλική Λέσχη Αυτοκινήτου Καταλωνίας, RACC Ισπανία

Η RACC (Real Catalonia Automobile Club) είναι μια από τις πιο σημαντικές αυτοκινητιστικές λέσχες στην Ισπανία, με πάνω από ένα εκατομμύριο μέλη. Επίσης είναι ο μεγαλύτερος ασφαλιστικός πράκτορας. Τον Οκτώβριο του 2003 η RACC πραγματοποίησε μια πιλοτική δράση πάνω στις τεχνικές της οικονομικής οδήγησης με τη συμμετοχή ιδιωτών ώστε να ελέγξει το ενδιαφέρον του κοινού για αυτές τις τεχνικές. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ θετικά και επιτεύχθηκε μια μέση εξοικονόμηση καυσίμου 13,4%.

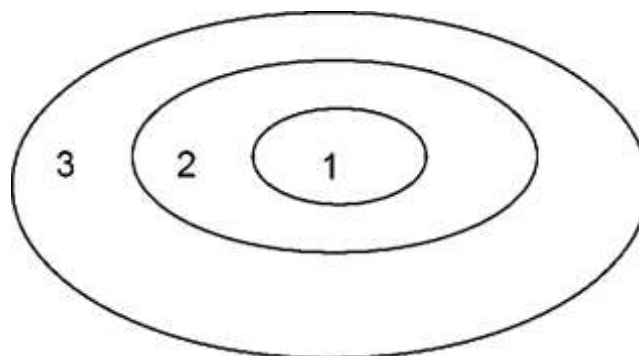
Hamburger Wasserwerke, Γερμανία

Στο τέλος του 2003, 91 οδηγοί φορτηγών διανομών της εταιρείας Hamburger Wasserwerke (HW) εκπαιδεύτηκαν στην οικονομική οδήγηση. Μετά την εκπαίδευση καταγράφηκε η κατανάλωση καυσίμου και ο αριθμός των ατυχημάτων για περίοδο μισού έτους. Αποδείχθηκε ότι η συνολική κατανάλωση του στόλου μειώθηκε κατά 5.8% και εξοικονομήθηκαν για τη HW περίπου 10.000 λίτρα καυσίμου ανά έτος. Επίσης, ο αριθμός των ατυχημάτων μειώθηκε κατά 40%.

2.4.5 Πως εφαρμόζεται η Οικονομική Οδήγηση

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους ένας οργανισμός μπορεί να υλοποιήσει δράσεις σχετικές με την οικονομική οδήγηση. Υπάρχουν επίσης διαφορετικές ομάδες-στόχοι για τις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν αυτές οι δράσεις:

1. Το ίδιο του το προσωπικό
2. Άλλοι οργανισμοί ή δήμοι με τους οποίους ο οργανισμός έχει άμεση επαφή (Τοπικές ή περιφερειακές επιχειρήσεις, σχετικοί συνεργαζόμενοι φορείς) - συνήθως ενδιάμεσοι οργανισμοί
3. Πολίτες και τελικοί καταναλωτές





Οι δράσεις μπορεί να είναι μικρής, μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας. Ένας οργανισμός ή δημοτική αρχή μπορεί να ξεκινήσει πληροφορώντας απλώς το προσωπικό του σχετικά με τα οφέλη και να παρέχει απλές συμβουλές σχετικά με την οικονομική οδήγηση. Επίσης μπορούν να εκπαιδεύσουν όλο το προσωπικό τους. Ένας δήμος μπορεί να εμπλέξει τοπικές επιχειρήσεις σε δράσεις οικονομικής οδήγησης και μια εταιρεία μπορεί να αναζητήσει συνεργασία με άλλες εταιρείες στην ίδια περιοχή ή τομέα δραστηριότητας. Οι δράσεις με την μεγαλύτερη απήχηση είναι αυτές που εμπλέκουν τον τοπικό πληθυσμό και μπορεί να φτάσουν μέχρι το σύνολο των οδηγών σε εθνικό επίπεδο με την εισαγωγή μαθημάτων οικονομικής οδήγησης στην διαδικασία εκπαίδευσής τους.

Δράσεις Οικονομικής Οδήγησης

Παρακάτω παρουσιάζονται ομάδες δράσεων και συνοδεύονται με παραδείγματα από διάφορες χώρες. Οι διάφοροι τύποι δράσεων μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες ομάδες:

1. Ευαισθητοποίηση του κοινού
2. Διάδοση των πληροφοριών
3. Εκπαιδευτικά προγράμματα.

Το βέλτιστο σενάριο περιλαμβάνει έναν συνδυασμό αυτών των δράσεων.

Ευαισθητοποίηση του κοινού

Αυτές οι δράσεις μπορεί να ποικίλουν από την πρόκληση του ενδιαφέροντος του κοινού μέσα από την πληροφόρηση ή από εφαρμογές ειδικευμένου λογισμικού (εικονικοί προσομοιωτές) μέχρι την χρήση συσκευών μέτρησης κατανάλωσης εντός των αυτοκινήτων. Πιθανές δράσεις:

- Γενική παρουσίαση γεγονότων και αποτελεσμάτων (π.χ. χρησιμοποιώντας αυτόν τον οδηγό).
- Διανομή οδηγών σε ομάδες ατόμων που προσεγγίζονται εύκολα, όπως κυβερνητικοί αξιωματούχοι και δημόσιοι υπάλληλοι οι οποίοι περνούν μεγάλο μέρος του χρόνου τους στον δρόμο.
- Παρουσίαση των κερδών από την οικονομική οδήγηση σε διάφορες συναντήσεις.
- Χρήση του εικονικού προσομοιωτή (βλ. παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο για παραπάνω πληροφορίες σχετικά με αυτή τη συσκευή) κατά τη διάρκεια συναντήσεων και σε ημέρες που κάποιος φορέας ή οργανισμός είναι ανοικτός στο κοινό.
- Καταγραφή των καταναλώσεων καυσίμου μιας ομάδας ανθρώπων για ορισμένη περίοδο, εκπαίδευση αυτής της ομάδας και μέτρηση των αποτελεσμάτων. Γνωστοποίηση των αποτελεσμάτων στην ομάδα.





- Οργάνωση διαγωνισμού σε περιοδικό, όπου το έπαθλο θα είναι δωρεάν εκπαιδευτικά προγράμματα οδήγησης.
- Εγκατάσταση υπολογιστών ταξιδιού σε εταιρικά αυτοκίνητα, τα οποία μεταξύ άλλων θα δίνουν ενδείξεις στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου.

Κάποια παραδείγματα δράσεων της κατηγορίας ευαισθητοποίησης του κοινού:

- Χρήση του προσομοιωτή οικονομικής οδήγησης κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης Ενεργειακό Θέατρο στο Den Bosch, της Ολλανδίας το Μάρτιο του 2005, με σύνολο 400 επισκεπτών. Αυτή η εκδήλωση παρείχε πληροφορίες σχετικά με διάφορες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας.
- Μια τοπική Ολλανδική εφημερίδα προσέφερε δωρεάν εκπαιδευτικά προγράμματα σε νικητές διαγωνισμού. Οι νικητές έπρεπε να καταγράψουν την κατανάλωση καυσίμου για κάποιο διάστημα πριν και μετά την εκπαίδευση. Στην εφημερίδα υπήρχαν διάφορα άρθρα σχετικά με τη δράση και τα πραγματικά αποτελέσματα της σχετικής εκπαίδευσης (το τελευταίο άρθρο είχε τίτλο 'η ορθότητα της οικονομικής οδήγησης').
- Διαγωνισμός οικονομικής οδήγησης για οδηγούς από όλη την Αυστρία (ειδικός διαγωνισμός για νέους οδηγούς). Ο νικητής πήρε € 4,000 με € 5,000 μετρητά και πέτυχε κατανάλωση καυσίμου 3,76 l/100 km μόνο (σε αυτοκίνητο με έως τότε μετρημένη κατανάλωση 6 l/100 km).
- Ένα δώρο που προσέφερε μια μεγάλη τράπεζα της Ισπανίας (La Caixa) και περιελάμβανε δωρεάν μαθήματα οικονομικής οδήγησης σε πελάτες που ανοίγουν έναν συγκεκριμένο λογαριασμό.

Ενημέρωση και διάδοση πληροφοριών

Αυτές οι δράσεις μπορούν να συμπεριλαμβάνουν την πληροφόρηση μέσα από φυλλάδια, ιστοσελίδες, συνεντεύξεις, δωρεάν δημοσιεύσεις, εκπομπές σε TV και ράδιο καθώς και με τη χρήση ενδιάμεσων συνεργατών που μπορούν να μεταδώσουν αυτά τα μηνύματα.

Πιθανές δράσεις:

- Υποβολή άρθρων σε περιοδικά και εφημερίδες.
- Σύνταξη και διανομή φυλλαδίων με θέμα την οικονομική οδήγηση. Οι δήμοι ή άλλοι φορείς για παράδειγμα μπορούν να μοιράζουν τα φυλλάδια αυτά όταν οι πολίτες έρχονται για ανανέωση των αδειών οδήγησης (όπου αυτό ισχύει), μπορεί να διανέμονται σε συνεργεία αυτοκινήτων κλπ.
- Δημιουργία αφισών και διανομή τους σε συναντήσεις και εκθέσεις.





- Συνδυασμός των πληροφοριών για την οικονομική οδήγηση με πληροφορίες, π.χ. σχετικά με τη χρήση δημόσιας συγκοινωνίας και ομαδικής χρήσης ΙΧ.
- Εξασφάλιση της διαθεσιμότητας συμβουλών, δεδομένων και αποτελεσμάτων της οικονομικής οδήγησης για πρόσωπα ή οργανισμούς που ενδιαφέρονται, π.χ. εισάγοντας τις πληροφορίες σε μία ιστοσελίδα. Έτσι υπάρχει άμεση πρόσβαση στις σχετικές πληροφορίες.
- Παροχή ενημέρωσης για την οικονομική οδήγηση σε σχολές οδηγών.
- Χρήση των διαθέσιμων υποδομών για τη διάδοση των συμβουλών, π.χ. σε κυβερνητικές ιστοσελίδες ή γραφεία πληροφόρησης του κοινού.
- Δημιουργία κατάλογου με τους διαθέσιμους εκπαιδευτές οικονομικής οδήγησης και δημοσιοποίησή του μέσα από ιστοσελίδες.
- Εμπλοκή γνωστών προσώπων (που θεωρούνται αξιόπιστα από το κοινό) σε εκπαιδευτικές δράσεις παρουσία του τύπου.

Κάποια παραδείγματα επικοινωνιακών δράσεων:

- Ισπανικό φυλλάδιο με τίτλο 'Conduccion eficiente' που περιέχει συμβουλές και τεχνικές πληροφορίες για ένα ενεργειακά αποδοτικό τρόπο οδήγησης.
- Ολλανδικό φυλλάδιο με τίτλο 'Meer plezier achter het stuur' που περιέχει συμβουλές για οικονομικό τρόπο οδήγησης και τα κέρδη που προκύπτουν από αυτόν. Ευκολοδιάβαστο φυλλάδιο για το ευρύ κοινό. Χρησιμοποιήθηκε επίσης στην εκστρατεία για την οικονομική οδήγηση από τα Ολλανδικά Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης και σε μια ιστοσελίδα (www.hetnieuwerijden.nl).
- Βρετανικό Φυλλάδιο με τίτλο 'Fuel Saving Tips' που διανεμήθηκε από το Βρετανικό Υπουργείο Συγκοινωνιών.
- Αυστριακή εκστρατεία 'Sprittspar-Initiative' από το 2004, μια εκστρατεία δημοσιότητας που περιλαμβάνει ραδιοφωνικά μηνύματα, έντυπες καταχωρήσεις, τηλεοπτικές μεταδόσεις, φυλλάδια, αφίσες, ιστοσελίδα, κλπ. (www.spritspar.at).
- www.milieucentraal.nl. Ολλανδική ιστοσελίδα με συμβουλές για την βελτίωση του περιβάλλοντος, που περιλαμβάνει και
- συμβουλές για τις μεταφορές.
- Διανομή μεγάλου αριθμού φυλλαδίου στην Ισπανία από την IüAE και την ασφαλιστική εταιρεία Mapfre.
- Άρθρο στο περιοδικό της ANWB (Ολλανδική Λέσχη Τουρισμού) που παρουσιάζει τα αποτελέσματα ενός αγώνα μεταξύ ενός οδηγού που οδηγεί με τις αρχές της οικονομικής οδήγησης και ενός 'συμβατικού' οδηγού.





Εκπαιδευτικά προγράμματα

Τα εκπαιδευτικά προγράμματα μπορεί να περιλαμβάνουν πραγματική εκπαίδευση στο δρόμο με τη στενή επίβλεψη ενός εκπαιδευτή μέχρι την ατομική χρήση παιχνιδιών σε υπολογιστή.

Εκπαιδευτικά προγράμματα στο δρόμο:

Ο πιο αποδοτικός τρόπος εκμάθησης της οικονομικής οδήγησης είναι παρακολουθώντας ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα σε κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας. Η διάρκεια ενός τέτοιου προγράμματος μπορεί να είναι από κάποιες ώρες έως μια ή περισσότερες μέρες. Ένα τυπικό εκπαιδευτικό πρόγραμμα περιλαμβάνει την εκτέλεση μιας δοκιμαστικής διαδρομής πριν από μια θεωρητική εκπαιδευτική ενότητα κατά την οποία διδάσκονται οι αρχές της οικονομικής οδήγησης. Μετά από τη θεωρητική ενότητα πραγματοποιείται δεύτερη διαδρομή στην οποία ο οδηγός καλείται να εφαρμόσει τις αρχές της οικονομικής οδήγησης. Μετά και από αυτή τη δοκιμασία, τα αποτελέσματα αναλύονται και συγκρίνονται.

Χαρακτηριστικά:

- Σχετικά ακριβά
- Λίγοι άνθρωποι επιθυμούν να κάνουν τις σχετικές επενδύσεις
- Απευθύνεται σε λίγους ανθρώπους λόγω της περιορισμένης δυνατότητας εκπαίδευσης πολλών οδηγών ταυτόχρονα
- Άριστο αποτέλεσμα εκπαίδευσης.

Σε αρκετές χώρες υπάρχουν επίσης εκπαιδευτικά προγράμματα οικονομικής οδήγησης για την επιμόρφωση και διαπίστευση ειδικών εκπαιδευτών οικονομικής οδήγησης. Αυτοί οι διαπιστευμένοι οδηγοί δικαιούνται αποκλειστικά να μετεκπαιδεύουν άλλους οδηγούς.

Εκπαιδευτικά προγράμματα σε προσομοιωτή:

Οι εκπαιδευτικοί προσομοιωτές προσφέρουν διάφορες επιλογές και προγράμματα για την εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση. Κάποιοι προσομοιωτές είναι φορητοί ενώ άλλοι όχι. Το πλεονέκτημα των φορητών προσομοιωτών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διάρκεια διαφόρων εκδηλώσεων όπου οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή με τις αρχές της οικονομικής οδήγησης. Με αυτόν τον τρόπο σε κάποιους από αυτούς τους ανθρώπους μπορεί να τους δημιουργηθεί η επιθυμία να παρακολουθήσουν εκπαιδευτικά προγράμματα στο δρόμο. Ακόμη οι διαχειριστές μεγάλων στόλων οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν προσομοιωτές για την εκπαίδευση των οδηγών τους με λογικό κόστος. Το μεγάλο πλεονέκτημα των προσομοιωτών είναι ότι οι οδηγοί αντιμετωπίζουν σταθερές τυποποιημένες





καταστάσεις και συνθήκες οδήγησης, γεγονός που επιτρέπει εύκολη σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου και της οδικής συμπεριφοράς.

Χαρακτηριστικά:

- Λιγότερο ακριβά
- Απευθύνεται σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων
- Άτομα που δεν ενδιαφέρονται αρχικά μπορεί να ενδιαφερθούν στη συνέχεια
- Μέτριο αποτέλεσμα της εκπαίδευσης

Εικονικά εκπαιδευτικά προγράμματα σε υπολογιστή:

Οι εφαρμογές σε υπολογιστή, είτε on-line ή εγκατεστημένες σε προσωπικό υπολογιστή χρησιμεύουν για τη δημιουργία της πρώτης εντύπωσης και ιδιαίτερος κατάλληλος για ομάδες νεαρής ηλικίας. Με αυτόν τον τρόπο οι νέοι μπορούν να μαθαίνουν για την οικονομική οδήγηση πολύ πριν να φτάσουν σε ηλικία έκδοσης διπλώματος οδήγησης. Τα παιχνίδια μπορούν να χρησιμεύσουν επίσης σαν εργαλεία διαμόρφωσης εικόνας για την οδήγηση και σαν τρόποι διασκέδασης. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των προγραμμάτων είναι ότι μπορούν να απευθυνθούν σε μεγάλο αριθμό νέων και έμπειρων οδηγών.

Χαρακτηριστικά:

- Ακόμα λιγότερο ακριβό;
- Διαθέσιμο σε CD-ROM και στο διαδίκτυο
- Απευθύνεται σε πολύ μεγάλο αριθμό ανθρώπων
- Άτομα που δεν ενδιαφέρονται αρχικά μπορεί να ενδιαφερθούν στη συνέχεια
- Έχει απήχηση και σε νεότερους οδηγούς
- Χαμηλό αποτέλεσμα της εκπαίδευσης.

Πιθανές δράσεις:

- Όταν σε μια χώρα δεν υπάρχουν εκπαιδευτικά προγράμματα οικονομικής οδήγησης, μπορεί να γίνει χρήση ειδικών από άλλες χώρες οι οποίοι θα εκπαιδεύσουν τους τοπικούς εκπαιδευτές.
- Εκπαίδευση του προσωπικού μιας εταιρείας στην οικονομική εκπαίδευση (είτε στο δρόμο ή με προσομοιωτές) και δημοσίευση των αποτελεσμάτων σε κάποιο έντυπο της εταιρείας.
- Εκπαίδευση των δασκάλων οδήγησης στην οικονομική οδήγηση.
- Εκπαίδευση οδηγών λεωφορείων στην οικονομική οδήγηση (ακόμα και θέτοντας αντίστοιχο κριτήριο όταν προκηρύσσονται διαγωνισμοί για ανάληψη έργου τοπικών συγκοινωνιών από μια εταιρεία).
- Οργάνωση διαγωνισμού μεταξύ τμημάτων μιας εταιρείας ή μεταξύ δήμων χρησιμοποιώντας φορητό προσομοιωτή.





Κάποια παραδείγματα εκπαιδευτικών προγραμμάτων:

- Πρότυπα ασφαλούς και ενεργειακά αποδοτικής οδήγησης (SAFED) - Οδηγός Σωστής Δράσης 2100. Αυτός ο οδηγός εξηγεί το περιεχόμενο ενός εκπαιδευτικού προγράμματος SAFED μιας μέρας, σχεδιασμένο ώστε να εκπαιδεύει οδηγούς σε μια πιο ασφαλή και οικονομική οδήγηση (www.safed.co.uk).
- Εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση των οδηγών του Ισπανικού Ταχυδρομείου (Correos), θεωρητική και πρακτική.
- Εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση σε πραγματικές συνθήκες των στελεχών του Ολλανδικού υπουργείου Συγκοινωνιών και Μεταφορών.

Συνεργασία και συμμετοχή

Συνίσταται να υπάρχει συνεργασία με ενδιαμέσους φορείς, οι οποίοι θα παρέχουν υπηρεσίες στη στοχευόμενη ομάδα. Συνήθως το κοινό αποδέχεται ευκολότερα τα μηνύματα περί οικονομικής οδήγησης από έγκυρες και ανεξάρτητες εταιρείες (που είναι ειδικευμένες στην πληροφόρηση γύρω από το αυτοκίνητο) παρά από έναν κυβερνητικό ή περιβαλλοντικό οργανισμό. Επίσης, αυτές οι εταιρείες διαθέτουν δίοδους επικοινωνίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να φτάσουν τα επιθυμητά μηνύματα στους αποδέκτες τους. Πιθανοί συνεργαζόμενοι φορείς:

- Τοπικές εταιρείες δημοσίων συγκοινωνιών
- Τοπικά συνεργεία, βουλκανιζατέρ και αντιπρόσωποι αυτοκινήτων
- Τοπικές σχολές οδήγησης
- Οργανώσεις καταναλωτών
- Αυτοκινητιστικές λέσχες
- Ασφαλιστικές εταιρείες
- Περιβαλλοντικές οργανώσεις
- Τουριστικοί οργανισμοί κλπ.

Οργάνωση εθνικών και τοπικών προγραμμάτων Οικονομικής Οδήγησης

- Για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων εθνικών ή τοπικών προγραμμάτων οικονομικής οδήγησης πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα: Δυνατότητα παροχής εκπαιδευτικών προγραμμάτων υψηλής ποιότητας για την επανεκπαίδευση διπλωματούχων οδηγών Ανάπτυξη εξειδικευμένων
- Ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων υψηλής ποιότητας για την εκπαίδευση και διαπίστευση εξειδικευμένων εκπαιδευτών στην οικονομική οδήγηση
- Παρουσίαση της οικονομικής οδήγησης σαν προϊόν και δημιουργία του αντίστοιχου μηνύματος προς το κοινό Ανάπτυξη δικτύου συνεργατών
- Συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση του προγράμματος Αξιοποίηση κάθε ευκαιρίας





- Διασφάλιση των προτύπων ποιότητας για την εκπαίδευση των εκπαιδευτών
- Ανάπτυξη επιχειρηματικών ευκαιριών για πιστοποιημένους εκπαιδευτές.

1. Ανάπτυξη παροχής εκπαιδευτικών προγραμμάτων υψηλού επιπέδου

Στο αρχικό στάδιο ενός προγράμματος οικονομικής οδήγησης είναι σημαντικό να παρέχεται εκπαίδευση επαρκούς επιπέδου και υψηλής ποιότητας. Είναι επίσης σημαντικό να υπάρχει παρακολούθηση της ποιότητας αυτής της εκπαίδευσης. Η κακή ποιότητα της εκπαίδευσης θα έχει άμεσο αρνητικό αποτέλεσμα όχι μόνο στον εκπαιδευτή αλλά και στο ίδιο το πρόγραμμα όπως και στους στόχους του.

2. Ανάπτυξη εξειδικευμένων εκπαιδευτικών προγραμμάτων για υψηλής ποιότητας ανομοιογενείς ομάδες

Είναι σημαντικό να αναπτυχθεί μια ποικιλία εκπαιδευτικών προγραμμάτων που να καλύπτουν τις απαιτήσεις και τα ενδιαφέροντα ανομοιογενών ομάδων. Κατ' αρχήν η ποικιλία αφορά το περιεχόμενο των προγραμμάτων. Ένα 'πραγματικό' πρόγραμμα οικονομικής οδήγησης ασχολείται αποκλειστικά με αυτήν. Ένα 'μεικτό' πρόγραμμα ασχολείται μερικώς με την οικονομική οδήγηση. Κατά τα άλλα μπορεί να περιλαμβάνει μαθήματα οδηγικής ικανότητας όπως μαθήματα για οδήγηση σε συνθήκες μειωμένης πρόσφυσης και μαθήματα ασφαλούς οδήγησης.

Δευτερευόντως, η ποικιλία αφορά τα εκπαιδευτικά μέσα, όπως η εκπαίδευση στο δρόμο, σε προσομοιωτή ή με ειδικό λογισμικό σε υπολογιστή. Τέλος η ποικιλία αφορά και τη διάρκεια των προγραμμάτων. Αυτή μπορεί να διαφέρει από μια ώρα μέχρι προγράμματα μιας ή περισσότερων ημερών.

3. Ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων υψηλής ποιότητας για την εκπαίδευση και πιστοποίηση εξειδικευμένων εκπαιδευτών οικονομικής οδήγησης

Συνίσταται να οργανωθούν υψηλής ποιότητας εκπαιδευτικά προγράμματα για την εκπαίδευση και πιστοποίηση εξειδικευμένων εκπαιδευτών οικονομικής οδήγησης. Αυτοί οι πιστοποιημένοι εκπαιδευτές θα έχουν την αποκλειστικότητα στο να επανεκπαιδεύουν διπλωματούχους οδηγούς.

4. Παρουσίαση της οικονομικής οδήγησης σαν προϊόν και δημιουργία του αντίστοιχου μηνύματος προς το κοινό





Η οικονομική οδήγηση πρέπει να παρουσιαστεί σαν ένας έξυπνος τρόπος οδήγησης, που ταιριάζει στη σύγχρονη τεχνολογία των κινητήρων. Στην περίπτωση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος συνιστάται να χρησιμοποιούνται αναγνωρίσιμα λογότυπα. Συνιστάται να δίνεται έμφαση στα οφέλη και κυρίως στα οικονομικά, καθώς και στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Συνιστάται επίσης να μην δίνεται υπερβολική έμφαση σε περιβαλλοντικά και οικολογικά θέματα καθώς σχετικά με την χρήση του αυτοκινήτου το κοινό είναι λιγότερο ευαισθητοποιημένο περιβαλλοντικά από όσο θα επιθυμούσαμε να είναι. Γενικότερα δεν πρέπει να υπάρχει υπερβολή. Οι πληροφορίες θα πρέπει να περιέχουν εκείνες τις συμβουλές που είναι εύκολα αποδεκτές και ενημερωτικές. Οι πιο λεπτομερείς συμβουλές για την βελτιστοποίηση του τρόπου οδήγησης πρέπει να δίδονται στα άτομα που επιδεικνύουν μεγαλύτερη διάθεση και ενδιαφέρον και είναι κυρίως αυτά που έχουν συμμετάσχει σε εκπαίδευση με μαθήματα στον δρόμο.

5. Ανάπτυξη δικτύου συνεργατών

Πρέπει να αναπτυχθεί ένα δίκτυο συνεργατών που θα λειτουργούν σαν ενδιάμεσοι με τις ομάδες ενδιαφέροντος. Τέτοιοι συνεργάτες μπορεί να είναι αυτοκινητιστικές και καταναλωτικές ενώσεις, εταιρείες καυσίμων, τουριστικές λέσχες και σχολές οδηγών.

6. Συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση του προγράμματος

Τα αποτελέσματα του προγράμματος πρέπει να επιδεικνύονται και να βελτιώνονται. Για το λόγο αυτό απαιτείται συνεχής περιοδική παρακολούθηση και αξιολόγηση, ώστε τα οφέλη από τις δράσεις του προγράμματος να ποσοτικοποιούνται και να αποδεικνύονται σε κάθε ευκαιρία. Αυτό είναι απαραίτητο για να εξασφαλιστεί η αποδοχή του κοινού και η μακροπρόθεσμη χρηματοδότηση του προγράμματος. Τα αποτελέσματα από το Ολλανδικό και Ελβετικό πρόγραμμα έδειξαν ότι η εκτέλεσή του είναι σχετικά φθηνή και έχει σημαντική συμβολή στη μείωση των εκπομπών CO₂. Στο κεφάλαιο 7 θα αναπτυχθεί η μεθοδολογία παρακολούθησης και αξιολόγησης με περισσότερες λεπτομέρειες.

7. Αξιοποίηση κάθε ευκαιρίας

Το νομικό, οικονομικό και κοινωνικό πλαίσιο μπορεί να αλλάξει και να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες. Η διαχείριση του προγράμματος πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να εκμεταλλευτεί κάθε ευκαιρία και να την ενσωματώσει. Στη Φιλανδία, χρησιμοποιήθηκε η εισαγωγή μιας δεύτερης φάσης στην εκπαίδευση των νέων οδηγών, που περιέχει και την εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση. Η αποδοχή ενός προγράμματος μπορεί να βελτιωθεί με





οικονομικά κίνητρα όπως π.χ. η εξαίρεση από την φορολογία των συσκευών εξοικονόμησης καυσίμου που τοποθετούνται στα αυτοκίνητα.

8. Διασφάλιση των προτύπων ποιότητας για την εκπαίδευση των εκπαιδευτών

Ένα σημαντικό βήμα είναι να συμπεριληφθεί η οικονομική οδήγηση στην τακτική διαδικασία εκπαίδευσης των δασκάλων οδήγησης. Από την αρχή πρέπει να διασφαλιστεί η ποιότητα αυτής της εκπαίδευσης.

9. Ανάπτυξη επιχειρηματικών ευκαιριών για πιστοποιημένους εκπαιδευτές

Εάν αναπτυχθούν επιχειρηματικές ευκαιρίες, τότε θα υπάρξουν περισσότεροι δάσκαλοι που θα εκδηλώσουν ενδιαφέρον για εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση. Το Ελβετικό πρόγραμμα πληρώνει τους δασκάλους για κάθε οδηγό που εκπαιδεύουν. Εναλλακτικά, μπορεί να θεσπιστεί ως υποχρεωτική η εκπαίδευση στην οικονομική οδήγηση για τους δασκάλους οδήγησης.

2.4.6 Παρακολούθηση και αξιολόγηση των εκπομπών CO₂

Πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση των αποτελεσμάτων από τις δράσεις σχετικά με την οικονομική οδήγηση. Τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αποδειχθεί ότι η εφαρμογή της οικονομικής οδήγησης μπορεί πραγματικά να μειώσει τις εκπομπές CO₂.

Επίπεδο έργων

Άμεσα έργα

Άμεσα έργα είναι π.χ. τα εκπαιδευτικά προγράμματα οικονομικής οδήγησης. Στην περίπτωση αυτή οι επιπτώσεις της συγκεκριμένης δράσης είναι γνωστές με ακρίβεια και μέσω μετρήσεων της κατανάλωσης καυσίμου και των χιλιομέτρων που διανύθηκαν μπορεί να υπολογιστεί η μείωση στις εκπομπές CO₂

Οι άλλες παράμετροι, όπως ο τύπος του αυτοκινήτου και ο τύπος των διαδρομών που καλείται να ακολουθήσει ο οδηγός πρέπει να διατηρούνται σταθερές. Κάποιες φορές είναι δύσκολο να υπολογιστεί η κατανάλωση καυσίμου ανά αυτοκίνητο ή φορτηγό γιατί το οδηγούν διαφορετικοί οδηγοί. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει όλοι οι χρήστες να έχουν το ίδιο επίπεδο εκπαίδευσης και πληροφόρησης.

Η κατανάλωση ανά χιλιόμετρο υπολογίζεται διαιρώντας την κατανάλωση καυσίμου με τα χιλιόμετρα που διανύθηκαν από τον κάθε οδηγό. Αυτό πρέπει





να υπολογιστεί πριν και μετά την εκτέλεση της εκπαίδευσης στην οικονομική οδήγηση, κατά προτίμηση τρεις μήνες πριν και τρεις μετά. Η διαφορά στην κατανάλωση, πολλαπλασιαζόμενη με τα χιλιόμετρα που διανύθηκαν κατά τη διάρκεια του έργου δίνει τα λίτρα που εξοικονομήθηκαν. Πολλαπλασιαζόμενα με έναν συντελεστή εκπομπής CO₂, ανάλογα με τον τύπο του καυσίμου, δίνουν την ποσότητα κατά την οποία ελαττώθηκαν οι εκπομπές CO₂ εξαιτίας των δράσεων του έργου.

Έμμεσα έργα

Έμμεσα έργα είναι π.χ. οι εκστρατείες πληροφόρησης. Στην περίπτωση αυτή οι ακριβείς επιπτώσεις της δράσης δεν είναι γνωστές, αλλά μπορούν να γίνουν υπολογισμοί βασισμένοι στις καλύτερες πιθανές υποθέσεις και παραδοχές εκτέλεσης του έργου.

Μείωση εκπομπών CO₂ = Συμμετοχή x Αποτελεσματικότητα x Απόδοση

- *Συμμετοχή*: Ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν στη δράση πολλαπλασιασμένος με τη μέση τιμή των χιλιομέτρων που διανύουν ανά άτομο τον χρόνο. Από αυτό προκύπτει ο αριθμός των χιλιομέτρων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της δράσης
- *Αποτελεσματικότητα*: Η πραγματική αλλαγή στην συμπεριφορά ενός ατόμου που συμμετέχει σε ένα έργο ή κάποιας άλλης μορφής δράση. Η συμμετοχή πολλαπλασιασμένη με την αποτελεσματικότητα δίνει τον αριθμό των χιλιομέτρων για τα οποία επιτεύχθηκε αλλαγή συμπεριφοράς
- *Απόδοση*: Ο ρυθμός μείωσης εκπομπών CO₂ προς την αλλαγή του τρόπου οδήγησης και την καταναλωτική συμπεριφορά των οδηγών.

Οι πληροφορίες που χρειάζονται για τον υπολογισμό της μείωσης των εκπομπών CO₂:

- Αριθμός των ατόμων που παρακολούθησαν τη δράση
- Μέση τιμή των χιλιομέτρων που διήνυσαν
- Βαθμός αποτελεσματικότητας (σε %);
- Εκπομπές CO₂ ανά λίτρο καυσίμου
- Βαθμός απόδοσης (σε %);
- Κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο
- Τύπος: βενζίνη, πετρέλαιο κίνησης, LPG και η αντίστοιχη ποσότητα εκπομπών CO₂

Επίπεδο Προγράμματος

Στην Ολλανδία υπάρχει μεγάλη εμπειρία στον τομέα της παρακολούθησης και αξιολόγησης δράσεων οικονομικής οδήγησης. Για τον σκοπό αυτό έχει αναπτυχθεί και έχει δοκιμαστεί μία συγκεκριμένη μέθοδος παρακολούθησης. Οι αρχές της μεθόδου έχουν εγκριθεί από το Ολλανδικό Κυβερνητικό ίδρυμα





για την Περιβαλλοντική Προστασία, RIVM (Rijksinstituut voor Milieuhygiene). Η μέθοδος παρακολούθησης είναι ένα απαραίτητο εργαλείο για την βήμα προς βήμα αξιολόγηση σε επίπεδο προγράμματος.

Επειδή οι δράσεις οικονομικής οδήγησης σε ορισμένο επίπεδο αφορούν μακροπρόθεσμες επενδύσεις, συνεχίζουν να επηρεάζουν τις εκπομπές CO₂ και για τα επόμενα χρόνια. Για να συσχετιστούν οι επενδύσεις με την μείωση των εκπομπών CO₂ εφαρμόζεται ένας αναγωγικός υπολογισμός ανά έτος που περιλαμβάνει και ένα επιτόκιο για το επενδυμένο κεφάλαιο. Χρησιμοποιώντας μια τέτοια μέθοδο, το επενδυμένο κεφάλαιο διαμοιράζεται σε μια μεγάλη χρονική περίοδο και συγκρίνεται με τη μέση μείωση των εκπομπών CO₂ για την ίδια περίοδο.

Μετά από μια περίοδο δέκα χρόνων, προέκυψε ότι η αποδοτικότητα κόστους-οφέλους από το πρόγραμμα οικονομικής οδήγησης στην Ολλανδία ήταν από €7 έως €4.5 ανά τόνο μείωσης εκπομπών CO₂.

Τα αποτελέσματα από την Ολλανδία δείχνουν ότι είναι εφικτό να προκύψουν μετρήσιμα αποτελέσματα από δράσεις πολιτικής που επηρεάζουν την οδική συμπεριφορά και τις επιλογές κατά την αγορά αυτοκίνητου. Από την σκοπιά της πολιτικής, είναι προφανές ότι τα χρήματα που επενδύει η κυβέρνηση σε ένα τέτοιο πρόγραμμα αποδίδουν. Η εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων σε συνδυασμό με τεχνικά μέτρα, συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί για την μείωση των εκπομπών CO₂.





2.5. Επιπτώσεις στα καύσιμα και στις εκπομπές CO₂, που προκύπτουν από προηγμένα συστήματα πλοήγησης τα οποία λαμβάνουν υπόψη την κλίση της οδού.

ΓΕΝΙΚΑ

Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί νέα προηγμένα συστήματα πλοήγησης, που παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα να επιλέγουν όχι μόνο μια κοντινή ή και μια σύντομη διαδρομή (βασισμένες σε real-time πληροφορίες κυκλοφοριακής συμφόρησης), αλλά και διαδρομές που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων. Σε αυτά τα συστήματα «eco-routing», η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές καυσαερίων υπολογίζονται για κυκλοφοριακές συνδέσεις βασισμένες στον υπολογισμένο όγκο κυκλοφορίας, την πυκνότητα, και τη μέση ταχύτητα. Αυτοί οι παράγοντες χρησιμοποιούνται έπειτα ως παράγοντες κόστους αντί των τυποποιημένων παραγόντων χρόνου ή απόστασης ταξιδιού κατά τον επιλογή μιας βέλτιστης διαδρομής για οποιοδήποτε ταξίδι.

Εκτός από τις παραμέτρους που σχετίζονται με τη συμφόρηση οδών, η κλίση της οδού επηρεάζει σχετικά την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές αερίων ρύπων. Σε αυτή τη μελέτη αξιολογείται η επίδραση της κλίσης της οδού στην κατανάλωση καυσίμων των οχημάτων (και συνεπώς της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κλίση του δρόμου έχει πράγματι σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία καυσίμου. Συγκρίνοντας την μετρημένη οικονομία καυσίμου μεταξύ επίπεδης διαδρομής και χαρακτηριστικών ορεινών διαδρομών, διαπιστώθηκε ότι η οικονομία καυσίμου οχημάτων της επίπεδης διαδρομής είναι ανώτερη από εκείνη των ορεινών διαδρομών κατά περίπου 15-20%. Η επίδραση της κλίσης της οδού θα διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στους προηγμένους αλγορίθμους eco-routing πλοήγησης, όπου τα συστήματα μπορούν να καθοδηγήσουν τους οδηγούς να αποφύγουν απότομους δρόμους προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη οικονομία καυσίμου και μείωση εκπομπών CO₂.





2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο συνολικός αριθμός των μιλίων που ταξιδεύει ένα όχημα (vehicle miles traveled VMT) στους αυτοκινητοδρόμους συνεχίζει να αυξάνεται σε όλες τις ΗΠΑ (αν και οι αυξητικοί ρυθμοί έχουν μειωθεί πρόσφατα, λόγω του υψηλότερου κόστους των καυσίμων). Η ανάγκη μετακίνησης ευθύνεται για την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων καυσίμων, που αντιστοιχούν στο 30% περίπου της εθνικής κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, είναι υπεύθυνη περίπου για το ένα τρίτο των αμερικανικών εκπομπών CO₂ κατά το 2006 . Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη όχι μόνο η βελτίωση της απόδοσης των κινητήρων των οχημάτων και η ανάπτυξη εναλλακτικών καυσίμων, αλλά και κάνοντας αποδοτικότερες τις οδικές διαδρομές ιδίως μέσω της χρήσης διαφόρων τεχνολογιών ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS).

Μία από τις μεγαλύτερες επιτυχίες στην ITS τεχνολογία τα τελευταία χρόνια είναι ο τομέας των προηγμένων συστημάτων ενημέρωσης ταξιδιού. Τα τελευταία χρόνια, έχει υπάρξει μια σημαντική εξάπλωση των off-board & on-board συστημάτων πλοήγησης που επιλέγουν κατά κύριο λόγο μια διαδρομή που αντιστοιχεί στη μικρότερη απόσταση μεταξύ προέλευσης (ή την τρέχουσα θέση του οχήματος) και σημείου προορισμού. Πιο πρόσφατα, νέας γενιάς συστήματα είναι πλέον σε θέση να ενσωματώνουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την κυκλοφορία, παρέχοντας την ικανότητα να βρουν τη συντομότερη σε διάρκεια διαδρομή, εκτός από τη συντομότερη σε απόσταση διαδρομή. Επιπλέον, λόγω των υψηλών τιμών των καυσίμων και την αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού για την αλλαγή του κλίματος και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, οι ερευνητές διερευνούν τώρα νέες μεθοδολογίες πλοήγησης που επιλέγουν μια διαδρομή που απαιτεί το λιγότερο ποσό των καυσίμων και / ή που παράγουν το ελάχιστο ποσό των εκπομπών .

Μελέτες έχουν δείξει ότι η επιλογή διαφορετικών διαδρομών μεταξύ της ίδιας προέλευσης-προορισμού (ΠΠ) μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαφορές στην κατανάλωση του καυσίμου και της ποσότητας των εκπομπών. Ερευνητές του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Riverside ανέπτυξαν νέα προηγμένα συστήματα πλοήγησης τα οποία παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα να επιλέγουν όχι μόνο μικρότερης απόστασης αλλά και συντομότερης διάρκειας διαδρομές, αλλά και διαδρομές ώστε να ελαχιστοποιείται η κατανάλωση καυσίμων, καθώς και οι εκπομπές ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO₂) . Αυτές οι νέες τεχνικές πλοήγησης, τα λεγόμενα eco-routing, συνδυάζουν εξελιγμένη mobile-source energy και emission models με αλγορίθμους ελαχιστοποίησης διαδρομής που χρησιμοποιούνται για την πλοήγηση. Κατά την αρχική εργασία, οι παράγοντες της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών υπολογίζονται για κυκλοφοριακές συνδέσεις με βάση μετρημένο όγκο κυκλοφορίας, πυκνότητα, και μέση ταχύτητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά μετά χρησιμοποιούνται ως





παράγοντες κόστους, αντί του κανονικού χρόνου ταξιδιού (standard travel time) ή της απόστασης, κατά την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής για οποιαδήποτε συγκεκριμένη διαδρομή.

Εκτός από την κυκλοφοριακή συμφόρηση οδού που αντικατοπτρίζεται από την ταχύτητα της κυκλοφορίας και την πυκνότητα, αναμένεται ότι η κλίση της οδού διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη μεθοδολογία eco-routing. Μελέτες έχουν δείξει ότι η κλίση της οδού έχει σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας και στις εκπομπές των light-duty οχημάτων. Για παράδειγμα, η κατανάλωση καυσίμων και τα ποσοστά εκπομπών CO₂ (σε γραμμάρια/μίλι) ενός οχήματος είναι υψηλότερα στις ανηφόρες από ότι σε ένα επίπεδο δρόμο, καθώς το όχημα χρειάζεται περισσότερη ενέργεια για να λειτουργεί λόγω της βαρύτητας που προκαλείται από τις ανηφόρες. Από την άλλη πλευρά, τα ποσοστά κατανάλωσης καυσίμου είναι μικρότερα σε κατηφόρες από ό, τι σε μια επίπεδη δρόμο, καθώς η βαρυτική δύναμη λειτουργεί προς όφελος του οχήματος.

Μέχρι τώρα, η αξιολόγηση της επίδρασης της κλίσης της οδού ήταν σε επίπεδο κυκλοφοριακών συνδέσεων, που χαρακτηρίζει τους παράγοντες ενέργειας και εκπομπής των οχημάτων (θετικούς και αρνητικούς) για τα διαφορετικά επίπεδα κλίσης. Ωστόσο, η επίδραση της κλίσης σε επίπεδο «διαδρομών» δεν έχει μελετηθεί λεπτομερώς. Όπως και στην roadway navigation, η αλλαγή υψόμετρου ανάμεσα σε ένα ζευγάρι ΠΠ διατηρείται πάντα χωρίς να λαμβάνονται υπόψη ποιες διαδρομές επιλέγονται. Έτσι, τα υψηλά ποσοστά ενέργειας/εκπομπών για ανηφορικά τμήματα θα μπορούσε κάλλιστα να αντισταθμίζεται με χαμηλά ποσοστά ενέργειας/εκπομπών στα κατηφορικά τμήματα. Ως αποτέλεσμα, τα συνολικά ποσοστά ενέργειας /εκπομπών σε μια λοφώδη διαδρομή θα μπορούσε να αποδειχθούν παρόμοια με εκείνα σε μια επίπεδη διαδρομή, με τους υπόλοιπους παράγοντες ίσους.

Σε αυτή τη μελέτη, η επίδραση της κλίσης στην κατανάλωση καυσίμων light-duty οχημάτων αξιολογείται, χρησιμοποιώντας τόσο το 1) μια αναλυτική προσέγγιση βασισμένη σε ένα εκλεπτυσμένο μοντέλο ενέργειας και εκπομπών και 2) μια εμπειρική προσέγγιση βασισμένη στα πραγματικά μετρημένα στοιχεία. Δεδομένου ότι η κατανάλωση καυσίμων οχημάτων συσχετίζεται έντονα με την εξάτμιση εξαγωγής εκπομπών CO₂, τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται και οι συζητήσεις που γίνονται σε αυτή την εργασία ισχύουν επίσης στην εκπομπή του CO₂ οχημάτων. Αυτή η εργασία είναι οργανωμένη ως εξής. Κατ' αρχάς, δίνονται οι αναλυτικές συναρτήσεις μεταξύ της κλίσης και της κατανάλωσης καυσίμου καθώς επίσης και μια σύντομη ανασκόπηση της μεθοδολογίας eco-routing. Έπειτα, περιγράφεται η μεθοδολογία υπολογισμού της κλίσης κατά eco-routing. Στη συνέχεια, παρέχονται οι διαδικασίες μέτρησης της κλίσης και της κατανάλωσης καυσίμου. Μετά από αυτό, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα





του πειράματος και συζητούνται οι επιπτώσεις τους. Τελικά, δίνονται τα γενικά συμπεράσματα και οι γενικές κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας.

2.5.2. ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η κλίση της οδού και η κατανάλωση καυσίμων

Είναι γνωστό ότι η ταχύτητα και η επιτάχυνση έχουν μεγάλο αντίκτυπο για την οικονομία καυσίμου του οχήματος και τις εκπομπές, δεδομένου ότι είναι οι βασικές μεταβλητές που καθορίζουν τις απαιτήσεις δύναμης που είναι απαραίτητες για συγκεκριμένους οδηγικούς ελιγμούς. Επιπλέον, οι απαιτήσεις δύναμης για ένα όχημα επηρεάζονται επίσης από το βάρος του, το μέγεθος της κλίσης που ταξιδεύει επάνω, και από άλλους παράγοντες όπως η αεροδυναμική αντίσταση και η αντίσταση κύλισης. Η συνολική ελκτική απαίτηση δύναμης (σε κιλοβάτ) που τοποθετείται σε ένα όχημα (στις ρόδες) δίνεται με απλούστερη μορφή ως (12):

$$P_{tractive} = \frac{m}{1000} * v * (a + g * \sin\theta) + \left(m * g * Cr + \frac{\rho}{2} * v^2 * A * Ca \right) * \frac{v}{1000} \quad (1)$$

όπου m είναι η μάζα του οχήματος (kg), v είναι η ταχύτητα του οχήματος (m / s), a είναι η επιτάχυνση του οχήματος (m/s²), g είναι η σταθερά της βαρύτητας (9,81 m/s²), θ είναι η τιμή της κλίσης, Cr ο συντελεστής αντίστασης κύλισης, ρ είναι η πυκνότητα της μάζας του αέρα (1.225 kg/m³, ανάλογα με τη θερμοκρασία και το υψόμετρο), A είναι η διατομή (m²), και Ca είναι ο συντελεστής αεροδυναμικής αντίστασης. Για να μεταφράσει αυτήν την ελκτική προϋπόθεση δύναμης στις απαιτούμενες προϋποθέσεις δύναμης του κινητήρα, η ακόλουθη απλή σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη προσέγγιση:

$$P_{engine} = \frac{P_{tractive}}{\eta_{tf}} + P_{accessories} \quad (2)$$

όπου η_{tf} είναι η συνδυασμένη απόδοση της μετάδοσης και της τελικής κίνησης, και $P_{accessories}$ είναι η απαίτηση δύναμης του κινητήρα που συνδέεται με τη λειτουργία των εξαρτημάτων, όπως κλιματισμό, υδραυλικό τιμόνι και φρένα, και τα ηλεκτρικά φορτία. Η απαίτηση για την ισχύ στον κινητήρα P_{engine} συνδέεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου:

$$\frac{dF}{dt} \approx \lambda(k * N * D) + \frac{P_{engine}}{\eta_{engine}} \quad (3)$$

όπου k είναι ο συντελεστής τριβής του κινητήρα (που αντιπροσωπεύει την ενέργεια καυσίμου που χρησιμοποιείται σε μηδενική απόδοση ισχύος για να ξεπεραστούν οι τριβές του κινητήρα ανά περιστροφή του κινητήρα και της μοναδιαίας μετατόπιση του κινητήρα), N η ταχύτητα του κινητήρα, D είναι ο





κυβισμός του κινητήρα, και η_{engine} είναι ένα μέτρο της αναφερόμενης απόδοσης του κινητήρα. Αυτή η εξίσωση είναι απλή, αλλά αρκετά ακριβή για τον προσδιορισμό του ποσοστού χρήσης καυσίμων (σε κιλοβάτ).

Μέσω των εξισώσεων (1) έως (3), είναι δυνατό να υπολογιστεί η στιγμιαία κατανάλωση καυσίμων για τις διαφορετικές κλίσεις οδού. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων (και εκπομπές) θα επέλθει με θετική κλίση, και χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων (και εκπομπές) θα επέλθουν με αρνητική κλίση. Εάν μια διαδρομή περιέχει τόσο ανηφορικά και κατηφορικά τμήματα, τότε σε πολλές περιπτώσεις, οι αυξήσεις και οι μειώσεις κατανάλωσης καυσίμων πρέπει συνήθως να ισορροπήσουν. Ωστόσο, αν είναι αναγκαίο να αλλάξει ταχύτητες ή ακόμη και να επιβραδύνει στην ανηφόρα, τότε οι αυξήσεις της κατανάλωσης καυσίμου, θα τείνουν να κυριαρχούν σε σχέση με τις αποσβέσεις κατανάλωσης καύσιμου κατά την κατάβαση, με αποτέλεσμα συνολικά υψηλότερες τιμές κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών.

Μεθοδολογία Eco-Routing

Η αρχική ανάπτυξη του συστήματος πλοήγησης Eco-Routing εστιάζεται κυρίως σε οδικά δίκτυα freeway-only. Η έννοια και η μεθοδολογία επεκτείνονται για να συμπεριλάβουν αρτηρίες και τοπικούς δρόμους. Συνολικά, η μεθοδολογία της Eco-Routing μπορεί να αναλυθεί σε δύο γενικά στοιχεία:

Για ένα συγκεκριμένο οδικό δίκτυο, οι παράγοντες ενέργειας και εκπομπών, που αναφέρονται στη σύνδεση αναπτύσσονται ώστε να μπορούν να αναπροσαρμόζονται με βάση τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης όπως η ταχύτητα κυκλοφορίας, η πυκνότητα, κλπ. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο σύνολο στοιχείων ταχύτητας που συλλέχθηκαν από τα οχήματα ελέγχων που έχουν συσχετιστεί χωρικά και χρονικά με τις παραμέτρους κίνησης που εξάγονται από το σύστημα μέτρησης απόδοσης αυτοκινητόδρομων (PeMS), οι τιμές κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών κάθε ταχύτητας υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας ένα Comprehensive Modal Emissions Model (CMEM) για τις πολλαπλές κατηγορίες οχημάτων του μοντέλου. Στη συνέχεια, οι σχέσεις μεταξύ της ενέργειας/εκπομπών και παραμέτρων της κυκλοφορίας (π.χ. μέση ταχύτητα όπως φαίνεται στο σχήμα 1) που δημιουργήθηκαν μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να ορίσουν τους παράγοντες ενέργειας και εκπομπών σε κάθε σύνδεση στο οδικό δίκτυο βασισμένες στην, σε πραγματικό χρόνο, απόδοση κυκλοφορίας.

Με δεδομένους τους παράγοντες ενέργειας και εκπομπών που αναφέρονται στη σύνδεση, οι network-wide routing algorithms χρησιμοποιούνται έπειτα για να επιλέξουν τις βέλτιστες διαδρομές που ελαχιστοποιούν την κατανάλωση





καυσίμων ή/και τις εκπομπές για ένα καθορισμένο ταξίδι σε ένα περιβάλλον ArcGIS. Ένα συγκεκριμένο μοντέλο δημιουργήθηκε για να συνδέσει τη βάση δεδομένων οδικών δικτύων με τα σε πραγματικό χρόνο, στοιχεία κυκλοφορίας από PeMS, λαμβάνοντας δεδομένα κάθε πέντε λεπτά. Επιπλέον, διάφορα άλλα χαρακτηριστικά προστέθηκαν στη βάση δεδομένων οδικών δικτύων, συγκεκριμένα κατανάλωση καυσίμων, CO₂, μονοξειδίο άνθρακα (CO), υδρογονάνθρακας (HC), και οξειδία του αζώτου (NOX) για τις διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων τα οποία αντιστοιχούν στους παράγοντες, που αναφέρονται στη σύνδεση και περιγράφηκαν ανωτέρω. Χρησιμοποιώντας το Network Analyst toolbox, χρησιμοποιείται το κριτήριο ελαχιστοποίησης διαδρομών, το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί να ελαχιστοποιεί με βάση οποιοδήποτε χαρακτηριστικό των δεδομένων της οδικής σύνδεσης. Έτσι, είναι δυνατό να συγκριθούν οι βέλτιστες διαδρομές για την απόσταση, το χρόνο, την ενέργεια, και τις διάφορες εκπομπές ρύπων για ένα καθορισμένο ταξίδι.

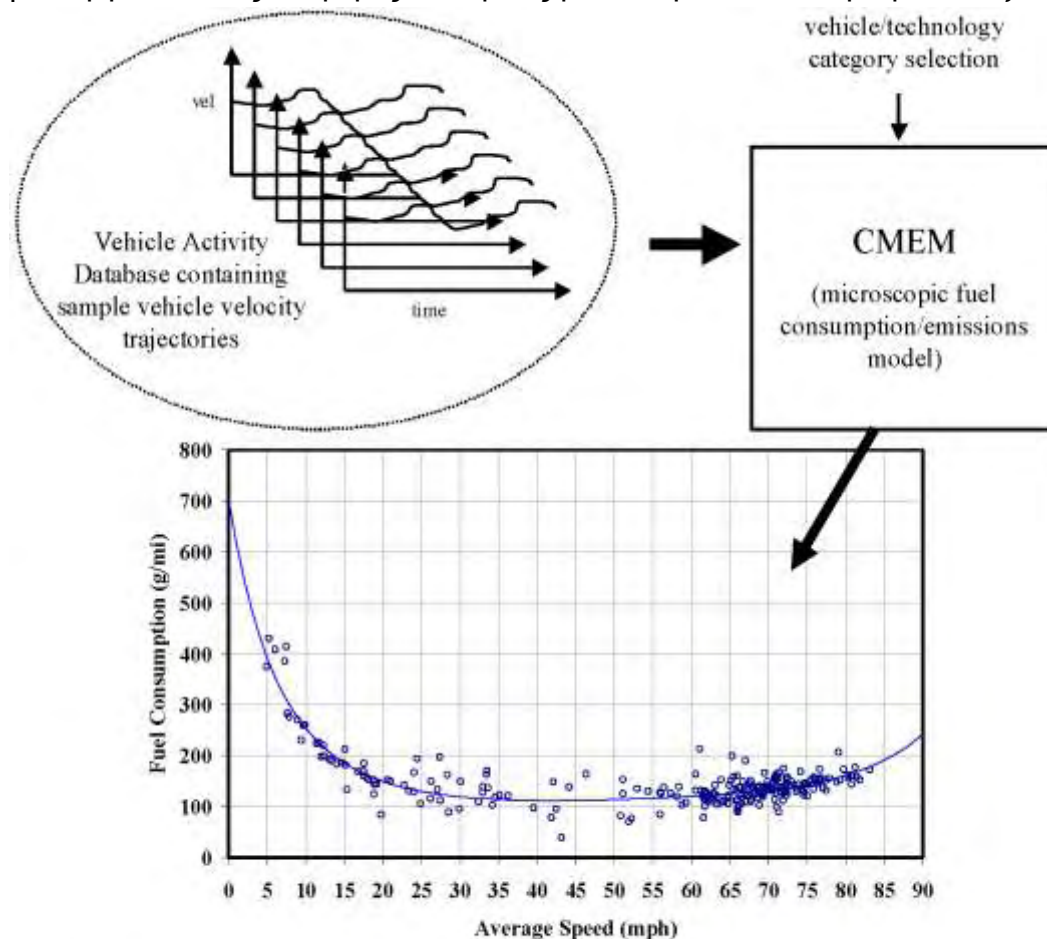


Figure 1. Link-level fuel consumption modeling methodology

Συνεισφορά της Κλίσης της Οδού στο ECO-ROUTING

Προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη η κλίση του δρόμου στη μεθοδολογία eco-routing, αναπτύχθηκαν νέες καμπύλες, κατανάλωσης καυσίμων σε σχέση με





την ταχύτητα. Στην καρδιά της μεθοδολογίας eco-routing είναι το μοντέλο CMEM. Με το CMEM, είναι δυνατή η εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών από τα οχήματα μεμονωμένα ή από το σύνολο του στόλου των οχημάτων, που λειτουργούν υπό διάφορες συνθήκες. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του CMEM είναι ότι χρησιμοποιεί μια φυσική, απαίτησης δύναμης, προσέγγιση βασισμένη σε μια παραμετροποιημένη αναλυτική αναπαράσταση της κατανάλωσης καυσίμων και της παραγωγής εκπομπών. Σε αυτόν τον τύπο μοντέλου, η συνολική κατανάλωση καυσίμου και η διαδικασία εκπομπών αναλύεται σε συνιστώσες που αντιστοιχούν σε φυσικά φαινόμενα που σχετίζονται με τη λειτουργία του οχήματος και την παραγωγή εκπομπών. Αυτό είναι πολύτιμο για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών των νέων τεχνολογιών οχημάτων ή των συγκεκριμένων μοντέλων οχημάτων, μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση και έλεγχο συμβατότητας. Η βαθμονόμηση CMEM για οποιαδήποτε συγκεκριμένα μοντέλα αυτοκινήτων απαιτεί τις ακόλουθες στατικές παραμέτρους των οχημάτων:

- Κυβισμός
- Αριθμός κυλίνδρων
- Μάζα οχήματος
- Παρακολούθηση road-load ιπποδύναμης στα 50 μίλι/ώρα
- Ταχύτητα κινητήρα/ταχύτητα του οχήματος στην υψηλότερη σχέση μετάδοσης
- Μέγιστη ισχύς του κινητήρα
- Η ταχύτητα του κινητήρα στη μέγιστη ισχύ
- Η ροπή του κινητήρα στη μέγιστη ισχύ του κινητήρα
- Η ταχύτητα του κινητήρα στη μέγιστη ροπή του κινητήρα
- Στροφές βραδυπορίας του κινητήρα

Μετά τη βαθμονόμηση, οι διαδικασίες επικύρωσης πραγματοποιούνται με τη σύγκριση της μοντελοποιημένης second-by-second κατανάλωσης καυσίμων με τη μετρημένη κατανάλωση καυσίμου για διάφορα οδηγικά σενάρια. Ένα παράδειγμα απεικονίζεται στο σχήμα 2 για το Nissan Altima2007, το οποίο επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί ως όχημα δοκιμής στο πείραμα στον τομέα της μελέτης αυτής. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι τα πρότυπα αποτελέσματα (κόκκινη γραμμή) και τα αποτελέσματα των μετρήσεων (μπλε γραμμή) συμφωνούν καλά το ένα με το άλλο, και ότι η συνολική κατανάλωση καυσίμων των δύο αποτελεσμάτων διαφέρει μόνο 0.08%.



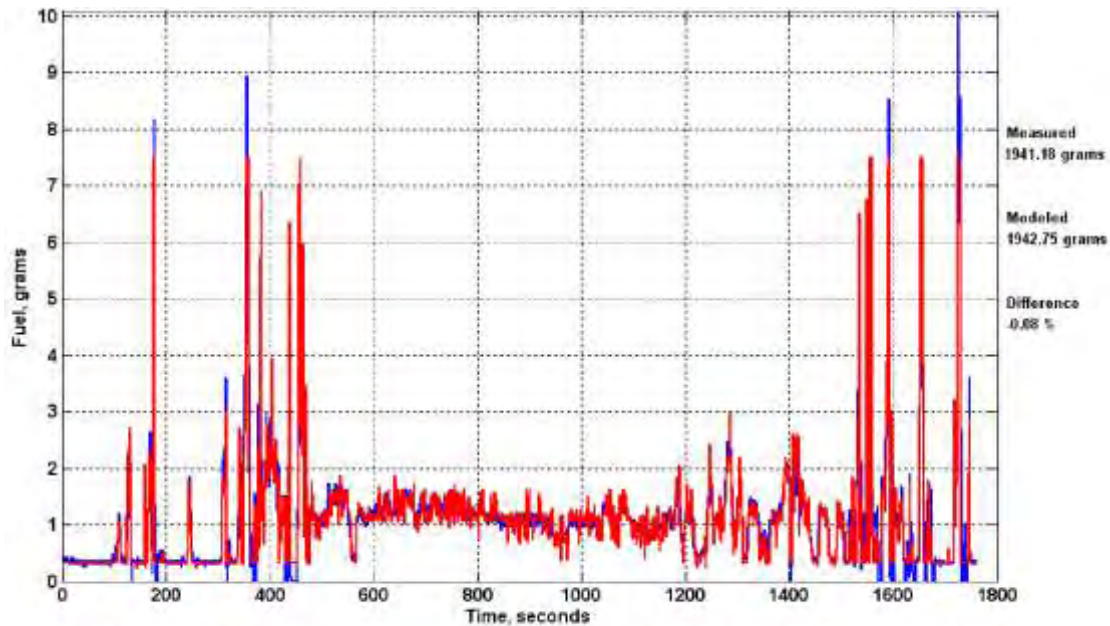


Figure 2. Calibration result of fuel consumption for the test vehicle

Με τη βαθμονόμηση και επικύρωση CMEM για το όχημα δοκιμής, η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα και παρουσιάστηκε στο Σχήμα 1 επαναλήφθηκε για πολλαπλές οδικές κλίσεις. Με άλλα λόγια, το σύνολο των δεδομένων των ταχυτήτων του οχήματος εφαρμόστηκε επανειλημμένα με CMEM για κλίσεις οδού που κυμαίνονται από -8% έως +8%. Σημειώστε ότι το CMEM επιτρέπει την απευθείας εισαγωγή της κλίσης του δρόμου ως load-based παράγοντας, γεγονός που θα επηρεάσει τη συνολική ελκτική απαίτηση δύναμης που τοποθετείται σε ένα όχημα. Για κάθε επίπεδο οδικής κλίσης, χρησιμοποιήθηκε μία πολυωνυμική συνάρτηση 4^{ης} τάξης με τη μορφή της εξίσωσης (4) to fit the data plot, παρέχοντας μια εμπειρική εξίσωση για να παραστήσει την κατανάλωση καυσίμων σε διάφορες μέσες ταχύτητες για αυτό το επίπεδο της κλίσης του δρόμου.

$$\ln(y)=b_0+b_1*x+b_2*x^2+b_3*x^3+b_4*x^4 \quad (4)$$

όπου y είναι η πρότυπη κατανάλωση καυσίμου (g / mi) και x η μετρημένη μέση ταχύτητα (mph).

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο σχήμα 3 για όλα τα επίπεδα οδικής κλίσης, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν άμεσα στα συστήματα eco-routing για να ενημερώσουν τους παράγοντες κατανάλωσης καυσίμων που βασίζονται στις συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στους routing αλγόριθμους. Το σχήμα 3 επιβεβαιώνει ότι όσο πιο απότομος είναι ο δρόμος, τόσο περισσότερα καύσιμα καταναλώνει το όχημα (ελέγχεται για την ταχύτητα). Μπορεί επίσης να διαπιστωθεί ότι το βέλτιστο εύρος ταχυτήτων για την κατανάλωση καυσίμων μεταβάλλεται όταν αλλάζει η κλίση του δρόμου. Σύμφωνα με το σχήμα, το βέλτιστο εύρος ταχυτήτων στην πιο απότομη





ανηφόρα του +8% είναι περίπου 30-35 μίλια / ώρα. Αυξάνεται monotonically με μικρότερη κλίση και φτάνει 80-85 mph στην πιο απόκρημνη κατηφόρα του -8%. Συμβαίνει γιατί όταν πρόκειται να πάει ανηφορικά, την αυξημένη ισχύ που απαιτείται για το όχημα για να ανέβει την κλίση θα πρέπει να αντισταθμιστεί απαιτώντας λιγότερη ισχύ για την ταχύτητα του οχήματος, προκειμένου να διατηρηθεί η ίδια απαίτηση ισχύς στο αποδοτικότερο σημείο λειτουργίας του κινητήρα.

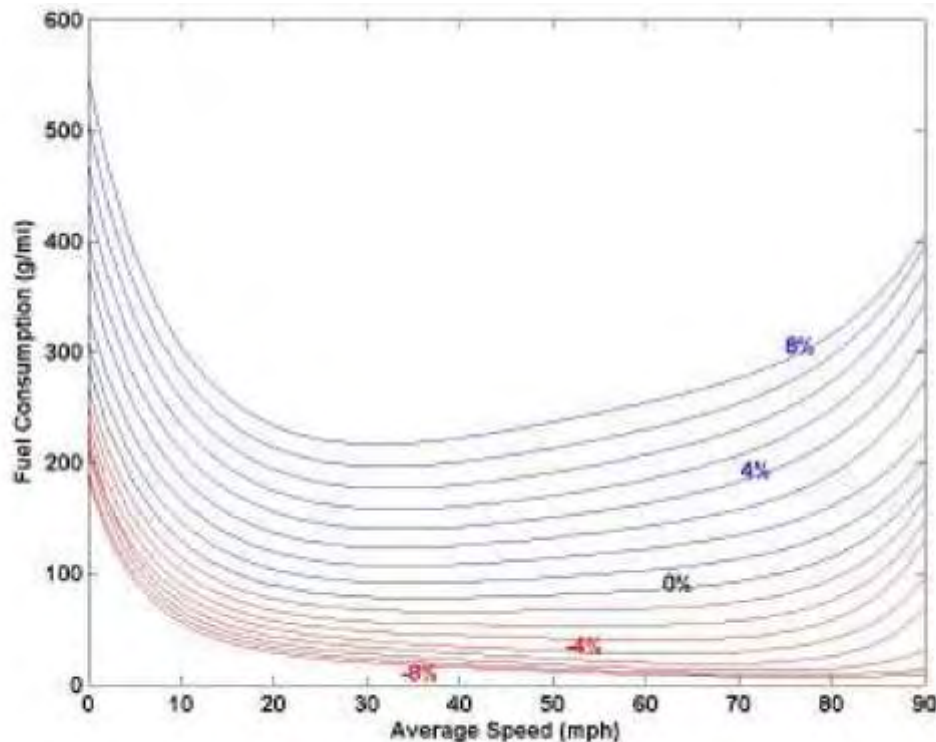


Figure 3. Fuel consumption vs. speed curves for different road grade levels

2.5.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Οργάνωση πειράματος

Όταν ταξιδεύετε μεταξύ ενός ζεύγους ΠΠ(OD), η παγκόσμια αλλαγή στο υψόμετρο μεταξύ της προέλευσης και του προορισμού θα είναι πάντα η ίδια για κάθε διαδρομή, χωρίς να έχει σημασία τυχόν τοπικές αλλαγές στο υψόμετρο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Ένα καλό παράδειγμα είναι ένα υποθετικό ταξίδι για το οποίο υπάρχουν δύο διαφορετικές διαδρομές: 1) μια εντελώς επίπεδη διαδρομή με κλίση δρόμο 0%, και 2) μια λοφώδης διαδρομή που αποτελείται από απότομες ανηφόρες (π.χ. 6%) για το ήμισυ της διαδρομής και απότομες κατηφόρες (π.χ. -6%) για το άλλο μισό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 (αριστερά). Η σύγκριση των συνολικών ενέργεια / εκπομπές (όπως ομαλοποιείται από την απόσταση) των οχημάτων που





διέρχονται από τις δύο αυτές διαδρομές θα ήταν ιδανική για την αξιολόγηση της επίδρασης της κλίσης στο eco-routing.

Για τη σύνθεση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ένα τοπικό δίκτυο αυτοκινητόδρομου. Ως λοφώδης διαδρομή επιλέχτηκε ο Interstate-15 στη Νότια Καλιφόρνια από Colton στο Λος Άντζελες μέχρι την κορυφή του Cajon Pass κοντά στη Hesperia. Η διαδρομή αυτή ανεβαίνει από περίπου 300 μέτρα πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας έως 1.300 μ. από ένα επίπεδο μήκους περίπου 15 μίλια (δηλαδή μέσο όρο κλίσης περίπου 4%). Η πλήρης λοφώδης διαδρομή είναι ανηφορική προς βορρά και κατηφορική προς το νότο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4 (δεξιά). Το τμήμα 15-mile του Interstate-10 από Rancho Cucamonga πίσω στο Colton, που φαίνεται επίσης στο σχήμα 4 (δεξιά), χρησιμοποιήθηκε ως επίπεδη διαδρομή. Στο πείραμα, αυτές οι διαδρομές οδηγήθηκαν επανειλημμένα για τρεις φορές, κρατώντας την ταχύτητα του οχήματος σταθερή στα 60 mph (96 km/h). Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα ήταν το Nissan Altima 2007 (2.5 λίτρα κυβισμό, 20 γαλόνια χωρητικότητα ντεπόζιτου).

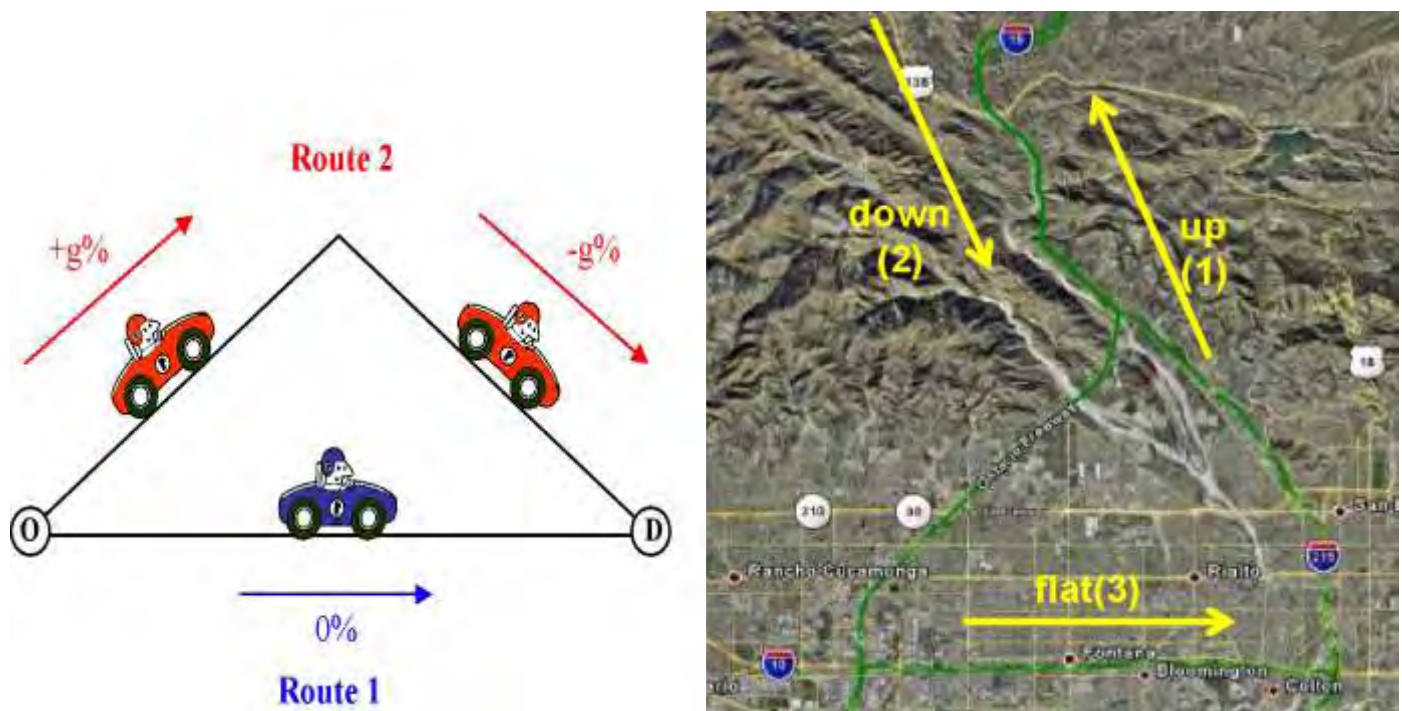


Figure 4. (Left) hypothetical case study and (right) real-world case study routes on I-15 and I-10

Μέτρηση Οδικής Κλίσης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση πληροφόρησης για την κλίση της οδού. Οι παραδοσιακές μέθοδοι περιλαμβάνουν την εξαγωγή των πληροφοριών από το σχεδιασμό καθώς επίσης και με την εκτέλεση τοπολογικών ερευνών των δρόμων. Ο υπολογισμός, με το χέρι, της κλίσης της οδού από τα σχέδια μπορεί να είναι χρονοβόρος εάν δεν είναι τα σχέδια σε ηλεκτρονική μορφή. Καμιά φορά, αυτά





τα σχέδια δεν είναι διαθέσιμα για μελλοντική χρήση, και μπορεί να μην είναι ενημερωμένα με τα προφίλ του δρόμου μετά από τροποποιήσεις των οδικών αξόνων. Αν και τα προφίλ της κλίσης που λαμβάνονται από τις τοπολογικές έρευνες μπορούν να είναι επίκαιρα και ακριβή, η μέθοδος δεν είναι χρονικά και οικονομικά αποδοτική για την παραγωγή προφίλ κλίσης υψηλής ανάλυσης για οδικά δίκτυα από μέτριας μέχρι μεγάλης κλίμακας. Κατά συνέπεια, έχουν αναπτυχθεί ποικίλες τεχνικές μέτρησης οδικής κλίσης. Μια τεχνική είναι να χρησιμοποιείται ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο, με δεδομένα που λαμβάνονται μέσω της τηλεπισκόπησης. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες αισθητήρων (π.χ. δορυφορικές εικόνες, LIDAR, LADAR) που μπορούν να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα της χωρικής και κατακόρυφης ανάλυσης. Με βάση αυτά τα υψομετρικά μοντέλα, είναι δυνατόν να προκύψει η κλίση του δρόμου μέσω παρεμβολής ή μέσω διαδικασιών surface fitting.

Επιπλέον, υπάρχει ένα άλλο σύνολο τεχνικών για άμεση μέτρηση της οδικής κλίσης, με την οδήγηση κατά μήκος των δρόμων κάνοντας χρήση μιας ποικιλίας οργάνων, συμπεριλαμβανομένων υψομετρητών, κλισίμετρων, επιταχυνσιόμετρων, βαρόμετρων, και δεκτών GPS. Για το GPS, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι χαρακτηριστικοί δέκτες GPS (και οι περισσότεροι διαφορετικά διορθωμένοι δέκτες GPS) στερούνται της κάθετης ανάλυσης που απαιτείται για να μετρηθεί ακριβώς το υψόμετρο που χρειάζεται για να υπολογιστεί η κλίση. Η βελτίωση της ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τεχνικών carrier phase differential GPS (CP-DGPS) για την άρση του σφάλματος από τις μετρήσεις, καθιστώντας την τυπική απόκλιση του σφάλματος αρκετά μικρή (δηλ., μερικά εκατοστά) έτσι ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ακρίβειας υψομέτρου.

Σε αυτή τη μελέτη, ένα σύστημα CP-DGPS χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των υψομέτρων του δρόμου (και στη συνέχεια για τον υπολογισμό της οδικής κλίσης). Το CP-DGPS παρέχει περίπου 10 cm. ακρίβειας προσδιορισμού θέσης σε τρεις διαστάσεις. Χρησιμοποιώντας το σύστημα CP-DGPS, ένας δέκτης τοποθετήθηκε στο όχημα δοκιμής που κινούνταν στην εξεταζόμενη οδό, μετρώντας τη θέση σε μια συχνότητα 1 Hz. Δεδομένου ότι το όχημα δοκιμής κινούνταν με ταχύτητες περίπου 60 mph, αυτό αντιστοιχεί σε μια μέτρηση περίπου κάθε 88 πόδια (26 μέτρα) κατά μήκος της διαδρομής. Ταυτόχρονα, μετρήσεις CP-DGPS έγιναν σε έναν σταθερό ερευνητικό σταθμό βάσης. Τα στοιχεία και από το όχημα δοκιμής και από το σταθμό βάσης, έπειτα επεξεργαστήκαν για να ληφθούν τα υψομετρικά στοιχεία της οδού με περίπου 10 cm ανάλυση.

Η διαδικασία μέτρησης CP-DGPS οδήγησε σε ένα σύνολο σημείων μέτρησης με ακριβές γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, και υψόμετρο. Με βάση αυτά τα στοιχεία, έγινε παρεμβολή spline για την απόκτηση ενός συνόλου σημείων αναφοράς κάθε 25 μέτρα. Αυτό στόχευε στην ομαλοποίηση των κατ'





εκτίμηση οδικών κλίσεων με την απόσταση. Μετά από αυτό, οι τιμές γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους αυτών των σημείων μετασχηματίστηκαν σε μια χωρική μέτρηση X και Y (που δίδονται σε μέτρα από το σταθμό βάσης). Στη συνέχεια, η κλίση υπολογίστηκε απλά με τη λήψη των γειτονικών σημείων αναφοράς και τον υπολογισμό μιας κλίσης. Η κλίση του δρόμου, ζ (%), μεταξύ δύο σημείων αναφοράς μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$g = \frac{e_i - e_{i-1}}{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} * 100$$

όπου e είναι το υψόμετρο (σε μέτρα). Ο δείκτης i είναι το τρέχον σημείο αναφοράς και i-1 είναι το προηγούμενο σημείο αναφοράς. Τέλος, κατέστη δυνατόν να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό οδικό δίκτυο αποτελούμενο από μια σειρά συνδεδεμένων 25-μετρων links με τις σχετικές τιμές της κλίσης. Αυτό γίνεται σε περιβάλλον ArcGIS.

Μέτρηση Καταναλώσεως Καυσίμων

Το όχημα δοκιμής ήταν εφοδιασμένο με καταγραφέα δεδομένων που ήταν συνδεδεμένος με τη θύρα του OBD-II του οχήματος. Μέσω της θύρας OBD-II, καταγράφονται τα δεδομένα σχετικά με τις λειτουργίες του κινητήρα και την κατανάλωση καυσίμου κάθε ένα δέκατο δευτερόλεπτο (10 Hertz), οι οποίες στη συνέχεια αθροίζονται σε second-by-second δεδομένα. Αυτό το σύνολο στοιχείων περιέλαβε μια μεταβλητή «FuelCut» όπου γινόταν 1 όταν δεν εγχέει η μηχανή καύσιμο υπό ορισμένες συνθήκες και ειδάλλως παρέμενε 0. Ο καταγραφέας δεδομένων ήταν επίσης συνδεδεμένος με κεραία GPS, έτσι ώστε να καταγράφεται ταυτόχρονα η τοποθεσία (π.χ. γεωγραφικό μήκος και πλάτος, υψόμετρο) και η χρονικό αποτύπωμα του οχήματος δοκιμής (σε συχνότητα 1 Hz) και ακόμα ο καταγραφέας ήταν και χρονικά εναρμονισμένος με τα δεδομένα της θύρας OBD-II.

Τα καταγραμμένα δεδομένα μέτρησης καυσίμων όπως προέκυψαν από το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος στις διαδρομές μελέτης, υποβλήθηκαν σε επεξεργασία και εξετάστηκαν για την εξασφάλιση ποιότητας. Επειδή οι διαδρομές δοκιμών έχουν άμεση θέα προς τον ουρανό, τα δεδομένα GPS που ελήφθησαν είναι καλής ποιότητας (δεν υπάρχει drop-off σήματος, κανένα πάγωμα, κ.λπ.). Μετά από αυτό, αυτά τα δεδομένα σημεία αντιστοιχήθηκαν στο ψηφιακό οδικό δίκτυο που δημιουργήθηκε νωρίτερα. Αυτό έγινε με το εργαλείο "Near" στο ArcGIS 9.2, όπου αντιστοιχήθηκαν τα καύσιμα με το πλησιέστερο 25-μετρο link στο ψηφιακό οδικό δίκτυο με βάση την κάθετη απόσταση. Η διαδικασία αυτή κατέληξε σε ένα σύνολο δεδομένων της second-by-second μέτρησης καυσίμου που βρέθηκε από την τιμή της κλίσης του δρόμου των links, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.





2.5.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κλίση της Οδού

Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται παραπάνω, οι οδικές κλίσεις στις διαδρομές μελέτης μετρήθηκαν και δημιουργήθηκαν τα προφίλ τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5. Το σχήμα δείχνει τα προφίλ της κλίσης χωριστά για ανηφόρα, κατηφόρα, και επίπεδη τμήματα, που αντιστοιχούν σε αυτά στο Σχήμα 4. Το σχήμα 6 παρουσιάζει ιστόγραμμα της κλίσης της λοφώδους διαδρομής σε σύγκριση με την επίπεδη διαδρομή, που στρογγυλοποιούνται στις ακέραιες τιμές. Σημειώστε ότι η ορεινή διαδρομή αποτελείται από ανηφορικά και κατηφορικά τμήματα. Σύμφωνα με τα σχήματα 5 και 6, αν και η επίπεδη διαδρομή δεν είναι εντελώς επίπεδη και κάθε τμήμα της λοφώδους διαδρομής έχει διαφορετική κλίση, οι δύο διαδρομές έχουν ακόμα αρκετή αντίθεση στα προφίλ της οδικής κλίσης τους, κάτι που εξυπηρετεί τους σκοπούς της παρούσας συγκριτικής μελέτης.

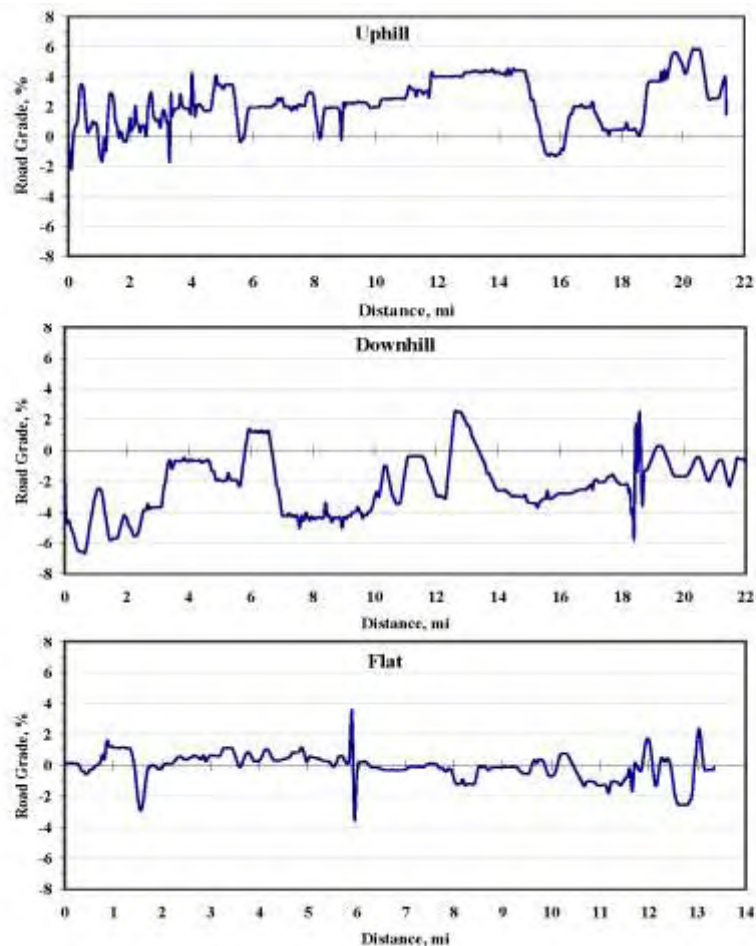


Figure 5. Road grade profiles of (top) uphill, (middle) downhill, and (bottom) flat sections



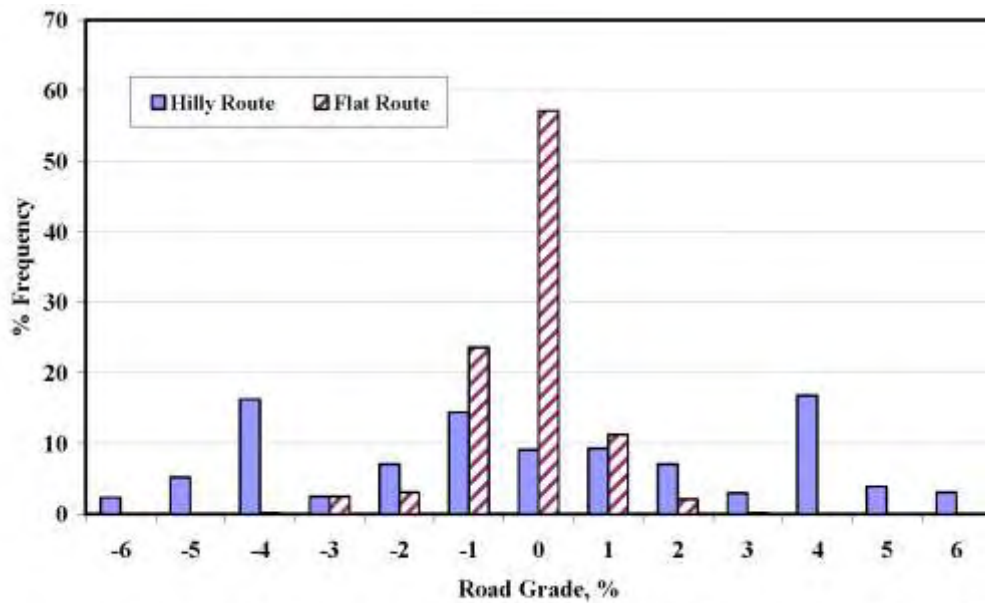


Figure 6. Road grade histogram of the two routes with different types of terrain

Οικονομία Καυσίμου

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των μετρήσεων καυσίμου που έχουν βρεθεί από την οδική κλίση, η οικονομία καυσίμων του οχήματος δοκιμής αναλύθηκε σε διάφορες πτυχές. Κατ' αρχάς, εξετάστηκε η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της κλίσης του δρόμου. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 7 για κάθε μία από τις τρεις εκτελέσεις. Αποδεικνύεται ότι η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της οδικής κλίσης είναι μη γραμμική. Οι παραβολικές καμπύλες και για τις τρεις εκτελέσεις έχουν πολύ ισχυρή συσχέτιση (R περίπου 0,93). Πολλές κινήσεις αύξησης ισχύος, οι οποίες μεταφράζονται σε υψηλά ποσοστά κατανάλωσης καυσίμων, παρατηρήθηκαν για κλίσεις 5% και άνω. Από την άλλη πλευρά, πολλές κινήσεις μείωσης των καυσίμων εμφανίζονται για κλίσεις -4% και χαμηλότερα. Αυτά τα δύο φαινόμενα αναμένονται, σύμφωνα με την αναλυτική σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμων και της κλίσης που παρουσιάζονται στην ενότητα Υποβάθρου.

Αν και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν παραβολική σχέση μεταξύ της μετρημένης κατανάλωσης καυσίμων και της οδικής κλίσης, μια τέτοια σχέση φαίνεται να προκαλείται από την αύξηση ισχύος στις πολύ απότομες ανηφόρες και το γεγονός ότι η κατανάλωση καυσίμων δεν μπορεί να είναι αρνητική σε πολύ απότομες κατηφόρες. Οπτικά, η σχέση φαίνεται να είναι γραμμική μεταξύ κλίσης -2% και 2%, γεγονός που σημαίνει ότι δεν θα υπήρχε καμία διαφορά στην κατανάλωση καυσίμων μεταξύ των εναλλακτικών διαδρομών που έχουν διαφορετικά προφίλ οδικής κλίσης εντός του εν λόγω φάσματος.





Πρέπει να σημειωθεί ότι αφού η ταχύτητα του οχήματος κρατήθηκε σταθερή στα 60 mph, οι μεταβολές ταχύτητας και επιτάχυνσης ελέγχθηκαν σε όλες τις εκτελέσεις. Αν και αυτές οι εκτελέσεις έγιναν διαφορετικές ημέρες, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στην πυκνότητα της μάζας του αέρα, στον συντελεστή αντίστασης κύλισης, και στον αεροδυναμικό συντελεστή έλξης, μεγάλες διακυμάνσεις σε αυτές τις μεταβλητές δεν αναμένονταν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι εκτελέσεις έγιναν σε διαδοχικές ημέρες, περίπου τον ίδιο χρόνο της ημέρας, καθώς και στις ίδιες διαδρομές. Όσον αφορά τη μάζα του οχήματος, Run 1 είχε έναν οδηγό και έναν επιβάτη ενώ Run 2 και 3 είχαν μόνο τον οδηγό. Ως εκ τούτου, η συνολική μάζα της Run 1 ήταν διαφορετική από των άλλων δύο κατά 160 lbs (περίπου 5% του απόβαρο του οχήματος). Με βάση το σχήμα 7, αυτή η μικρή διαφορά στη συνολική μάζα επηρεάζει αρνητικά την οικονομία καυσίμου του οχήματος, που κυμαίνεται από 5% για +1% ανηφόρα σε σχεδόν 20% για ανηφόρα +6%. Από την άλλη πλευρά, βοηθά πολύ λίγο την οικονομία καυσίμου του οχήματος (λιγότερο από 5%) στις κατηφόρες.

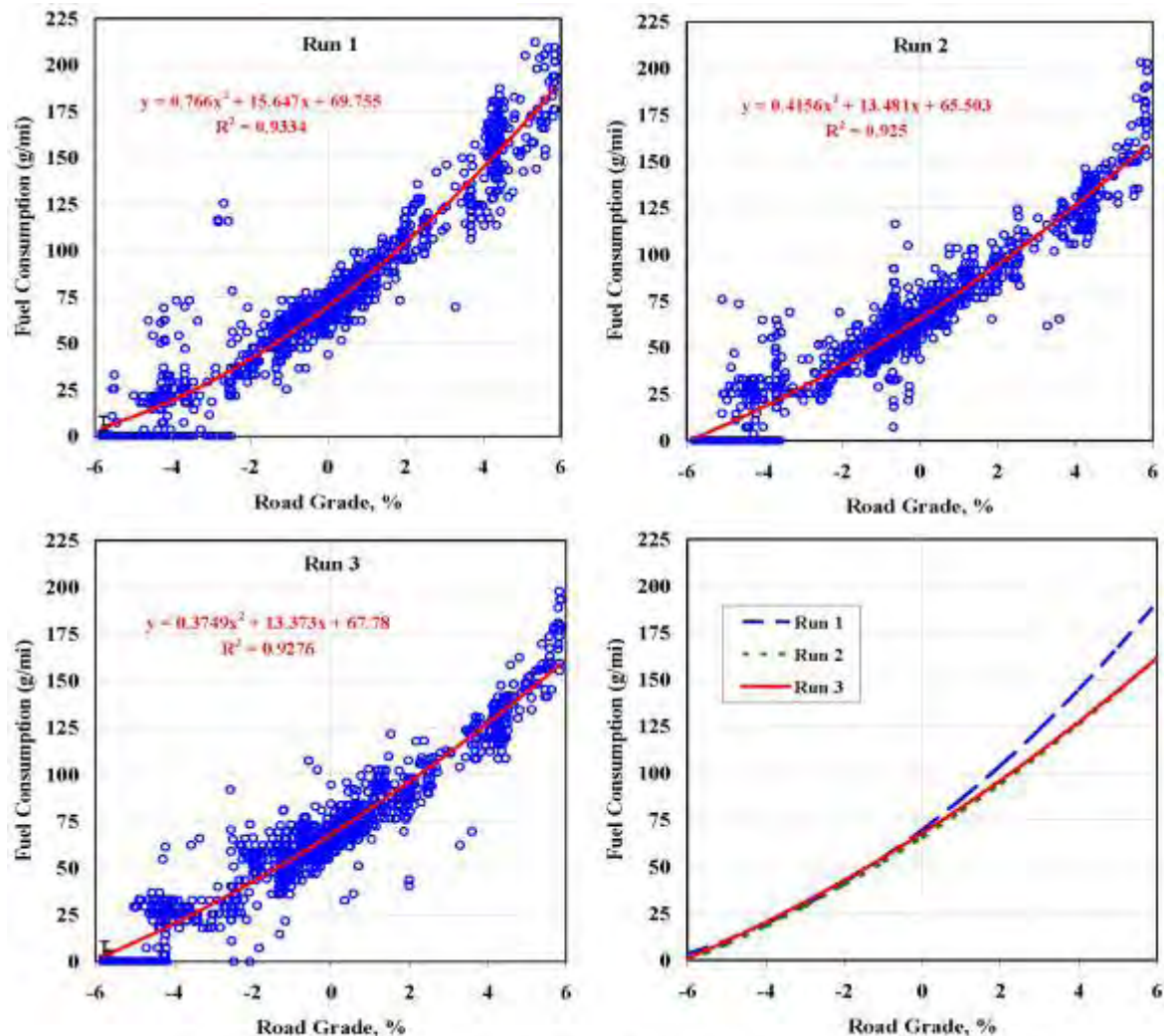


Figure 7. Fuel consumption vs. road grade for steady-speed of 60 mph





Η επόμενη πτυχή των αναλύσεων της οικονομίας καυσίμου ήταν η σύγκριση των μετρημένων τιμών κατανάλωσης καυσίμου με εκείνες που προέκυψαν από την εξίσωση (4). Αυτό φαίνεται στο σχήμα 8, όπου η μετρούμενη μέση κατανάλωση καυσίμου για κάθε τιμή οδικής κλίσης και οι τιμές που σχετίζονται με το διάστημα εμπιστοσύνης 95% συγκρίνονταν με την πρότυπη κατανάλωση καυσίμου για την ταχύτητα των 60 mph. Έχει παρατηρηθεί ότι οι πρότυπες τιμές είναι σταθερά υψηλότερες από τις μετρούμενες τιμές. Η τάση αυτή αναμένεται, επειδή η μεθοδολογία μοντελοποίησης που παρουσιάστηκε στην ενότητα Υποβάθρου βασίζεται σε πραγματικά πρότυπα οδήγησης που επηρεάζουν τη μεταβολή της ταχύτητας (π.χ. επιτάχυνση και επιβράδυνση). Αντίθετα, η μετρημένη κατανάλωση καυσίμου βασίζεται σε σταθερή ταχύτητα οδήγησης. Έχει αποδειχθεί ότι η επίδραση της διαφοράς των προτύπων οδήγησης είναι περίπου 10%, με μέση ταχύτητα 60 mph για εκπομπές CO₂, η οποία σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την κατανάλωση καυσίμου. Το μέγεθος της επίπτωσης είναι σύμφωνη με τα αποτελέσματα στο σχήμα 8. Σημειώστε ότι το πρότυπο CMEM που χρησιμοποιείται για την εξέλιξη του παράγοντα της κατανάλωσης καυσίμου δεν μοντελοποιεί την εξοικονόμηση καυσίμων. Επομένως, η διαμορφωμένη κατανάλωση καυσίμων για τις τιμές -5% και -6% οδικής κλίσης υπερεκτιμάται αρκετά. Επιπλέον, από την εξέταση του απεικονισμένου διαστήματος εμπιστοσύνης 95% της μετρημένης κατανάλωσης καυσίμου, διαπιστώνεται ότι η αρνητική επίπτωση του βάρους των επιβατών σχετικά με την οικονομία καυσίμου του οχήματος είναι στατιστικά σημαντική για κλίση +2% και άνω.

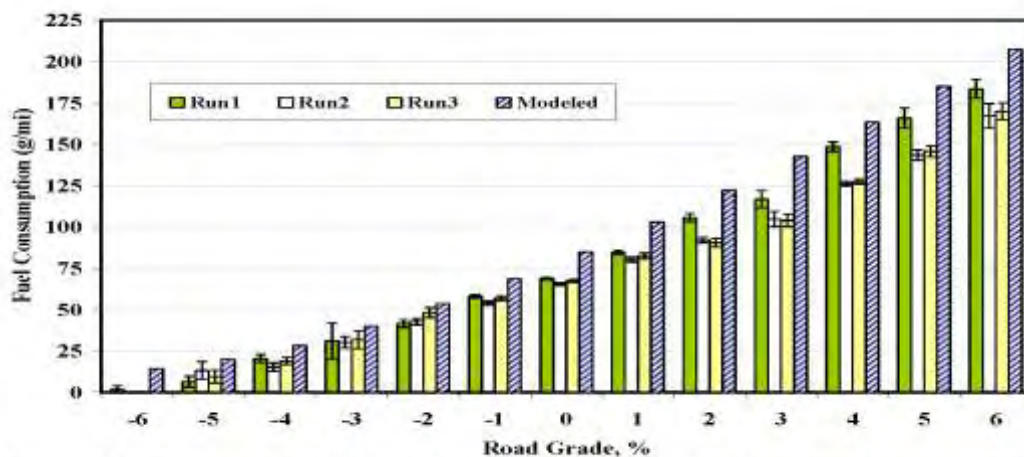


Figure 8. Comparison between real-world and modeled fuel consumption

Τέλος, εξετάζεται η επίδραση της κλίσης της οδού στην οικονομία καυσίμων του οχήματος, σε επίπεδο διαδρομών. Τα αποτελέσματα για την οικονομία καυσίμων (σε μίλια ανά γαλόνι, MPG) για τα τμήματα κάθε δοκιμής παρουσιάζονται στο σχήμα 9. Δίνεται επίσης η συνολική οικονομία καυσίμων για τη λοφώδη διαδρομή (δηλ. ανηφόρα και κατηφόρα μαζί). Σύμφωνα με το σχήμα, δεν είναι έκπληξη το γεγονός ότι το κατηφορικό τμήμα έχει την καλύτερη οικονομία καυσίμου, ακολουθούμενο από το επίπεδο τμήμα. Το πιο





σημαντικό, διαπιστώνεται στο ότι η συνολική οικονομία καυσίμου της επίπεδης διαδρομής είναι ανώτερη από εκείνη της λοφώδους διαδρομής κατά περίπου 15-20%. Αυτό σημαίνει ότι με την ίδια ταχύτητα (δηλ. 60 mph), μπορεί κανείς να εξοικονομήσει καύσιμα ακολουθώντας μια μακρύτερη αλλά επίπεδη διαδρομή, δεδομένου ότι είναι λιγότερο από 15-20% μακρύτερη από τις λοφώδεις διαδρομές. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να εξηγηθεί, εν μέρει, από τη μη γραμμική σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμων και της οδικής κλίσης που παρουσιάζονται νωρίτερα. Η μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιεί το όχημα για να διασχίσει το ανηφορικό τμήμα δεν αντισταθμίστηκε πλήρως από το χαμηλότερο ποσό των καυσίμων που χρειάζεται για να διασχίσει το κατηφορικό τμήμα, σε σύγκριση με το επίπεδο τμήμα.

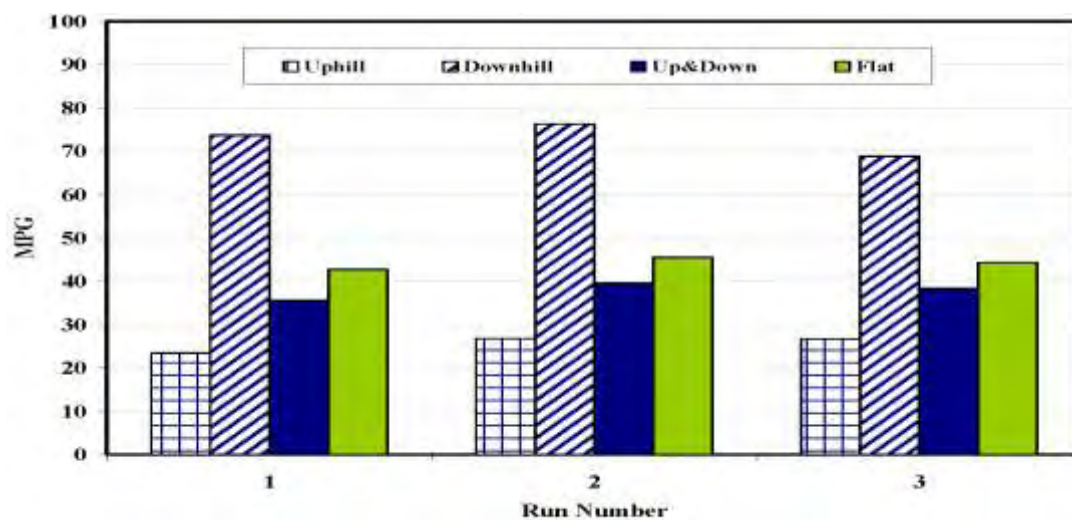


Figure 9. Fuel economy comparison of routes with different road grade





2.6. Βελτίωση επιλογής διαδρομής για χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου – Πιθανά αποτελέσματα ενός νέου εργαλείου οδηγικής υποστήριξης

Γενικά

Στις μέρες μας, τα εργαλεία οδηγικής υποστήριξης, που έχουν σκοπό την αύξηση της κυκλοφοριακής ασφάλειας, την παροχή πρακτικών πληροφοριών και καθοδήγησης στον οδηγό, ή την εξοικονόμηση χρόνου, γίνονται όλο και πιο κοινά. Όμως λίγα συστήματα έχουν πρωταρχικό στόχο την μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων της οδήγησης. Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να υπολογίσει την δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και έτσι των εκπομπών CO₂ μέσω ενός συστήματος πλοήγησης όπου η επιλογή της βέλτιστης διαδρομής βασίζεται στο χαμηλότερο σύνολο κατανάλωσης καυσίμου (αντί του συνήθους συντομότερου χρόνου ή απόστασης), καθώς και το επιπρόσθετο αποτέλεσμα που θα είχαμε αν μια τέτοια πλοηγική υποστήριξη λάμβανε υπόψη πληροφορίες πραγματικού χρόνου για τα συμβάντα διαταραχής από ανιχνευτικά οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο. Η ανάλυση βασίστηκε σε μια τεράστια βάση δεδομένων πραγματικών κυκλοφοριακών μοτίβων οδήγησης στο οδικό δίκτυο του Lund στη Σουηδία. Βασιζόμενος σε 15.437 περιπτώσεις, ο παράγοντας κατανάλωσης καυσίμου για 22 κατηγορίες δρόμου, σε ώρες αιχμής και μη-αιχμής, υπολογίστηκε για τρεις τύπους αυτοκινήτων, χρησιμοποιώντας δυο μηχανιστικά μοντέλα εκπομπής. Σε κάθε τμήμα του οδικού δικτύου, σε έναν ψηφιοποιημένο χάρτη, αποδόθηκε μια μέση κατανάλωση καυσίμου για ώρες αιχμής και μη-αιχμής, που βασιζόταν στην κατηγορία του δρόμου και στις συνθήκες κυκλοφοριακής ροής. Για να αξιολογήσουμε τις δυνατότητες ενός συστήματος πλοήγησης που εξοικονομεί καύσιμο έγινε εξαγωγή από τη βάση δεδομένων των διαδρομών 109 πραγματικών ταξιδιών με διάρκεια πάνω από 5 λεπτά. Χρησιμοποιώντας το εξωτερικό πρόγραμμα του Esri το ArcGIS, το Arcview και την εξωτερική μονάδα Network Analysis, πήραμε και συγκρίναμε την πιο οικονομική σε καύσιμα διαδρομή με την αρχική διαδρομή, καθώς και με διαδρομές που προήλθαν από κριτήρια που αφορούν τον λιγότερο χρόνο και την κοντινότερη απόσταση. Εξετάστηκε επίσης η δυνατότητα για επιπρόσθετα θετικά αποτελέσματα στην περίπτωση που το σύστημα εφαρμόζεε δεδομένα πραγματικού χρόνου που αφορούσαν την κυκλοφοριακή κατάσταση μέσω 120 εικονικών ανιχνευτικών οχημάτων που διέτρεχαν το οδικό δίκτυο. Βρέθηκε ότι για το 46% των ταξιδιών στο Lund η αυθόρμητη επιλογή των οδηγών δεν ήταν η πιο αποδοτική σε εξοικονόμηση καυσίμου. Σε αυτά τα ταξίδια θα μπορούσε να είχε εξοικονομηθεί, κατά μέσο όρο, 8.2% του καυσίμου χρησιμοποιώντας ένα σύστημα πλοήγησης βελτιωμένο ως προς το καύσιμο. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση 4% για όλα τα ταξίδια στο Lund. Όσο αφορά τις δυνατότητες για πραγματικές πληροφορίες από ανιχνευτικά οχήματα, βρέθηκε ότι η συχνότητα των διαταραγμένων τμημάτων στο Lund





ήταν πολύ μικρή και άρα το ίδιο ίσχυε για την δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου. Παρουσιάζεται όμως μια μεθοδολογία που θέτει την δομή των βημάτων που είναι απαραίτητα για την ανάλυση ενός τέτοιου συστήματος. Οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η πληροφορία για την κυκλοφορία σε πραγματικό χρόνο μπορεί να εξοικονομήσει καύσιμα σε πιο συμφορημένες περιοχές αν ένα αρκετά μεγάλο μέρος των γεγονότων διαταραχής μπορεί να αναγνωρισθεί και να αναφερθεί σε πραγματικό χρόνο.

2.6.1. Εισαγωγή

Στις μέρες μας, η εκπομπή CO₂, που είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατανάλωση καυσίμου βασισμένο σε άνθρακα, θεωρείται μια από τις πιο σοβαρές απειλές στο περιβάλλον λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σε όλον τον κόσμο οι μετακινήσεις είναι υπεύθυνες για ,περίπου, το 21% της εκπομπής CO₂ παρόλο που υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διάφορες περιοχές του κόσμου (Gorham, 2002). Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA (2003)) οι μετακινήσεις είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, πιο συγκεκριμένα CO₂ and N₂O, στην Ε.Ε., και οι οδικές μετακινήσεις είναι η μακράν μεγαλύτερη πηγή εκπομπών στον μεταφορικό τομέα (92% το 2001).

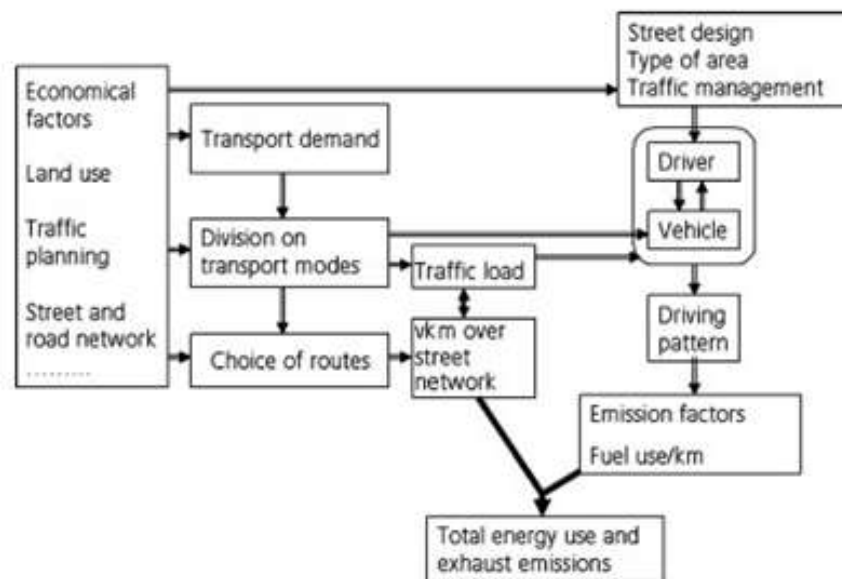
Η ζήτηση για μετακίνηση είναι ο βασικός παράγοντας που καθορίζει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, βλ. Σχ. 1. Η ζήτηση με τη σειρά της επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, για παράδειγμα από την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, από παράγοντες χρήσης της γης, τον κυκλοφοριακό σχεδιασμό κλπ. Η επιλογή του τρόπου μετακίνησης και της διαδρομής καθορίζει το κυκλοφοριακό φορτίο στο οδικό δίκτυο, που εκφράζεται ως χιλιόμετρα οχήματος. Ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την συνολική χρήση καυσίμου είναι ο ειδικός παράγοντας κατανάλωσης καυσίμου (specific fuel consumption factor) (FCF) (litre/10 km) και οι παράγοντες εκπομπής (g/km) των οχημάτων. Η ειδική εκπομπή και κατανάλωση καυσίμου εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος αλλά και τον τρόπο με τον οποίο το όχημα οδηγείται, πχ, πως ο οδηγός χρησιμοποιεί το γκάζι, τα φρένα και πως αλλάζει ταχύτητα σε διαφορετικές καταστάσεις. Αυτό με την σειρά του επηρεάζεται από το τοπικό περιβάλλον (πχ. τη λειτουργία και τον σχεδιασμό του δρόμου, το είδος των διασταυρώσεων, το είδος της γειτονιάς της περιοχής, Brundell-Freij and Ericsson, 2005) και από τις κυκλοφοριακές συνθήκες στις οποίες αυτός/αυτή οδηγεί. Άρα το οδηγικό μοτίβο επηρεάζεται και από τις πιο στατικές ιδιότητες του οδικού δικτύου και από τις πιο δυναμικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Για να αρχειοθετήσουμε ένα περιβαλλοντικά βιώσιμο σύστημα μετακίνησης πρέπει να ληφθούν μέτρα σε όλους τους κρίκους της αλυσίδας, από την ζήτηση μετακίνησης μέχρι την χρήση των οχημάτων που προκαλούν αυτές τις εκπομπές. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στο κατά πόσο είναι δυνατόν να επηρεαστεί η συνολική





κατανάλωση καυσίμου ανά όχημα και ταξίδι επηρεάζοντας τα παχιά βέλη, Σχ.1, αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι η κοντινότερη απόσταση δεν ταυτίζεται πάντα με την πιο οικονομική σε καύσιμα διαδρομή.

Στις μέρες μας, τα εργαλεία οδηγικής υποστήριξης που έχουν σκοπό την αύξηση της κυκλοφοριακής ασφάλειας, την παροχή πρακτικών πληροφοριών και καθοδήγησης στον οδηγό, ή την εξοικονόμηση χρόνου, γίνονται όλο και πιο κοινά. Παρόλο που μερικά εργαλεία υποστήριξης οδηγού έχουν αξιολογηθεί όσο αφορά τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, λίγα εργαλεία υποστήριξης οδηγού έχουν ως πρωταρχικό στόχο την μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων του ταξιδιού. Μια εξαίρεση είναι η υποκείμενη μελέτη του van der Vort(2001) που παρουσιάζει ένα πρωτότυπο εργαλείο αποδοτικότητας καυσίμου που υποστηρίζει ένα στυλ οδήγησης βασισμένο στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω συμβουλών προς τον οδηγό για το πότε να αλλάξει ταχύτητα και πότε να επιταχύνει. Η λογική αυτού του εργαλείου λαμβάνει υπόψη και την τακτική και την στρατηγική πλευρά της οδήγησης. Η αξιολόγηση σε έναν προσομοιωτή οδήγησης έδειξε μια συνολική δυνατότητα μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου κατά 16%.



Σχ. 1. Ένα μοντέλο για τον τρόπο παραγωγής εκπομπών οχημάτων και κατανάλωσης καυσίμου. Αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στην συνολική κατανάλωση ανά ταξίδι με τον συνδυασμό των παραγόντων των km του οχήματος και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου που παρουσιάζονται με τα παχιά βέλη (Ericsson, 2001).

Η κατανάλωση καυσίμου για ένα συγκεκριμένο ταξίδι δεν επηρεάζεται μόνο από την απόσταση που διανύεται αλλά επίσης από το οδηγικό μοτίβο του αυτοκινήτου ,πχ. την ταχύτητα, την επιτάχυνση και την αλλαγή ταχυτήτων, στα τμήματα δρόμου που αυτό περιλαμβάνει. Αυτή η εργασία είχε ως στόχο τον υπολογισμό της δυνατότητας μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών CO₂ μέσω της υποστήριξης του οδηγού όσο αφορά την πλοήγηση





όπου η βελτίωση της επιλογής διαδρομής βασίζεται στο χαμηλότερο σύνολο κατανάλωσης καυσίμου (αντί του συνήθους συντομότερου χρόνου ή απόστασης). Ακόμα ο στόχος ήταν να υπολογιστεί το επιπρόσθετο αποτέλεσμα που θα είχαμε αν μια τέτοια πλοηγική υποστήριξη λάμβανε υπόψη πληροφορίες πραγματικού χρόνου για τα συμβάντα διαταραχής που εντοπίζονταν από ανιχνευτικά οχήματα που κινούνται στο οδικό δίκτυο. Το σημείο εκκίνησης είναι η προηγούμενη έρευνά μας για το πως τα οδηγικά μοντέλα ποικίλλουν ανάλογα με το περιβάλλον του δρόμου (λειτουργία του δρόμου, γεωμετρικός σχεδιασμός και συνθήκες κυκλοφοριακής ροής), και πως αυτό επηρεάζει τις εκπομπές και την κατανάλωση καυσίμου σε μεμονωμένα οχήματα.

Οι αναλύσεις στην παρούσα έρευνα βασίστηκαν σε μια τεράστια βάση δεδομένων πραγματικών οδηγικών μοτίβων που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης κλίμακας δοκιμής που σχετιζόταν με την «έξυπνη» προσαρμογή ταχύτητας (intelligent speed adaptation) (ISA) στην πόλη του Lund στη Σουηδία. Η περιοχή της έρευνας περιλάμβανε την ανοικοδομημένη περιοχή του Lund, βλ. Σχ. 2, μια μεσαιωνική πόλη με πληθυσμό 78.000 κατοίκων, χαρακτηριστική λόγω του πανεπιστημίου της. Ένα παράδειγμα άλλων συλλογών δεδομένων με γενικούς στόχους να καταγράψουν δεδομένα αντιπροσωπευτικής οδηγικής συμπεριφοράς είναι η σουηδική μελέτη οδηγικών μοτίβων και η πρωτοβουλία Commute Atlanta που περιλαμβάνει την συλλογή και ανάλυση δεδομένων ανά δευτερόλεπτο για την ταχύτητα, τη θέση και την λειτουργία της μηχανής του οχήματος.

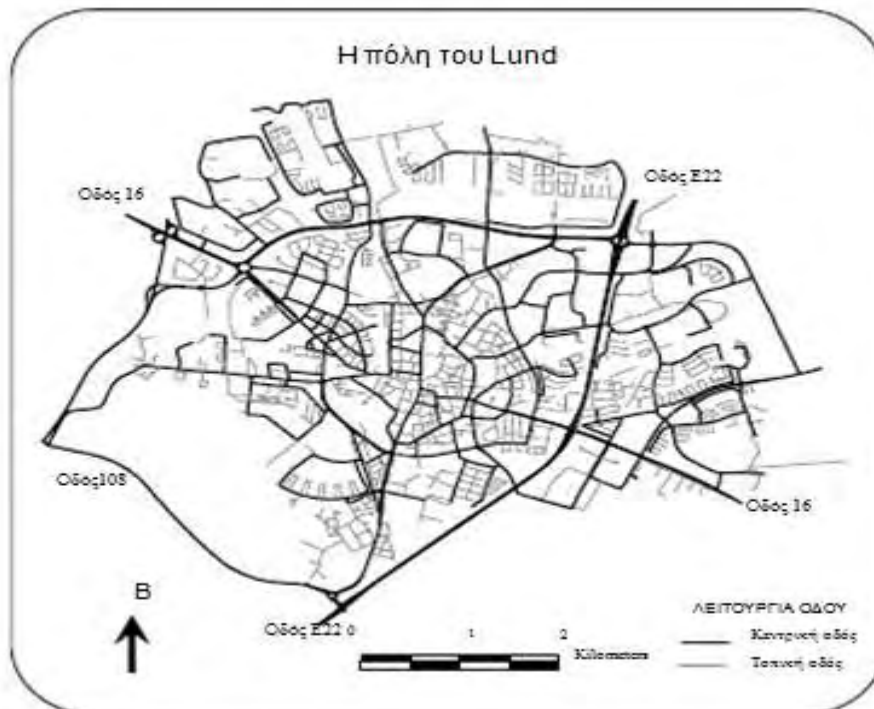
Βάση 15.437 περιπτώσεων δεδομένων από τη δοκιμή ISA, υπολογίστηκε ο FCF για 22 κατηγορίες δρόμων, σε διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες, σε ώρες αιχμής και μη-αιχμής, για τρία αυτοκίνητα, χρησιμοποιώντας δυο μοντέλα εξομίωσης οχημάτων βασισμένα σε αναλυτικούς χάρτες μηχανής. Σε κάθε τμήμα του δρόμου του οδικού δικτύου του Lund αποδόθηκε ένας μέσος FCF για ώρες αιχμής και μη, βάση της κατηγορίας του δρόμου του και των συνθηκών κυκλοφοριακής ροής.

Για να αξιολογήσουμε τις δυνατότητες του συστήματος πλοήγησης που εξοικονομεί καύσιμα εξάγαμε από την βάση δεδομένων τις διαδρομές 109 πραγματικών ταξιδιών. Χρησιμοποιώντας το εξωτερικό πρόγραμμα του ESRI το ArcGIS, ArcView και την εξωτερική μονάδα Network Analysis, δημιουργήθηκαν και συγκρίθηκαν με την αρχική διαδρομή τρεις εναλλακτικές διαδρομές βασισμένες (1) στον μικρότερο χρόνο, (2) στην μικρότερη απόσταση, και (3) στην χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον υπολογίστηκε η δυνατότητα για επιπρόσθετη εξοικονόμηση καυσίμου στην περίπτωση που το σύστημα πλοήγησης μπορούσε να συνυπολογίσει δεδομένα πραγματικού χρόνου από ανιχνευτικά οχήματα που διατρέχουν το σύστημα. Η σκέψη ήταν να γίνει αλλαγή της διαδρομής του ταξιδιού αν





υπήρχε η εκτίμηση ότι οι κυκλοφοριακές διαταραχές που συνέβαιναν στην αρχική διαδρομή ευνοούσαν την κατανάλωση καυσίμου.



Σχ. 2. Το οδικό δίκτυο, κεντρικοί και τοπικοί οδοί, στην πόλη του Lund.

Υπολογίστηκε η δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου για ένα στατικό και ένα δυναμικό σύστημα. Επίσης παρακολουθήθηκε η επίδραση του χρόνου και της απόστασης που διανύθηκε καθώς χρησιμοποιούνταν η πλοήγηση που εξοικονομεί καύσιμα.

2.6.2. Υλικό

Στην δοκιμή του ISA στο Lund, από το 1999 έως το 2002, 284 οχήματα εξοπλήστηκαν με μια μονάδα πλοήγησης με ψηφιακό χάρτη και ένα καταγραφέα δεδομένων που κατέγραφε την οδηγική συμπεριφορά. Το οδηγικό μοτίβο καταγραφόταν σε κάθε αυτοκίνητο πριν και μετά την εγκατάσταση ενός δραστικού πεντάλ επιτάχυνσης (active accelerator pedal) (AAP), το οποίο εμπόδιζε τον οδηγό απ' το να επιταχύνει. Το σύνολο των οδηγών βασίστηκε σε ένα τυχαίο δείγμα ιδιοκτητών αυτοκινήτων στο Lund (η επιλογή έγινε από το κοινό, 246 ιδιωτικά οχήματα, και από ιδιωτικές εταιρίες στο Lund, 38 εταιρικά αυτοκίνητα) και ο εξοπλισμός χρησιμοποιούνταν συνήθως πέντε με έντεκα μήνες: έναν πριν την εγκατάσταση του AAP, και οι υπόλοιποι μετά. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα δεδομένα που λήφθηκαν πριν την εγκατάσταση του AAP. Χαρακτηριστικά δεδομένα που αφορούσαν την ταχύτητα του οχήματος, την ταχύτητα της μηχανής και τη θέση μέσω GPS (global positioning system) καταγράφονταν πέντε φορές το δευτερόλεπτο και αποθηκεύονταν σε μια βάση δεδομένων MS SQL. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του GPS, η θέση του οχήματος μπορούσε να





συγκριθεί με τη θέση στον ψηφιακό χάρτη. Κάθε τμήμα του δρόμου στην περιοχή της έρευνας είχε έναν μοναδικό αριθμό-κλειδί που χρησιμοποιούσαν για να συνδέσει τα οδηγικά μοτίβα από την βάση του ISA στα κατηγοριοποιημένα τμήματα του δρόμου.

Οι στατικές πληροφορίες για τον δρόμο, όπως τοπικό περιβάλλον, λειτουργία του δρόμου, σηματοδοτημένο όριο ταχύτητας, θέση μέτρων ανακούφισης της κυκλοφορίας, θέση κυκλοφοριακών σημάτων και συνθήκες κυκλοφοριακής ροής(βασισμένα σε μια μέση καθημερινή κυκλοφορία (average daily traffic),(ADT)) συλλέχθηκαν σε κάθε τμήμα του δρόμου στην περιοχή της έρευνας από μια σχετική μελέτη του Smidfelt Rosqvist (2003) και από τον δήμο του Lund.

2.6.3. Μέθοδος

Αυτό το τμήμα έχει πέντε μέρη. Το πρώτο μέρος εισάγει τους διαφορετικούς τύπους δρόμων και την βάση πάνω στην οποία αυτοί κατηγοριοποιήθηκαν. Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται ο υπολογισμός του FCF για κάθε τύπο δρόμου, βάση πραγματικών κυκλοφοριακών οδηγικών μοτίβων, καθώς και η εφαρμογή των παραγόντων σε έναν πίνακα χαρακτηριστικών που ήταν συνδεδεμένος με το ψηφιακό οδικό δίκτυο. Στο τρίτο μέρος, περιγράφεται η μέθοδος, που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη δυνατότητας εξοικονόμησης καυσίμου μέσω της επιλογής μιας διαδρομής βασισμένης στην χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου, σε σύγκριση με εκείνη που είναι βασισμένη στην μικρότερη απόσταση ή στον μικρότερο χρόνο. Το τέταρτο μέρος περιγράφει την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για να μελετηθεί η πιθανή εξοικονόμηση καυσίμου με την χρήση πληροφοριών πραγματικού χρόνου από ανιχνευτικά οχήματα.

Κατηγοριοποίηση τύπων δρόμου

Σε αυτή τη μελέτη η κατηγοριοποίηση του τύπου των δρόμων βασίζεται σε έξι διαφορετικά κριτήρια. Τα πρώτα πέντε κριτήρια είναι στατικά και περιγράφουν την λειτουργία και την προέλευση του οδικού δικτύου από πλευράς: λειτουργίας του δρόμου, είδους του περιβάλλοντος, ορίου ταχύτητας, πυκνότητας κυκλοφοριακών σημάτων, μέτρων ανακούφισης της κυκλοφορίας, ενώ το έκτο κριτήριο περιγράφει την κυκλοφοριακή ροή σε ώρες αιχμής και μη.

Τα έξι χαρακτηριστικά βασίζονται σε ιδιότητες που έχει αποδειχτεί σε προηγούμενες έρευνες ότι είναι πολύ σημαντικές για τους παράγοντες εκπομπής και κατανάλωσης καυσίμου, αλλά επίσης και στον συνδυασμό των τύπων δρόμου στην περιοχή έρευνας και στον βαθμό που θα μπορούσε να βοηθήσει η βάση δεδομένων του ISA με αρκετά δεδομένα. Μερικοί όμως από





αυτούς τους τύπους των δρόμων είναι αρκετά σπάνιοι και σε μερικούς συνδυασμούς δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα, επομένως μερικοί τύποι δρόμων συγχωνεύθηκαν. Ο τελικός αριθμός των στατικών τύπων δρόμου ήταν 22, ή 61 όταν περιλαμβάνονταν οι συνθήκες ροής κυκλοφορίας.

Λειτουργία δρόμου: η κατηγοριοποίηση κατά λειτουργία αφορά τμήματα του δρόμου που έχουν καθοριστεί είτε ως τμήματα μιας κεντρικής οδού ή λεωφόρου ή ως τμήματα του τοπικού οδικού δικτύου. Χαρακτηριστικό του τοπικού οδικού δικτύου είναι το ότι αυτά τα τμήματα ανήκουν στο κεντρικό οδικό δίκτυο, πχ. μπορεί να έχουν σήματα Στοπ, σήματα παραχώρησης προτεραιότητας ή χαμηλής προτεραιότητας σε διασταυρώσεις που ελέγχονται από φωτεινούς σηματοδότες. Στο σύνολό του το τοπικό οδικό δίκτυο αποτελεί το 47% του οδικού δικτύου που μελετήθηκε στο Lund.

Είδος περιβάλλοντος: το είδος του περιβάλλοντος καθορίζεται από τον οικισμό στην γειτονιά όπου βρίσκεται ο δρόμος και περιλαμβάνει το κέντρο της πόλης (κεντρική περιοχή επαγγελματικών δραστηριοτήτων (central business district, CBD), κατοικημένες περιοχές και άλλα είδη περιοχών (για παράδειγμα, βιομηχανικές περιοχές και γειτονιές που μπορούν να χαρακτηριστούν ως περιοχές επικοινωνίας).

Όριο ταχύτητας: το όριο ταχύτητας στην περιοχή έρευνας ήταν 30, 50, 70, 90 ή 110 km/h. Λόγω των ισχυρών οδηγικών μοτίβων ή του αριθμού των τμημάτων σε κάποιες ομάδες, τα όρια ταχύτητας των 30 και 50 km/h έπρεπε να συγχωνευθούν σε οκτώ περιπτώσεις.

Πυκνότητα σε διασταυρώσεις ελεγχόμενες από φωτεινούς σηματοδότες:

Η πυκνότητα των διασταυρώσεων που ελέγχονται από φωτεινούς σηματοδότες επηρεάζει τα οδηγικά μοτίβα και άρα την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές σε αρκετά σημαντικό βαθμό. Η κατηγοριοποίηση το οδικού δικτύου έχει επομένως χωριστεί σε τρεις ομάδες. Η ομάδα (1) αποτελείται από τμήματα δρόμου χωρίς φυσική σύνδεση με κάποια διασταύρωση που ελέγχεται με φωτεινούς σηματοδότες, η ομάδα (2) αποτελείται από τμήματα ανάμεσα σε δυο διασταυρώσεις που ελέγχονται με φωτεινούς σηματοδότες ,που απέχουν περισσότερο από 200 m ή από τμήματα που απέχουν περισσότερο από 100 m ανάμεσα σε μια διασταύρωση που ελέγχεται με φωτεινούς σηματοδότες και σε οποιαδήποτε άλλη διασταύρωση, και η ομάδα (3) που αποτελείται από τμήματα μικρότερα από 100 m ,ανάμεσα σε μια διασταύρωση που ελέγχεται με φωτεινούς σηματοδότες και οποιαδήποτε άλλη διασταύρωση ή που η απόσταση ανάμεσα στις δυο διασταυρώσεις ελέγχεται από φωτεινούς σηματοδότες σε λιγότερα από 200 m.

Μέτρα ανακούφισης της κυκλοφορίας: προηγούμενες μελέτες για τις επιδράσεις των μέτρων ανακούφισης κυκλοφορίας στην κατανάλωση





καυσίμου και τις εκπομπές δείχνουν ότι η κατανάλωση καυσίμου για ένα ολόκληρο ταξίδι μειώνεται όταν περνούν μέτρα ανακούφισης κυκλοφορίας. Σε αυτή τη μελέτη οι δρόμοι κατηγοριοποιούνται σε δυο ομάδες, αυτούς με μέτρα ανακούφισης της κυκλοφορίας και εκείνους άνευ μέτρων.

Ροή κυκλοφορίας: Τα τμήματα του δρόμου και τα οδηγικά μοτίβα που συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τις συνθήκες ροής της κυκλοφορίας. Για οδούς για τις οποίες ήταν διαθέσιμη η ADT τα οδηγικά μοτίβα και ο FCF χωριστήκαν σε τρεις ομάδες. Οι ομάδες αυτές ήταν (1) ροή ταχύτητας μικρότερη από 200 οχήματα/ώρα ανά λωρίδα, (2) ανάμεσα σε 200 και 700 οχήματα/ώρα ανά λωρίδα, και (3) μεγαλύτερη από 700 οχήματα/ώρα ανά λωρίδα. Η κατηγοριοποίηση βασίστηκε στις καμπύλες για την ωριαία ροή κυκλοφορίας που υπολογίστηκαν από τα κλάσματα για τις ημερήσιες και εβδομαδιαίες διακυμάνσεις στην ADT. Τα κλάσματα για την ροή οχημάτων που προήλθαν από τον Jensen (1997) χρησιμοποιήθηκαν για δρόμους εκτός του CBD ενώ τα κλάσματα που υπολογίστηκαν μέσω Ekman (2000) χρησιμοποιήθηκαν για δρόμους μέσα στο CBD. Για δρόμους στους οποίους η ADT ήταν γνωστή ο FCF μπορούσε λοιπόν να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την κατηγορία ροής που θα σχετιζόταν με μια πραγματική ώρα της ημέρας, όταν δηλαδή γινόταν το ταξίδι. Για τους οδικούς συνδέσμους για τους οποίους η ADT δεν ήταν διαθέσιμη, χρησιμοποιήθηκε μόνο μια κατηγορία κυκλοφορίας ροής (καταγεγραμμένη 0 στο Σχ. 4) και σε ώρες αιχμής και σε ώρες μη αιχμής. Τέλος οι συνθήκες ροής της κυκλοφορίας σε κάθε τμήμα του δρόμου κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με το αν ήταν ώρες αιχμής ή όχι, Πίνακας 1, ανάλογα με τις κατηγορίες ροής (1)–(3). Στα τμήματα του δρόμου στα οποία έλειπε η ADT δόθηκε η ίδια κατηγορία ροής (0) για τις ώρες αιχμής και για τις ώρες μη αιχμής. Στο Σχήμα. 4 οι παρατηρούμενες κατηγορίες ροής σημειώνονται 0–3.

Υπολογισμός παραγόντων κατανάλωσης καυσίμου (fuel consumption factors (FCF's) για κάθε κατηγορία δρόμου

Πολλά οδηγικά μοτίβα ,βάση των 22 στατικών κατηγοριών, προήλθαν από την βάση δεδομένων ISA. Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε ώρες αιχμής και μη-αιχμής και επίσης οι ίδιες οι κατηγορίες ροής χωρίστηκαν σε δυο ομάδες αντιστοίχως. Αυτή η διαδικασία σχημάτισε 61 κατηγορίες εξωτερικών περιβαλλόντων για τον υπολογισμό του FCF. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκε η μέση κατανάλωση (litres/10 km) και συνδέθηκε με τον κατηγοριοποιημένο χάρτη.

Η βάση δεδομένων ISA είναι εξαιρετικά εκτενής και ,λόγω περιορισμών στην χωρητικότητα του υπολογιστή, δεν ήταν δυνατόν να την χρησιμοποιήσουμε το σύνολό της. Για την παρούσα μελέτη, πήραμε οδηγικά μοτίβα για κάθε αυτοκίνητο από την εβδομάδα πριν από εκείνη που εγκαταστάθηκε το AAP. Στόχος ήταν να πάρουμε τουλάχιστον 7 ώρες οδηγικών μοτίβων από την





κάθε μια από τις 22 κατηγορίες οδών έτσι ώστε να πάρουμε την εκτίμηση του FCF για κάθε κατηγορία δρόμου σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Για μερικές κατηγορίες δρόμου αυτή η πρώτη εξαγωγή δεδομένων δεν είχε ως αποτέλεσμα αρκετά δεδομένα. Για αυτές τις κατηγορίες εξήχθησαν επιπλέον δεδομένα μέχρι να δημιουργηθεί, για την παρούσα έρευνα, μια βάση δεδομένων αποτελούμενη από 15 437 οδηγικά μοτίβα πραγματικής κυκλοφορίας με κώδικες για την κατηγορία του δρόμου και την ώρα της ημέρας.

Πίνακας 1 Ώρες αιχμής στην περιοχή μελέτης, άλλες ώρες της ημέρας δεν είναι ώρες αιχμής

	Οδοί εκτός CBD	Οδοί εκτός CBD
Δευτέρα-Παρασκευή	16:00-18:59	07:00-08:59 15:00-16:59
Σάββατο	11:00-14:59	11:00-14:59
Κυριακή	13:00-18:59	12:00-14:59 17:00-17:59

Επεξεργαστήκαμε κάθε καταγεγραμμένο οδηγικό μοτίβο χρησιμοποιώντας λογική παλινδρόμηση kernel για να φιλτράρουμε τα δεδομένα της ταχύτητας έτσι ώστε να μειωθεί το αποτέλεσμα των μικρών ανακρίβειών που προέρχονται από την καταγραφή των δεδομένων της ταχύτητας. Αυτή η μέθοδος υπολογίζει το προφίλ της επιτάχυνσης από καταμετρημένα δεδομένα ταχύτητας ενώ ελαχιστοποιεί την διακύμανση και την προκατάληψη του υπολογισμού. Για κάθε οδηγικό μοτίβο υπολογίστηκε μια ομάδα κινηματικών παραμέτρων, για παράδειγμα το μέσο σύνολο του χρόνου σταματήματος (ταχύτητα < 2 km/h) , οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν αργότερα στο μέρος που διερευνά το πιθανό αποτέλεσμα της λήψης κυκλοφοριακών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο από ανιχνευτικά οχήματα. Τμήμα 3.4.

Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε για κάθε ξεχωριστό οδηγικό μοτίβο χρησιμοποιώντας δυο μοντέλα προσομοίωσης οχημάτων(μοντέλα χάρτη μικροσκοπικής μηχανής). Αυτό το είδος μοντέλων χρησιμοποιεί λεπτομερή προφίλ ταχύτητας(ανά δευτερόλεπτο) ενός οχήματος για να υπολογίσει την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές για το κάθε όχημα ξεχωριστά σε συγκεκριμένα ταξίδια. Τα μοντέλα κάνουν υπολογισμούς που βασίζονται στους χάρτες μηχανών και σε άλλες ειδικές παραμέτρους του οχήματος. Ένα από τα μοντέλα, το VeTESS αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου του DECADE 5ου Προγράμματος Ευρωπαϊκού Πλαισίου. Το άλλο μοντέλο, το VETO, αναπτύχθηκε στο Σουηδικό Ινστιτούτο Εθνικών Οδών και Έρευνας Μεταφορών. Και δυο μοντέλα έχουν αξιολογηθεί όσο αφορά τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών σε σύγκριση με τα καταμετρημένα δεδομένα. Άλλα παραδείγματα αυτού του είδους του μοντέλου εκπομπής είναι το Phem (Passenger car and Heavy duty Emission Model, Μοντέλο Εκπομπών Επιβατικών οχημάτων και Βαριάς χρήσης) που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Graz .





Για αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τρία οχήματα (βλ. χάρτες μηχανής και άλλες οδηγικές παραμέτρους) για να υπολογιστεί η κατανάλωση καυσίμου: ένα Volvo 940 (χρησιμοποιώντας το μοντέλο VETO), και ένα VW Polo 16V και ένα Skoda Octavia Diesel (χρησιμοποιώντας το μοντέλο VeTESS). Έτσι για κάθε ένα απ τα 15.437 οδηγικά μοτίβα η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε για τρία διαφορετικά οχήματα, ένα μεγάλο και ένα μικρό πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο και ένα μεσαίο πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο. Ο αριθμός των τριών αυτοκινήτων είναι πιθανόν να είναι πολύ μικρός για να περιγράψει την λεπτομερή συμπεριφορά ενός στόλου οχημάτων όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου. Όμως για να μπορέσουμε να κάνουμε μοντέλα περισσότερα αμάξια έπρεπε να υπήρχαν στην διάθεσή μας περισσότεροι χάρτες μηχανών, κάτι που δεν ήταν εφικτό. Όμως αφού η κατανάλωση καυσίμου έδειχνε μεγαλύτερη σταθερότητα ανάμεσα στα μοντέλα αυτοκινήτων απ' ότι στις εκπομπές των εξατμίσεων η χρήση τριών αυτοκινήτων διαφορετικού μεγέθους και απόδοσης θεωρήθηκε επαρκής για τον υπολογισμό των πιθανών επιδράσεων των διαφορετικών υποστηρικτικών εργαλείων οδηγών. Ένας μετρημένος μέσος FCF υπολογίστηκε για κάθε περίπτωση, βάση το πόσο συχνά συναντάμε τους τρεις τύπους αυτοκινήτων στην Σουηδία, δίνοντας 56.7% στα μεγάλα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, 38.6 στα μικρά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα και 4.7% στα ντιζελοκίνητα αυτοκίνητα .

Ο μετρημένος μέσος FCF για κάθε περίπτωση (ένα οδηγικό μοτίβο σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δρόμου) συναθροίστηκε στις 61 κατηγορίες δρόμου και κυκλοφοριακών συνθηκών σε ένα μέσο όρο κατανάλωσης καυσίμου (litres/km) για κάθε κατηγορία. Αυτές οι τιμές συνδέθηκαν με τον ψηφιακό χάρτη και υπολογίστηκε το σύνολο της κατανάλωσης καυσίμου ανά όχημα σε κάθε τμήμα πολλαπλασιάζοντας τον μέσο όρο κατανάλωσης καυσίμου (litres/km) με το μήκος του τμήματος (km). Υπολογίστηκαν δυο τιμές για κάθε τμήμα, μια για τις ώρες αιχμής και μια για τις μη-αιχμής. Οι τιμές εξαρτιόταν από το σε ποια από τις τρεις καθιερωμένες κατηγορίες κυκλοφοριακής ροής(ή στην κατηγορία όπου δεν ήταν διαθέσιμη η ADT) ανήκε κάθε τμήμα, σε ώρες αιχμής ή μη-αιχμής.

Μέθοδος σύγκρισης επιλογής διαφορετικών διαδρομών

Κάθε ταξίδι που περιλαμβάνεται στην δοκιμή του ISA έχει έναν μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης. Από αυτήν την λίστα των αριθμών έγινε τυχαία εξαγωγή μιας ομάδας πραγματικών ταξιδιών και σημειώθηκαν τα σημεία εκκίνησης και προορισμού τους. Κατά αυτή την έννοια ταξίδι είναι η περίοδος ανάμεσα στο άνοιγμα και στο σβήσιμο της μηχανής. Μερικές φορές ο εξοπλισμός GPS έχανε την επαφή με τους δορυφόρους και το ταξίδι έτσι διακόπτονταν. Εάν το GPS ξαναέβρισκε σήμα αυτό θα καταγραφόταν σαν ένα νέο ταξίδι. Επομένως, εκτός από τον τεράστιο αριθμό πραγματικών ταξιδιών,





η βάση δεδομένων περιλαμβάνει επίσης πολλά σύντομα, ανολοκλήρωτα ταξίδια. Εξαιτίας αυτού και αφού είναι λιγότερο πιθανόν τα πολύ σύντομα ταξίδια να χρειάζονταν καθοδήγηση στον δρόμο, βάλαμε στα ταξίδια ελάχιστο όριο διάρκειας 5 λεπτών. Επίσης, σύμφωνα με την αντιστοίχιση του χάρτη, η δομή της βάσης δεδομένων δεν ήταν εντελώς απλή, οπότε κάθε ταξίδι χρειαζόταν χειροκίνητο έλεγχο περιορίζοντας έτσι περαιτέρω τον αριθμό των ταξιδιών. Αυτή η χειροκίνητη διαδικασία περιελάμβανε τον αποκλεισμό ταξιδιών στα οποία η διαδρομή δεν είχε συγκεκριμένο σημείο εκκίνησης και τερματισμού, για παράδειγμα αν ο οδηγός έκανε μια παράκαμψη. Στο σύνολο, έγινε εξαγωγή 109 πραγματικών ταξιδιών, από τα οποία 50 έδειξαν κάποια διαφοροποίηση στην κατανάλωση καυσίμου ανάμεσα στην πραγματική διαδρομή και την διαδρομή στην οποία είχαν επέλθει βελτιώσεις με σκοπό την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου. Από τα 50 ταξίδια, 35 έγιναν σε ώρες μη-αιχμής και 15 σε ώρες αιχμής. Το πρώτο και το τελευταίο τμήμα του δρόμου αφαιρέθηκαν από κάθε ταξίδι για να επιβεβαιωθεί το ότι η απόσταση του ταξιδιού θα ήταν αντίστοιχη με την απόσταση του τμήματος του δρόμου στον ψηφιακό χάρτη.

Αυτό σημαίνει ότι μερικές κατηγορίες αντιπροσωπεύονται λιγότερο στην πραγματικότητα, για παράδειγμα τα τμήματα δρόμου που κατηγοριοποιούνται ως κατοικημένες περιοχές, που είναι μια συνηθισμένη κατηγορία σε αυτόν τον τύπο περιβάλλοντος.

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο ανάλυσης στο πρόγραμμα ArcView του ESRI, το οποίο βασίζεται στον αλγόριθμο Dijkstras, οι διαδρομές ανάμεσα στην εκκίνηση και στον προορισμό για τα 50 ταξίδια βελτιώθηκαν όσο αφορά: (1) την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου, (2) τον συντομότερο χρόνο, και (3) την κοντινότερη απόσταση. Η κατανάλωση καυσίμου, ο χρόνος και η απόσταση συγκρίθηκαν για τις τρεις διαδρομές.

Η συνολική κατανάλωση καυσίμου για το ένα ταξίδι (T) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την Εξ. (1)

$$T = \sum_{i=0}^n (\text{σύνδεσμος μήκους} * \text{παράγοντα κατανάλωσης καυσίμου}) \quad (1)$$

όπου T , συνολική κατανάλωση καυσίμου για ένα ταξίδι· n , αριθμός τμημάτων που περιλαμβάνονται στο ταξίδι· i , τύπος του τμήματος.

Για κάθε μια από τις βελτιωμένες παραμέτρους υπολογίστηκαν οι άλλες δύο. Για παράδειγμα, όταν η διαδρομή βελτιώθηκε για τον συντομότερο χρόνο, υπολογίστηκαν η απόσταση και η κατανάλωση.





Μέθοδος για την μελέτη της δυνατότητας εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες πραγματικού χρόνου από ανιχνευτικά οχήματα.

Η πρώτη φάση αυτής της μελέτης διερεύνησε τα αποτελέσματα ενός στατικού συστήματος πλοήγησης όταν υπολογιζόταν η διαδρομή μεγαλύτερης εξοικονόμησης καυσίμου βάση του σταθερού FCF ανάλογα με την κατηγορία του δρόμου και τις συνθήκες μέσης κυκλοφοριακής ροής σε ώρες αιχμής και μη-αιχμής, βασισμένη σε ιστορικά δεδομένα. Αυτό το σύστημα δεν λαμβάνει υπόψη την προσωρινά αυξημένη κατανάλωση καυσίμου σε ένα συγκεκριμένο τμήμα λόγω συμφόρησης ή άλλων διαταραχών στην κυκλοφοριακή ροή.

Η δεύτερη φάση της μελέτης είχε στόχο τον υπολογισμό της δυνατότητας επιπρόσθετης εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες πραγματικού χρόνου από ανιχνευτικά οχήματα που διατρέχουν το οδικό δίκτυο. Αυτό θα έδινε ένα δυναμικό σύστημα καθοδήγησης διαδρομής. Η δυναμική καθοδήγηση διαδρομής μπορεί να κατηγοριοποιηθεί είτε σε δυναμική καθοδήγηση διαδρομής πολλαπλών οχημάτων (ευρύ σύστημα) που καθοδηγεί όλα τα οχήματα στο οδικό δίκτυο ενώ ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ταξιδιού για όλα τα οχήματα ή δυναμική καθοδήγηση διαδρομής ανά όχημα που καθοδηγεί και ελαχιστοποιεί το κόστος ταξιδιού για ένα συγκεκριμένο όχημα. Αυτό το συγκεκριμένο μέρος της έρευνας, ασχολήθηκε με τα πιθανά αποτελέσματα ενός στατικού συστήματος καθοδήγησης διαδρομής, ενώ αυτό το μέρος θα ασχοληθεί με τα πιθανά αποτελέσματα μιας διαδρομής ενός οχήματος με δυναμική καθοδήγηση. Παραδείγματα των θεμάτων που διερευνώνται σε αυτό το τμήμα είναι: πώς μπορεί μια διαταραχή στις συνθήκες κυκλοφοριακής ροής να αναγνωρισθεί χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ταχύτητας από ανιχνευτικά οχήματα; Πόσο συχνά είναι τέτοια γεγονότα; Πώς κατανέμονται οι διαταραχές στις διαφορετικές κατηγορίες δρόμου; Ποιες είναι οι επιδράσεις που έχει η διαταραχή στην κατανάλωση καυσίμου του αυτοκινήτου;

Υπάρχει λόγος να πιστεύουμε ότι στο κοντινό μέλλον πολλά καινούργια αυτοκίνητα θα είναι εξοπλισμένα με πλατφόρμες IT δίνοντάς τους τη δυνατότητα να δρουν ως αιωρούμενα αυτοκίνητα ή ανιχνευτικά. Το ανιχνευτικό όχημα θεωρείται ως μια αποτελεσματική μέθοδο συλλογής πληροφοριών ταξιδιού πραγματικού χρόνου, ενώ άλλες επιλογές που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι η χρήση ανιχνευτών και βιντεοκαμερών. Όταν μελετάμε την δυνατότητα άντλησης πληροφοριών σχετικά με τις κυκλοφοριακές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο μέσω δεδομένων από ανιχνευτικά οχήματα, ο αριθμός οχημάτων που χρειάζεται για να καλυφθεί το οδικό δίκτυο είναι σημαντικός. Αυτό προφανώς εξαρτάται από το μέγεθος της πόλης. Υπολογισμοί δείχνουν ότι ο αριθμός ανιχνευτικών που χρειάζονται για να καλυφθεί όλη η περιοχή του Gothenburg (μια σουηδική πόλη 481 000





κατοίκων) θα ξεπερνούσε τα 1100 ή, κατά μέσο όρο, ένα όχημα ανά χιλιόμετρο δρόμου, κατά τη διάρκεια των ωρών αιχμής. Στην παρούσα μελέτη το σύνολο της βάσης δεδομένων του ISA, η οποία περιλαμβάνει δεδομένα σε προφίλ χρόνου ταχύτητας από συνεχή καταγραφή σε συνδυασμό με την τοποθεσία, την ημερομηνία και την ώρα της ημέρας, θεωρήθηκε ως βάση δεδομένων κατά μέσο όρο 120 ανιχνευτικών οχημάτων που κυκλοφορούσαν στην πόλη του Lund (συνολικά 284 οχήματα συμμετείχαν στην μελέτη αλλά όλα τα οχήματα δεν ήταν στην δοκιμή την ίδια χρονική περίοδο). Η πόλη του Lund έχει συνολικό μήκος οδικού δικτύου 290 km, κάτι που σημαίνει $120/290 = 0.4$ 'ανιχνευτικά' οχήματα ανά km δρόμου. Επομένως υπήρχε η άποψη ότι ο αριθμός 'ανιχνευτικών' οχημάτων στην δοκιμή του ISA μπορεί να είναι πολύ μικρός για να καλύψει το οδικό δίκτυο του Lund.

Η ανάλυση αποτελείται από τα παρακάτω βήματα. Καθορίστηκε ο ορισμός ενός δείκτη γεγονότος κυκλοφοριακής διαταραχής όπως καταγράφεται από ένα ανιχνευτικό όχημα. Για κάθε 50 ταξίδια, στα οποία δόθηκε διαδρομή με βελτιώσεις για το καύσιμο, περιλαμβάναμε μια τεχνητή (φανταστική) ποινή κυκλοφοριακής διαταραχής. Η διαταραχή τοποθετούνταν σε ένα τυχαία επιλεγμένο τμήμα του προτεινόμενου δρόμου. Χρησιμοποιήθηκε μια διαδικασία βασισμένη στην συνολική πιθανότητα μιας διαταραχής σε μια συγκεκριμένη κατηγορία δρόμου για να αποφασιστεί σε ποιο τμήμα θα δοθεί η ποινή.

Υπολογίστηκε η πιθανότητα να ανακαλυφθεί η διαταραχή από το ανιχνευτικό όχημα. Το κριτήριο για αυτό ήταν τουλάχιστον ένα από τα οχήματα στην βάση δεδομένων του ISA να έχει περάσει από τη διαταραχή την συγκεκριμένη μέρα τουλάχιστον 15 λεπτά πριν ξεκινήσει το υπό μελέτη ταξίδι. Για αυτό το μέρος των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε το σύνολο της βάσης του ISA. Υπολογίστηκε η επιπρόσθετη κατανάλωση καυσίμου που ήταν αποτέλεσμα διαταραχών σε διαφορετικές κατηγορίες δρόμου. Σε κάθε τμήμα που διαταράχθηκε τεχνητά αποδόθηκε επιπρόσθετο καύσιμο. Εφαρμόστηκε μια νέα βελτίωση διαδρομής. Σημειώθηκε τότε το κατά πόσον υπήρχε μια καλύτερη (πιο αποδοτική σε καύσιμα) διαδρομή και αν ναι, πόσο καύσιμο θα μπορούσε να εξοικονομηθεί.

Η συνολική δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου μέσω μιας διαδρομής με δυναμικής καθοδήγησης υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το σύνολο των πιθανοτήτων, ότι δηλαδή μια κυκλοφοριακή διαταραχή θα λάμβανε χώρα στο Lund, ότι η διαταραχή θα εντοπιζόταν από ένα ανιχνευτικό όχημα και ότι θα υπήρχε ένας μια ακόμα αποδοτική ως προς τα καύσιμα διαδρομή. Υπολογίστηκε επίσης η μέση εξοικονόμηση καυσίμου για τα ταξίδια που θα επωφελούνταν από ένα τέτοιο σύστημα, καθώς και η συνολική δυνατότητα συμπεριλαμβανομένων όλων των ταξιδιών.





Η ανάλυση που εφαρμόστηκε για να υπολογιστεί το αποτέλεσμα της αποστολής πληροφοριών που αφορούν κυκλοφοριακές διαταραχές από ανιχνευτικά οχήματα είχε πέντε μέρη: (1) καθορισμός ενός γεγονότος κυκλοφοριακής διαταραχής, (2) υπολογισμός της πιθανότητας ενός τέτοιου γεγονότος κυκλοφοριακής διαταραχής, (3) πιθανότητα της ανακάλυψης της διαταραχής από το ανιχνευτικό όχημα, (4) πιθανότητα ύπαρξης μιας άλλης διαδρομής που θα εξοικονομούσε περισσότερα καύσιμα και (5) συνολική δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες από ανιχνευτικά οχήματα στο Lund.

Ορισμός δείκτη κυκλοφοριακής διαταραχής

Ένα γεγονός διαταραχής στην κυκλοφορία μπορεί να οριστεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Σε αυτήν την έρευνα καθορίσαμε τρία κριτήρια που θα πρέπει να πληρούνται έτσι ώστε ένα γεγονός που εντοπίζεται από ένα ανιχνευτικό όχημα να κατατάσσεται ως διαταραχή. (1) Το γεγονός πρέπει να είναι γενικά σπάνιας συχνότητας και να βρίσκεται εκτός της «φυσιολογικής» διακύμανσης ενός συγκεκριμένου κυκλοφοριακού περιβάλλοντος, (2) το γεγονός πρέπει να συσχετίζεται με ένα μέτρο ή μια παράμετρο που θεωρούν οι οδηγοί ερεθιστική, και (3) θα πρέπει να είναι δυνατόν να συνδέσουμε την παράμετρο που χρησιμοποιήθηκε για να περιγραφεί το γεγονός με την κατανάλωση καυσίμου του αυτοκινήτου.

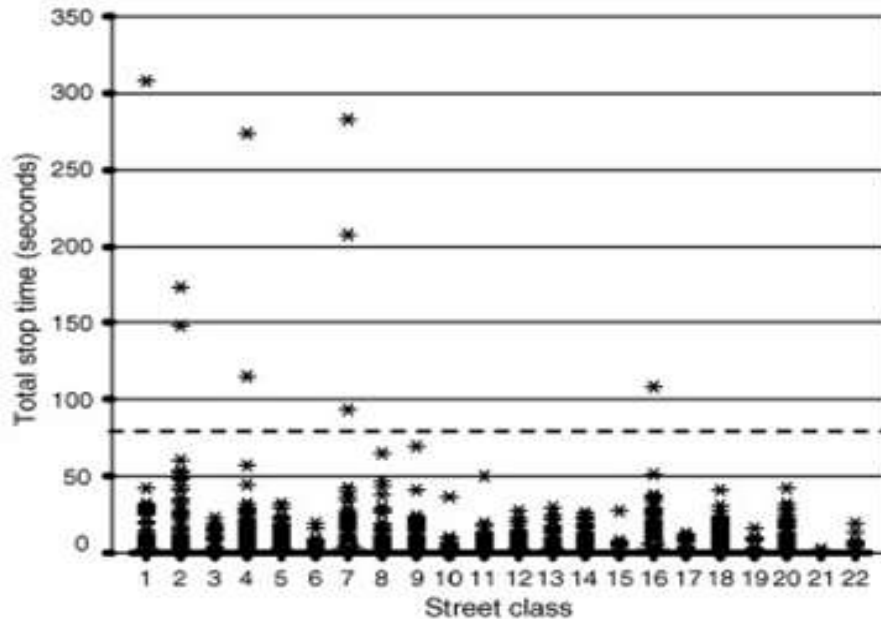
Χρησιμοποιώντας ένα υποσύνολο 15 437 πραγματικών οδηγικών μοτίβων με κώδικες για την κατηγορία δρόμου και την ώρα της ημέρας, μελετήσαμε την πιθανότητα χρήσης διαφορετικών παραμέτρων για να αναγνωρίσουμε τα γεγονότα κυκλοφοριακής διαταραχής. Δοκιμάστηκαν οι παράμετροι που συνδέονται με την μέση ταχύτητα μετακίνησης ή με τους χρόνους στάσης σε διαφορετικούς τύπους τμημάτων καθώς και με τον χρόνο ταξιδιού. Άλλες μελέτες έχουν ερευνήσει το πώς να υπολογίζουν τον χρόνο ταξιδιού μέσω μεμονωμένων ανιχνευτικών οχημάτων που χρησιμοποιούνταν σε συστήματα Εξελιγμένων Ταξιδιωτικών Πληροφοριών. Σε αυτές τις μελέτες ήταν δυνατόν να συγκριθεί η πραγματική ταχύτητα ταξιδιού του ανιχνευτικού οχήματος με την μέση ταξιδιωτική ταχύτητα, η οποία υπολογιζόταν μέσω πληροφοριών από ανιχνευτές και κάμερες κατά μήκος του πραγματικού τμήματος του δρόμου. Στην μελέτη μας στοχεύουμε να καλύψουμε όλο το οδικό δίκτυο και δεν ήταν δυνατόν να συλλέξουμε αρκετά δεδομένα για κάθε τμήμα του δρόμου ξεχωριστά. Αντ' αυτού το οδικό δίκτυο χωρίστηκε σε 61 διαφορετικές κατηγορίες δρόμου συνολικά, για τις οποίες η μέση ταξιδιωτική ταχύτητα και το συνοπτικό σύνολο του χρόνου στάσης υπολογίστηκε μέσω των οδηγικών μοτίβων. Σύμφωνα με τα τεστ μας η σχέση μεταξύ (1) της πραγματικής ταχύτητας στον σύνδεσμο και (2) της μέσης ταχύτητας στην κατηγορία δρόμου στην οποία ανήκε ο σύνδεσμος, βρέθηκε να είναι αρκετά διαταραγμένη και δεν εντοπίστηκε κανένα προφανές όριο για την συμφόρηση





ή τη διαταραχή. Για παράδειγμα σε συνδετήριες οδούς που ελέγχονταν με φωτεινούς σηματοδότες η φυσιολογική διακύμανση στην ταξιδιωτική ταχύτητα ήταν μεγάλη. Αντ' αυτού επιλέχθηκε η παράμετρος του συνολικού χρόνου στάσης (συνολικός χρόνος ταχύτητας < 2 km/h, σύνολο όλων των γεγονότων στο οδηγικό μοτίβο πχ. περιλαμβάνει μεμονωμένες και επαναλαμβανόμενες στάσεις) σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δρόμου ως ενδεικτική της κυκλοφοριακής διαταραχής στο τμήμα του δρόμου. Η παράμετρος δεν συνδέεται επομένως μόνο με μεμονωμένες στάσεις αλλά με τον συνολικό χρόνο στάσης ενόσω ταξιδεύει μέσω του συνδέσμου. Η σχετική συχνότητα εμφάνισης και διάρκειας του συνολικού χρόνου στάσης για διαφορετικές κατηγορίες δρόμου στο Lund φαίνεται στο Σχ. 3. Η διάρκεια του συνολικού χρόνου στάσης έπρεπε να ξεπερνάει τα 80 s για να τηρείται το κριτήριο του εξαιρετικά σπάνιου γεγονότος, και άρα να μην περιλαμβάνονται τα συμβάντα μέσα στην φυσιολογική διακύμανση της κυκλοφοριακής ροής. Το Σχ. 3 δείχνει ότι οι χρόνοι στάσης πάνω από 80 s ήταν σπάνιοι και τυχαία κατανομημένοι. Ο χρόνος στάσης για διαταραγμένους συνδετήριους χωρίστηκε, κατά μέσο όρο, σε 2.73 στάσεις. Μπορεί να αμφισβητηθεί η γενική δυνατότητα εφαρμογής αυτής της παραμέτρου. Υπάρχει πάντα το ρίσκο μερικά από τα ανιχνευτικά οχήματα που έχουν χρόνο στάσης μεγαλύτερο από 80 s να μην βρίσκονται στην πραγματικότητα σε μποτιλιάρισμα αλλά να βρίσκονται σε στάση καθώς παίρνουν κάποιον επιβάτη. Όμως, οι μετρήσεις για την συχνότητα της στάσης σε διάφορους τύπους σε μια άλλη σουηδική πόλη, το Vasteras έδειξε το ίδιο μοτίβο συχνότητας. Για να συλλάβουμε τις χαμηλές ταχύτητες στους συνδέσμους, η μέση ταχύτητα ταξιδιού θα μπορούσε επίσης να ήταν μια επιλογή δείκτη. Όμως τα δεδομένα σε αυτή την μελέτη δεν έδειξαν κάποιο προφανές όριο κάτω από το οποίο η ταχύτητα ταξιδιού θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα ενός ασυνήθους γεγονότος, κυκλοφοριακής συμφόρησης ή άλλης διαταραχής. Ο χρόνος στάσης πάνω από 80 s σε ένα τμήμα επιλέχθηκε ως όριο για γεγονότα εκτός του φυσιολογικού μοτίβου της κυκλοφοριακής ροής.





Σχ. 3. Συχνότητα εμφάνισης περιπτώσεων στάσης διαφορετικής διάρκειας σε 22 κατηγορίες δρόμου στο Lund. Για περιγραφή των κατηγοριών του δρόμου βλέπε Πίνακα 2. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει χρόνο στάσης 80 s, που ήταν ο ορισμός της κυκλοφοριακής διαταραχής.

Όταν η συχνότητα που γινόταν στάση ξεπερνούσε αυτό το όριο οι περιπτώσεις απλώνονταν περισσότερο και πιο ανομοιόμορφα και φαίνονταν να είναι ακραίες τιμές. Σε μεγαλύτερες πόλεις αυτό το όριο πρέπει πιθανόν να προσαρμοστεί ανάλογα με την γενικότερη κατάσταση της κυκλοφορίας. Επιβεβαιώνεται επίσης ότι κανένας φωτεινός σηματοδότης στο Lund δεν είχε σταθερό κύκλο πάνω από 80 s. Επιπρόσθετα, διερευνήθηκε κάθε πιθανή σχέση με το μήκος του τμήματος, αλλά δεν βρέθηκε καμία.

Η επιλογή του χρόνου στάσης ως μιας μέτρησης που αντιπροσωπεύει την διαταραχή υποστηρίζεται από ευρήματα που αφορούν τις προτιμήσεις των ατόμων σε άλλες μορφές μεταφοράς. Σε έρευνα για τις προτιμήσεις των ταξιδιωτών που χρησιμοποιούν μέσα μαζικής μεταφοράς βρέθηκε ότι οι χρόνοι καθυστέρησης και αναμονής αξιολογήθηκαν ιδιαίτερα αρνητικά. Η υπόθεσή μας ήταν ότι ο χρόνος στάσης, δηλ. το να στέκονται ακίνητοι για χρόνο μεγαλύτερο από τον αναμενόμενο, θεωρείται αρνητικό και από τους οδηγούς αυτοκινήτων. Τέλος, ήταν δυνατόν να συνδεθεί η επιπρόσθετη κατανάλωση καυσίμου με τον χρόνο στάσης, που είναι ένα σημαντικό θέμα σε αυτή τη μελέτη.

Επιβολή ποινής κυκλοφοριακής διαταραχής σε κάθε ένα από τα 50 ταξίδια και η πιθανότητα αναγνώρισης από ανιχνευτικό όχημα

Η σχετική πιθανότητα ένα γεγονός διαταραχής να οδηγεί σε χρόνο στάσης μεγαλύτερο από 80 s υπολογίστηκε για κάθε κατηγορία δρόμου από τη βάση δεδομένων 15.437 οδηγικών μοτίβων. Βρέθηκε ένας ορισμένος αριθμός





γεγονότων σε δρόμους κατοικημένων περιοχών. Αφού όμως ένας μεγαλύτερος σε διάρκεια χρόνος στάσης σε δρόμους κατοικημένων περιοχών θα συσχετιζόταν περισσότερο με την αναμονή κάποιου επιβάτη ή με τον καθαρισμό του χιονιού και του πάγου ενώ ζεσταίνεται η μηχανή, παρά με μπουτλιαρίσματα, οι δρόμοι κατοικημένων περιοχών παραλήφθηκαν από την ανάλυση. Η εκτιμημένη σχετική διακινδύνευση ενός γεγονότος κυκλοφοριακής διαταραχής μεταμορφώθηκε σε μια ζυγισμένη πιθανότητα συνάρτησης έτσι ώστε να επιβληθεί μια τεχνητή ποινή για το κάθε ένα από τα 50 ταξίδια. Το μέγεθος της ποινής υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος του χρόνου στάσης για στάσεις που διαρκούσαν περισσότερο από 80 s για την συγκεκριμένη κατηγορία δρόμου. Στον Πίνακα 2 αναφέρεται το συνολικό και το σχετικό ρίσκο του να συμβεί μια κυκλοφοριακή διαταραχή και το μέγεθος της ποινής για κάθε διαφορετική κατηγορία δρόμου. Η απόλυτη διακινδύνευση υπολογίστηκε από βάση δεδομένων 15 437 πραγματικών οδηγικών μοτίβων, ως η συνολική σχετική συχνότητα περιπτώσεων όπου ο χρόνος στάσης υπερέβαινε τα 80 s για διαφορετικές κατηγορίες δρόμου. Υπολογίστηκε επίσης, κατά την σύγκριση κατηγοριών δρόμου, η σχετική διακινδύνευση του να λάβει χώρα μια κυκλοφοριακή διαταραχή. Εδώ παραλήφθηκαν οι δρόμοι κατοικημένων περιοχών για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι ποινές χρόνου που δίνονται στον Πίνακα 2 υπολογίστηκαν σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$P = ST > 80 - STALL$$

όπου P, ποινή (ποινές): ST > 80, μέσος χρόνος στάσης για τις περιπτώσεις όπου η στάση ξεπερνούσε τα 80 s· STALL, μέσος χρόνος στάσης για όλες τις κατηγορίες.



Table 2

Overall and relative risk of a disturbance event in different street classes, the average stop time and the size of the penalty allocated when there is a disturbance in that street class

Street class	Description of street class	Overall risk of a disturbance event	Relative risk of a disturbance event	Overall average stop time (s)	Penalty assigned (s)
1	Local, CBD, speed limit 30, without traffic lights, with or without traffic calming	0.00484	22.86	12.76	183.29
2	Local, residential, speed limit 30, without traffic lights, with or without traffic calming	0.00820	*	12.33	101.23
3	Local, residential, speed limit 30, with traffic lights, without traffic calming	0		10.92	
4	Local, residential, speed limit 50, without traffic lights, with or without traffic calming	0.00334	*	12.76	219.19
5	Local, residential, speed limit 50, with traffic lights, with or without traffic calming	0		10.10	
6	Local, outside CBD and residential, speed limit 30 or 50, without traffic lights, with or without traffic calming	0		6.91	
7	Main, CBD, speed limit 30 or 50, without traffic lights, with or without traffic calming	0.00484	22.86	12.58	116.10
8	Main, CBD, speed limit 30 or 50, with traffic lights, without traffic calming	0.00361	17.14	17.21	86.29
9	Main, residential, speed limit 30 or 50, without traffic lights, without traffic calming	0.00143	6.67	8.68	101.88
10	Main, residential, speed limit 30 or 50, without traffic lights, with traffic calming	0		6.49	
11	Main, residential, speed limit 30 or 50, sparse with traffic lights, without traffic calming	0.00260	12.38	9.89	91.17
12	Main, residential, speed limit 30 or 50, sparse with traffic lights, with traffic calming	0		10.35	
13	Main, residential, speed limit 30 or 50, dense with traffic lights, with or without traffic calming	0		11.10	
14	Main, outside CBD and residential, speed limit 50, without traffic lights, without traffic calming	0		10.94	
15	Main, outside CBD and residential, speed limit 50, without traffic lights, with traffic calming	0		6.67	
16	Main, outside CBD and residential, speed limit 50, sparse with traffic lights, without traffic calming	0.00203	9.52	14.88	90.98
17	Main, outside CBD and residential, speed limit 50, sparse with traffic lights, with traffic calming	0		6.33	
18	Main, outside CBD and residential, speed limit 50, dense with traffic lights, without traffic calming	0.00056	2.86	13.13	67.92
19	Main, outside CBD and residential, speed limit 70, without traffic lights, without traffic calming	0		6.73	
20	Main, outside CBD and residential, speed limit 70, sparse with traffic lights, without traffic calming	0.00124	5.71	14.64	69.07
21	Main, outside CBD and residential, speed limit 90, without traffic lights, without traffic calming	0		2.83	
22	Main, outside CBD and residential, speed limit 110, sparse with or without traffic lights, without traffic calming	0		15.80	

* No disturbance events were allocated to residential streets due to reasons discussed in the text.



Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω έλλειψης συμφόρησης στο Lund, τα γεγονότα διαταραχής ήταν σπάνια στη βάση δεδομένων. Η ποινή υπολογίστηκε μόνο για τις τιμές 1–3 για κάθε τάξη δρόμου και οι απόλυτες τιμές της ποινής πρέπει να θεωρούνται πολύ σχετικές.

Η ημερομηνία και η συγκεκριμένη στιγμή της ημέρας σημειώθηκε για κάθε ένα από τα 50 ταξίδια. Χρησιμοποιήθηκε όλη η βάση δεδομένων του ISA για να ελέγξουμε το αν η διαταραχή, στην περίπτωση που αυτή υπήρχε, θα αποκαλύπτονταν από ένα από τα ανιχνευτικά οχήματα. Επομένως ερευνήθηκε η βάση δεδομένων για να υπολογιστεί η πιθανότητα να βρίσκεται τουλάχιστον ένα «ανιχνευτικό όχημα» στο διαταραγμένο τμήμα μέσα σε 15 min από την αρχή των 50 ταξιδιών.

Η πιθανότητα να υπάρχει περισσότερη της μιας διαδρομή που εξοικονομεί καύσιμο στην περίπτωση γεγονότων διαταραχής

Η επιπλέον κατανάλωση καυσίμου στο διαταραγμένο τμήμα υπολογίστηκε μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης με τον υπολογισμό των σχέσεων μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και (1) της απόστασης που διανύθηκε, και (2) του χρόνου ακινησίας σε λειτουργία αδράνειας. Χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων 15.437 οδηγικών μοτίβων για τα οποία υπολογίστηκαν η κατανάλωση καυσίμου, η διανυμένη απόσταση καθώς και η διάρκεια στάσης για κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Η εξίσωση είχε την εξής μορφή

Κατανάλωση καυσίμου = α * απόσταση + β * χρόνο στάσης

Η παράμετρος α υπολογίστηκε ότι είναι 0.905 l/10 km και β 0.000456 l/s χρόνου στάσης. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε η παράμετρος β για να υπολογιστούν οι ποινές κατανάλωσης καυσίμου που προστέθηκαν στο διαταραγμένο τμήμα για κάθε ένα από τα 50 ταξίδια.

Για να μελετήσουμε αν υπήρχε καλύτερη επιλογή διαδρομής, ξαναέγινε βελτίωση της διαδρομής που εξοικονομεί περισσότερο καύσιμο ανάμεσα στο σημείο εκκίνησης και στον προορισμό των 50 ταξιδιών, τώρα με την πρόσθετη ποινή καυσίμου στο διαταραγμένο τμήμα. Σημειώθηκε ο αριθμός των περιπτώσεων στις οποίες υπήρχαν διαθέσιμες επιλογές καλύτερης διαδρομής, καθώς και η εξοικονόμηση σε καύσιμο και χρόνο, όταν υπήρχε. Το κέρδος υπολογίστηκε μέσω των διαφορών σε κατανάλωση καυσίμου και στον χρόνο, ανάμεσα στις διαδρομές χωρίς και με τις πληροφορίες από το ανιχνευτικό όχημα.





Εκτίμηση της συνολικής δυνατότητας για εξοικονόμηση καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες από ανιχνευτικά οχήματα

Τέλος, υπολογίστηκε η πιθανότητα να βρεθεί κανείς μέσα σε ένα γεγονός διαταραχής, σύμφωνα με τον ορισμό μας.

Αυτή η πιθανότητα είναι βέβαια κρίσιμη στην απόφαση που αφορά τη χρήση ενός συστήματος που λαμβάνει υπόψη πληροφορίες πραγματικού χρόνου για την κυκλοφοριακή κατάσταση. Όμως αυτή η πιθανότητα εξαρτιόταν επίσης πολύ από την πόλη ενδιαφέροντος.

Για να υπολογίσουμε την πιθανότητα ενός γεγονότος διαταραχής σε ένα ταξίδι στην πόλη του Lund χρησιμοποιήσαμε τη διακινδύνευση χρόνου στάσης πάνω από 80 s σε διαφορετικές κατηγορίες δρόμου, υπολογισμένη από τη βάση δεδομένων 15.437 οδηγικών μοτίβων, και τη σχετική συχνότητα των διαφορετικών κατηγοριών δρόμου σε κανονικά ταξίδια υπολογισμένη από 50 τυχαία επιλεγμένα ταξίδια. Τα 50 ταξίδια αποτελούνταν από 1387 τμήματα μη οικιστικών περιοχών. Το συνολικό ρίσκο ενός γεγονότος κυκλοφοριακής διαταραχής στο Lund υπολογίστηκε από:

$$R = \frac{k * \sum_{i=0}^n 1r_i * f_i}{N} \quad (4)$$

όπου R, το ρίσκο διαταραχής· k, ο αριθμός των τμημάτων (1387)· n, ο αριθμός των κατηγοριών δρόμου (22); r_i, συνολική διακινδύνευση διαταραχής στην κατηγορία δρόμου i· f_i, η συχνότητα διάσχισης της κατηγορίας δρόμου i σε N ταξίδια· N, αριθμός ταξιδιών (50).

Η συνολική δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες από ανιχνευτικά οχήματα εξαρτάται από τρεις παράγοντες: (1) την πιθανότητα να συμβεί γεγονός κυκλοφοριακής διαταραχής σε ένα ταξίδι, (2) την πιθανότητα ένα τέτοιο γεγονός να εντοπιστεί από ανιχνευτικό όχημα, και (3) την πιθανότητα να υπάρχει μια άλλη πιο αποδοτική ως προς την εξοικονόμηση καυσίμου διαδρομή. Υπολογίστηκε, ως το προϊόν αυτών των τριών πιθανοτήτων, η αναλογία ταξιδιών που θα επωφελούνταν από πληροφορίες πραγματικού χρόνου για την κυκλοφοριακή κατάσταση προερχόμενες από ανιχνευτικά οχήματα. Επίσης υπολογίστηκε η μέση εξοικονόμηση κατανάλωσης καυσίμου σε ταξίδια που υπήρχε τέτοιο κέρδος. Ο υπολογισμός βασίστηκε στις διαφορές στην κατανάλωση καυσίμου ανάμεσα στις διαδρομές με και χωρίς την πληροφόρηση από ανιχνευτικά οχήματα. Τέλος, υπολογίστηκε το συνολικό κέρδος σε καύσιμο για ταξίδια στο Lund υπολογίζοντας το παράγωγο της αναλογίας των ταξιδιών και της μέσης εξοικονόμησης καυσίμου. Παρόμοιοι υπολογισμοί έγιναν για την χρονική κατανάλωση.





Πρέπει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί που αφορούν το πιθανό όφελος από ανιχνευτικά οχήματα στο Lund γίνονται κατά προσέγγιση λόγω των πολύ λίγων περιπτώσεων γεγονότων κυκλοφοριακής διαταραχής. Η μεθοδολογία θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες πόλεις όπου η συμφόρηση και οι καθυστερήσεις λόγω γεγονότων διαταραχής είναι πιο συχνές.

2.6.4. Αποτελέσματα

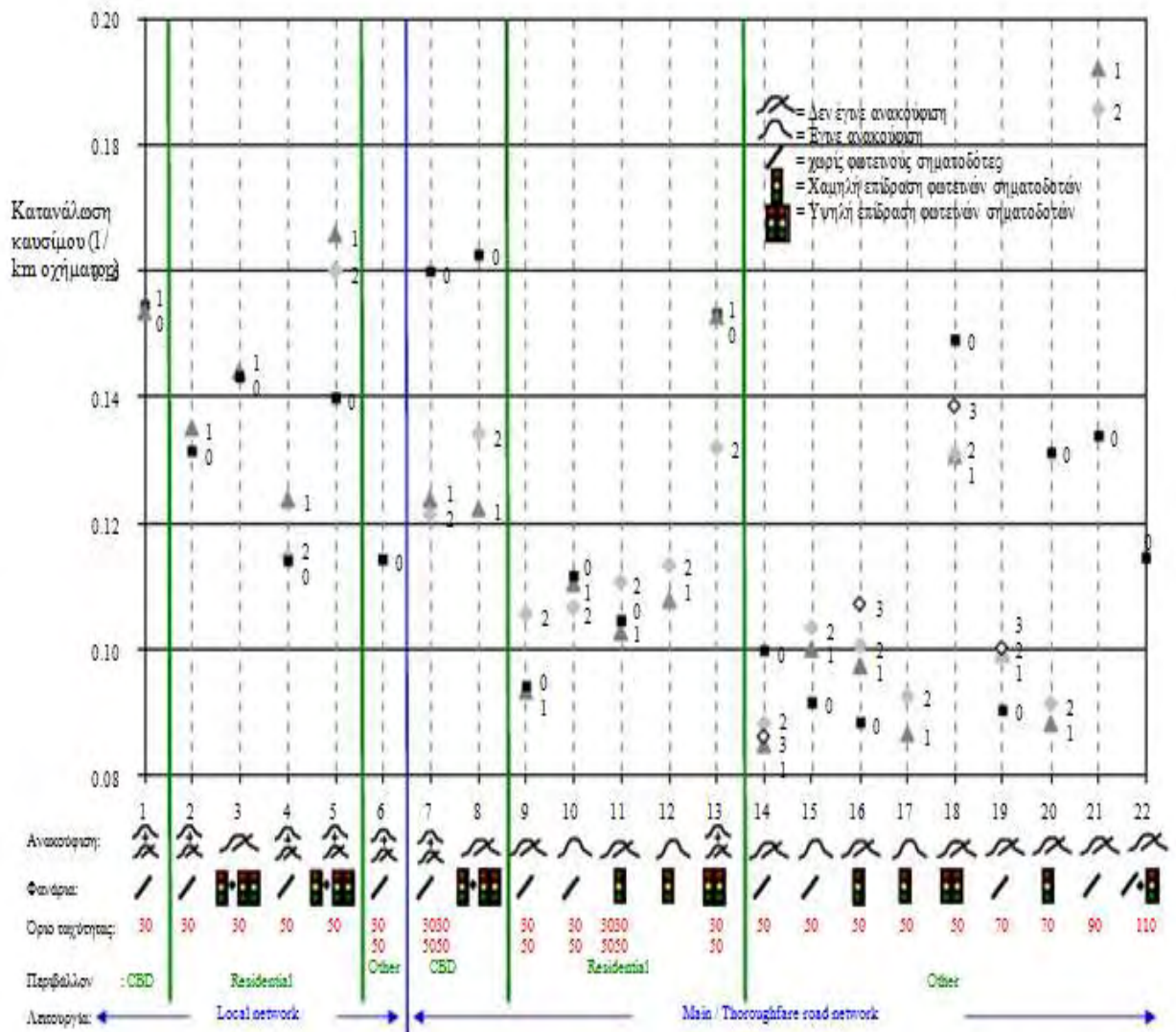
Παράγοντας κατανάλωσης καυσίμου (Fuel consumption factors (FCF's) σε διαφορετικές κατηγορίες δρόμου

Το οδικό δίκτυο της πόλης του city Lund χωρίστηκε σε 61 κατηγορίες. Αυτή η κατηγοριοποίηση βασίστηκε στην λειτουργία του δρόμου, στον τύπο του περιβάλλοντος, στο όριο ταχύτητας (πινακίδα ταχύτητας), στην πυκνότητα των κυκλοφοριακών σημάτων, στα μέτρα ανακούφισης κυκλοφορίας και στην κυκλοφοριακή ροή σε ώρες αιχμής και μη αιχμής. Από πραγματικά οδηγικά μοτίβα στο Lund υπολογίστηκε η κατανάλωση καυσίμου (litres/km) για τις 61 κατηγορίες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχ. 4. Οι κατηγορίες δρόμου 1–22 φαίνονται στον άξονα x, ενώ οι κατηγορίες ροής 0–3 σε κάθε κατηγορία δρόμου ορίζονται για κάθε κατηγορία δρόμου.

Το Σχ. 4 δείχνει τις μέσες τιμές για την υπολογισμένη κατανάλωση καυσίμου (litres/vehicle km). Σε μεμονωμένες περιπτώσεις βρέθηκαν αρκετά μεγάλα ποσοστά αξιοπιστίας (95% των ποσοστών αξιοπιστίας ήταν συνήθως $\pm 10\%$ του μέσου όρου),

Αλλά θα μπορούσαν να γίνουν μερικές γενικές παρατηρήσεις. Πρώτον, μπορεί να σημειωθεί ότι η κατανάλωση καυσίμου σε κατηγορίες δρόμων με μεγάλη πυκνότητα διασταυρώσεων που ελέγχονται από φωτεινούς σηματοδότες είναι γενικά μεγαλύτερη από αντίστοιχες κατηγορίες χωρίς μεγάλη πυκνότητα διασταυρώσεων που ελέγχονται από φωτεινούς σηματοδότες. Για αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως παράδειγμα την κατηγορία 3, σε σύγκριση με την κατηγορία 2· την κατηγορία 5 σε σύγκριση με τη κατηγορία 4· την κατηγορία 13 σε σύγκριση με τις 12 και 10, και την κατηγορία 18 σε σύγκριση με τις κατηγορίες 16 και 14. Εκτός από αυτό, η κατανάλωση καυσίμου σε δρόμους που έχουν κατηγοριοποιηθεί ως τοπικό δίκτυο ή σε δρόμους στα όρια της κεντρική περιοχή επαγγελματικών δραστηριοτήτων (CBD) τείνει να είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με άλλους. Όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου και τα μέτρα ανακούφισης κυκλοφορίας και τη διακύμανση στην κυκλοφοριακή ροή, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές.





Σχ. 4. Η κατανάλωση καυσίμου ανά χιλιόμετρο αυτοκινήτου για κάθε μια από τις στατικές κατηγορίες δρόμου και τις δυναμικές κατηγορίες ροής (0–3). Τα όρια ταχύτητας είναι είτε συγκεκριμένα για ένα επίπεδο ή σε μερικές περιπτώσεις συγχωνεύονται (δηλ. σε μερικές περιπτώσεις που περιγράφονται ως 30 50 η κατηγορία περιλαμβάνει όρια ταχύτητας και 30 και 50 km/h).

Η δυνατότητα βελτίωσης στα καύσιμα χρησιμοποιώντας ένα σύστημα πλοήγησης

Από την βάση του ISA έγινε εξαγωγή 109 ταξιδιών που διαρκούσαν περισσότερο από 5 min. Πενήντα από αυτά τα ταξίδια ήταν διαφορετικά από τη βελτιστοποιημένη ως προς την κατανάλωση καυσίμου διαδρομή που αντιστοιχεί στον 46% των ταξιδιών. Για αυτά τα 50 ταξίδια υπολογίστηκαν οι κοντινότερες, συντομότερες και πιο οικονομικές σε καύσιμο διαδρομές. Υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα των τριών αυτών βελτιώσεων από δυο άλλες παραμέτρους. Όσο αφορά στην βελτίωση στην κατανάλωση καυσίμου η μέση εξοικονόμηση σε καύσιμο βρέθηκε να είναι 8.2% σε σύγκριση με το





πραγματικό ταξίδι. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα συνολικό κέρδος 4.0% περιλαμβανομένων όλων των ταξιδιών πάνω από 5 min.

Καθώς τα εμπορικά συστήματα πλοήγησης, που κάνουν βελτιώσεις για την κοντινότερη ή συντομότερη διαδρομή, γίνονται όλο και πιο συνηθισμένα, θέλαμε να διαπιστώσουμε αν αυτά τα συστήματα μπορούν να έχουν κάποια θετική επίδραση όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου. Στα 50 ταξίδια που μελετήθηκαν υπήρχε μια ξεκάθαρη ένδειξη ότι η κατανάλωση καυσίμου ήταν χαμηλότερη όταν γινόταν βελτίωση με την επιλογή της συντομότερης διαδρομής. Βασικά, σε 41 από τις 50 περιπτώσεις η συντομότερη διαδρομή ήταν η ίδια ή σχεδόν η ίδια με εκείνη για την οποία γίνεται βελτίωση με σκοπό την χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου. Δεν φάνηκαν κάποια σημαντικά οφέλη στην μείωση κατανάλωσης καυσίμου στη σύγκριση ανάμεσα στην ταχύτερη διαδρομή και στην αρχική διαδρομή. Ένα ενδιαφέρον ερώτημα είναι αν κάποιος θα χάσει χρόνο χρησιμοποιώντας ένα σύστημα πλοήγησης για βελτιστοποίηση στα καύσιμα. Σύμφωνα με αυτήν την μελέτη τα 50 ταξίδια, στα οποία θα είχε δοθεί μέσω του συστήματος μια εναλλακτική περισσότερο αποδοτική σε καύσιμο διαδρομή, θα είχαν εξοικονομήσει 8.5% σε χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η γρηγορότερη διαδρομή δεν βρέθηκε να είναι η πιο οικονομική σε καύσιμο αλλά η πιο οικονομική σε καύσιμο διαδρομή ήταν μέσα στον μέσο όρο την εξοικονόμησης χρόνου. Ένα σύστημα πλοήγησης βελτιωμένο σύμφωνα με την χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου θα εξοικονομεί έτσι και καύσιμο και χρόνο στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Η δυνατότητα εξοικονόμησης καυσίμου χρησιμοποιώντας πληροφορίες πραγματικού χρόνου για την κυκλοφοριακή κατάσταση μέσω ανιχνευτικών οχημάτων

Η μελέτη έδειξε ότι, σε μέσο όρο 2.7% όλων των ταξιδιών στο Lund με διάρκεια μεγαλύτερη από 5 min περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα τμήμα που είναι διαταραγμένο, έχει δηλ. έναν χρόνο στάσης που ξεπερνά τα 80 s. Για το 76% των “διαταραγμένων” ταξιδιών υπήρχε μια πιο αποδοτική σε καύσιμο διαδρομή. Η μέση μείωση στην κατανάλωση καυσίμου αν σε αυτά τα οχήματα δινόταν διαφορετική διαδρομή, θα ήταν 7.6%. η πιθανότητα να εντοπιστεί ένα γεγονός διαταραχής από τουλάχιστον ένα ανιχνευτικό όχημα στο Lund ήταν, σύμφωνα με την μελέτη, 26%.

Άρα, παρότι περιορισμένη, αυτή η μελέτη δείχνει ότι η κατανάλωση καυσίμου σε ταξίδια που περιλαμβάνουν ένα διαταραγμένο τμήμα θα μειωνόταν περίπου κατά, $7.6\% * 76\% = 5.8\%$, με την χρήση ενός συστήματος πλοήγησης που λαμβάνει υπόψη πληροφορίες πραγματικού χρόνου που αφορούν την κυκλοφοριακή κατάσταση. Όμως τα κρίσιμα θέματα του γενικότερου οφέλους που σχετίζονται με τον υπολογισμό ενός τέτοιου συστήματος είναι: η συχνότητα των γεγονότων διαταραχής και ο βαθμός στον





οποίο τα γεγονότα θα ανακαλύπτονταν σε πραγματικό χρόνο. Στην περίπτωση του Lund, τα γεγονότα διαταραχής είναι σπάνια, κάτι που από μόνο του σημαίνει μικρή δυνατότητα για εξοικονόμηση καυσίμου. Επίσης ο βαθμός στον οποίο τα ανιχνευτικά οχήματα μπόρεσαν να καλύψουν το οδικό δίκτυο είναι αρκετά χαμηλός, μόνο το 26% των γεγονότων θα ανακαλύπτονταν. Επομένως, όσο αφορά τα ταξίδια στο Lund, η συνολική δυνατότητα μείωσης καυσίμου ως αποτέλεσμα παροχής πληροφοριών πραγματικού χρόνου από ανιχνευτικά οχήματα θα ήταν αμελητέα, 0.04%. Όμως τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για πόλεις με πιο σοβαρά προβλήματα κυκλοφοριακής ροής ένα σύστημα πλοήγησης που χρησιμοποιεί πληροφορίες πραγματικού χρόνου θα ήταν ωφέλιμο εάν δίνονταν στο σύστημα αρκετές πληροφορίες πραγματικού χρόνου. Αν οι πληροφορίες δίνονται από ανιχνευτικά οχήματα χρειάζεται μεγαλύτερη πυκνότητα τέτοιων οχημάτων από ότι στην περίπτωση του Lund.

Αφού ο χρόνος είναι σημαντικός για τους περισσότερους οδηγούς έγινε έρευνα στην εφαρμογή που αφορά τα ανιχνευτικά και ως προς αυτό. Βρέθηκε ότι τα οχήματα στα οποία έγινε αναδρομολόγηση λόγω κυκλοφοριακής διαταραχής και με σκοπό να γίνει εξοικονόμηση καυσίμου γίνονταν επίσης εξοικονόμηση χρόνου, κατά 15% σύμφωνα με αυτή την μελέτη. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτοί οι υπολογισμοί βασίζονται σε σχετικά μικρούς αριθμούς διαταραχών και πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή.





2.7. Αποτελέσματα Συμφόρησης και Στάθμης Εξυπηρέτησης Κυκλοφορίας του Δρόμου στην Εξοικονόμηση Καυσίμου σε Όχημα

Γενικά

Αυτή η μελέτη αξιολογεί τα αποτελέσματα της στάθμης εξυπηρέτησης κυκλοφορίας του δρόμου στην εξοικονόμηση καυσίμου σε οχήματα ελαφριάς και βαριάς χρήσης. Είναι γενικά κατανοητό ότι τα οχήματα που οδηγούν σε έντονους κύκλους εκκίνησης- στάσης σε κυκλοφοριακή συμφόρηση καταναλώνουν περισσότερα καύσιμα από τα οχήματα που ταξιδεύουν με μια αργή σταθερή ταχύτητα. Πολλές έρευνες προσπαθούν να ποσοτικοποιήσουν το καύσιμο που σπαταλάται στην συμφόρηση αλλά αυτές συνήθως βασίζονται σε παράγοντες εκπομπών που ποικίλλουν ανάλογα με την μέση ταχύτητα αλλά δεν συνυπολογίζουν τις διακυμάνσεις στα επίπεδα συμφόρησης. Ταυτόχρονα, τα αποκλειστικά μοντέλα εκπομπών, τα οποία υπολογίζουν την κατανάλωση καυσίμου ανά δευτερόλεπτο, έχουν εξελιχθεί σημαντικά και είναι σήμερα πολύ αξιόπιστα, όταν υπάρχουν σωστά εισαγόμενα δεδομένα. Αυτή η ανάλυση χρησιμοποιεί το MOVES/PERE του EPA για να εξετάσει τα αποτελέσματα της συμφόρησης σε διαφορετικούς τύπους οχημάτων, χρονιές μοντέλων, βάρη οχημάτων και τεχνολογίες μηχανών. Λαμβάνονται υπόψη πρότυποι κύκλοι οδήγησης χωρισμένοι ανάλογα με την στάθμη εξυπηρέτησης δρόμου. Τα κύρια αποτελέσματα παρουσιάζονται το ημερολογιακό έτος 2010, αλλά αυτή η μελέτη επίσης ασχολείται με το πώς η στάθμη εξυπηρέτησης κυκλοφορίας μπορεί να επηρεάσει τον μέσο όρο εξοικονόμησης καυσίμου μέχρι το 2030. Τέλος, αυτή η μελέτη εξετάζει τα πλεονεκτήματα της επιτάχυνσης της εισαγωγής εξελιγμένων τεχνολογιών καυσίμων αφού αναμένεται να λειτουργούν πιο αποδοτικά σε σύγκριση με τις συμβατικές μηχανές σε συνθήκες συμφόρησης. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης μπορούν να βοηθήσουν τους επαγγελματίες που προσπαθούν να αξιολογήσουν τις επιδράσεις της συμφόρησης (και τις βελτιώσεις στον τομέα των μεταφορών) στην εξοικονόμηση καυσίμου και στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

2.7.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι απαιτήσεις μεταφορών έχουν αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες. Ανάμεσα στο 1990 και στο 2005, τα μίλια οχημάτων που διανύθηκαν (vehicle-miles traveled (VMT)) αυξήθηκαν από 1,992 σε 2,760 δισεκατομμύρια για τα οχήματα ελαφριάς χρήσης και από 146 σε 223 δισεκατομμύρια για τα φορτηγά βαριάς χρήσης. Αυτό συνιστά σε μια αύξηση της τάξεως του 39% και 52% για τα VMT επιβατών και ναυλώσεων αντιστοίχως. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι τέτοιες τάσεις είναι πιθανόν να συνεχιστούν. Τα VMT και των





επιβατών και των ναυλώσεων προβλέπεται να αυξηθούν κατά 33% στα επόμενα 15 χρόνια.

Ενώ η μεταφορική δραστηριότητα έχει αυξηθεί σημαντικά, η ανάπτυξη του δικτύου μεταφορών δεν συμβαδίζει. Ανάμεσα στο 1990 και στο 2005, τα μίλια του οδικού δικτύου έχουν αυξηθεί μόλις κατά 3%. Σε αστικές περιοχές τα VMT ανά μίλι λωρίδας έχουν αυξηθεί από 764 σε 862 χιλιάδες, μια αύξηση της τάξης του 13%. Αυτό φυσικά συνοδεύεται με την αύξηση στα επίπεδα συμφόρησης.

Έχουν εφαρμοστεί πολλές στρατηγικές για την μείωση και τον μετριασμό της συμφόρησης με διάφορους βαθμούς επιτυχίας. Οι στρατηγικές μπορούν να διαχωριστούν γενικότερα σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: αύξηση χωρητικότητας, επιχειρησιακές βελτιώσεις και διαχείριση ζήτησης. Οι στρατηγικές αύξησης χωρητικότητας περιλαμβάνει την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων και την διεύρυνση των υπαρχόντων. Οι επιχειρησιακές βελτιώσεις περιλαμβάνουν ανάμεσα σε άλλα διαχείριση συμβάντων, κυκλοφοριακές μετρήσεις σε ανισόπεδους κόμβους, χρονοσκόπηση, πληροφοριακά συστήματα ταξιδιού πραγματικού χρόνου, ηλεκτρονική πληρωμή διοδίων, περιορισμού στάθμευσης και σηματοδότηση προτεραιότητας για διακινήσεις. Οι στρατηγικές διαχείρισης ζήτησης περιλαμβάνουν τιμολόγηση δρόμου, βελτιώσεις στις δημόσιες διακινήσεις, χρήση πολιτικής έξυπνης ανάπτυξης γης, εναλλακτικά προγράμματα εργασίας και τηλεπικοινωνιών και παροχή κινήτρων για συνεπιβατισμό και χρήση λωρίδας αποκλειστικής χρήσης οχημάτων με τουλάχιστον 2 άτομα.

Παρ' όλες αυτές τις προσπάθειες η συμφόρηση είναι πιθανόν να χειροτερέψει με την πάροδο του χρόνου. Η κατασκευή δρόμων γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη εξαιτίας της έλλειψης χρηματοδότησης σε αντίθεση με την κατασκευή δρόμων με διόδια, καθώς και με την αύξηση της περιβαλλοντικής ευαισθησίας. Στρατηγικές επιχειρησιακών βελτιώσεων και ταξιδιωτικής ζήτησης τυγχάνουν γενικά καλύτερης υποδοχής, αλλά μπορεί να μην είναι αρκετές για να αναπληρώσουν την αύξηση στην μεταφορική δραστηριότητα. Η αύξηση της μεταφορικής δραστηριότητας και των επιπέδων συμφόρησης ακολουθήθηκε λοιπόν από αύξηση στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τα οποία είναι, κατά μια ευρεία έννοια, αντίστοιχα με την κατανάλωση καυσίμου. Οι βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των καυσίμων έχουν μπορέσει να περιορίσουν τμήμα της αύξησης εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, ειδικά στα επιβατικά οχήματα. Η μέση εξοικονόμηση καυσίμου για αυτοκίνητα ελαφριάς χρήσης έχει βελτιωθεί από 20.3 σε 22.9 mpg μέσα στο χρονικό διάστημα 1990-2005, μια βελτίωση της τάξης περίπου του 13%. Η εξοικονόμηση καυσίμου στα ελαφριάς χρήσης φορτηγά παραμένει σχετικά σταθερή, στα 16 mpg περίπου κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου. Δεν ισχύει το ίδιο για τα φορτηγά βαριάς χρήσης, των οποίων η αποδοτικότητα έχει χειροτερέψει κατά





την ίδια χρονική περίοδο. Δεδομένα από την Απογραφή Φορτηγών και την Έρευνα Χρήσης του 1992, και από τη Χρήση Οχημάτων και την Απογραφική Έρευνα του 1997 και του 2002 δείχνουν ότι τα μεγάλα φορτηγά (πάνω από 26,000 λίβρες) είχαν έναν μέσο όρο εξοικονόμησης καυσίμου 5.8 mpg το 2002, μειωμένη από τα 6.1 mpg το 1997 και ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τα 5.6 mpg το 1992. Τα φορτηγά μέτριας χρήσης (6,001- 26,000 λίβρες) είχαν έναν μέσο όρο εξοικονόμησης καυσίμου από 8.0 mpg το 2002, μειωμένη σε σύγκριση με τα 8.6 mpg το 1997, και ελαφρώς αυξημένη σε σχέση με τα 7.3 mpg το 1992 .

Είναι κατανοητό ότι η συμφόρηση σχετίζεται με την μικρότερη εξοικονόμηση καυσίμου, που έχει αποτέλεσμα την μη αποδοτική χρήση του καυσίμου. Η κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος είναι γενικά υψηλότερη σε δρόμους με κυκλοφοριακή συμφόρηση απ' ότι σε δρόμους με ελεύθερη ροή ταχύτητας, αφού σύντομες ριπές επιτάχυνσης δημιουργούν τιμές καυσίμων ανά μίλι που είναι μεγαλύτερες από ότι σε ταχύτητες ελεύθερης ροής. Το Ινστιτούτο Μεταφορών του Τέξας δημοσιεύει μια ετήσια μελέτη κινητικότητας που αξιολογεί τα αποτελέσματα της συμφόρησης και ποσοτικοποιεί την σχετική ποσότητα καυσίμου που ξοδεύεται (5). Υπολογίζεται ότι η συμφόρηση έχει προκαλέσει καθυστέρηση 4.2 δισεκατομμυρίων ωρών και απώλεια καυσίμου 2.9 δισεκατομμυρίων γαλονιών σε 437 αστικές περιοχές στις Η.Π.Α το 2005.

Ο τυπικός τρόπος μέτρησης της συμφόρησης είναι με βάση τη στάθμη εξυπηρέτησης κυκλοφορίας. Το Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμου, που είναι μια βιομηχανική σταθερά για την συγκοινωνιακή μηχανολογία, που δημοσιεύτηκε από το Συμβούλιο Έρευνας Μεταφορών, καθορίζει έξι επίπεδα στάθμης εξυπηρέτησης που αντανakλούν το επίπεδο της κυκλοφοριακής συμφόρησης και προσδιορίζει τις συνθήκες λειτουργίας ενός δρόμου (6). Τα έξι επίπεδα ονομάζονται με γράμματα από το A έως το F, με το A να αντιπροσωπεύει τις βέλτιστες συνθήκες (ελεύθερη ροή, μικρή καθυστέρηση) και το F τις χειρόστες (συμφόρηση, μεγάλη καθυστέρηση). Οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία ενός δρόμου ή μιας διασταύρωσης περιλαμβάνουν την ταχύτητα, την καθυστέρηση, τον χρόνο ταξιδιού, την ελευθερία ελιγμών, τις διακοπές στην κυκλοφορία, την άνεση, την ευκολία και την ασφάλεια.

Μερικά μοντέλα εκπομπών (π.χ., MOBILE6, EMFAC) μπορούν να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα διαφορετικών μέσων ταχυτήτων στην εξοικονόμηση καυσίμου, αλλά δεν παρέχουν τη δυνατότητα τροποποίησης των υποκείμενων οδηγικών κύκλων, το οποίο τελικά θα μπορούσε να αντικατοπτρίσει τις συνθήκες συμφόρησης. Από την άλλη, τα αποκλειστικά μοντέλα εκπομπών προσφέρουν τη δυνατότητα να υπολογιστεί η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ανά δευτερόλεπτο, και γενικά απαιτούν έναν οδηγικό κύκλο ως εισαγωγή δεδομένων. Αυτά τα μοντέλα





έχουν βελτιωθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία και είναι σήμερα διαθέσιμα στο γενικό κοινό (παρ' όλο που οι προδιαγραφές εντατικών δεδομένων (intensive data requirements) ακόμα αποθαρρύνουν την χρήση τους εκτός του ακαδημαϊκού τομέα). Αυτή τη στιγμή αυτά είναι τα μόνο μοντέλα που μπορούν να ποσοτικοποιήσουν τα αποτελέσματα που έχει η συμφόρηση στην εξοικονόμηση καυσίμου.

Σε πολλά έργα που περιλαμβάνουν αλλαγές στην μεταφορική υποδομή (πχ., κατασκευή πρόσθετων λωρίδων κυκλοφορίας) ή στρατηγικές κυκλοφοριακών βελτιώσεων (π.χ., επέκταση λωρίδας αποκλειστικής χρήσης οχημάτων με τουλάχιστον 2 άτομα, παροχή κινήτρων διακίνησης, αύξηση στο κόστος οδήγησης), παρουσιάζονται γενικά οφέλη όσο αφορά την βελτίωση στον μέσο όρο ταχύτητας ή στην στάθμη εξυπηρέτησης κυκλοφορίας. Είναι όμως σπάνιο να αποπειράται ένα πρόγραμμα να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις των κυκλοφοριακών βελτιώσεων στην εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτό συμβαίνει διότι τα μοντέλα εκπομπών που χρησιμοποιούνται ευρέως δεν δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού διαφόρων επιπέδων στάθμης εξυπηρέτησης κυκλοφορίας με την λεπτομέρεια που είναι απαραίτητη για να γίνει ο διαχωρισμός ανάμεσα σε παραλλαγές με ελαφρώς διαφορετικές μέσες ταχύτητες. Η χρήση αποκλειστικών μοντέλων εκπομπών κάνει δυνατή τη αυτή τη διαφοροποίηση, αλλά είναι απαραίτητα τα σωστά δεδομένα επιπέδου έργου για να ποσοτικοποιηθούν με ακρίβεια οι επιπτώσεις του έργου στην συμφόρηση και την στάθμη εξυπηρέτησης κυκλοφορίας και άρα στην κατανάλωση καυσίμου.

Τα αποτελέσματα από αυτή την ανάλυση μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για επαγγελματίες που προσπαθούν να αναλύσουν τις επιπτώσεις της συμφόρησης (και των μεταφορικών βελτιώσεων) στην εξοικονόμηση καυσίμου. Επειδή τα αποτελέσματα δίνονται ξεχωριστά για κάθε διαφορετικό τύπο οχήματος, χρονιά μοντέλου και τεχνολογία μηχανής, οι επαγγελματίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των στρατηγικών τους στην μέση εξοικονόμηση καυσίμου. Οι επαγγελματίες μπορούν επίσης να αναπαράγουν την ανάλυση λαμβάνοντας υπόψη το συγκεκριμένο δείγμα μεικτού στόλου που έχουν στη διάθεσή τους.

2.7.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Υπάρχει μεγάλος όγκος βιβλιογραφίας που καταπιάνεται με το θέμα των αποτελεσμάτων της συμφόρησης στην εξοικονόμηση καυσίμου και εκπομπών από τις μεταφορές, καθώς και για το πώς τα μοντέλα εκπομπών που χρησιμοποιούνται σήμερα ενσωματώνουν παραμέτρους συμφόρησης στους αλγορίθμους τους.





Η πλειονότητα των μοντέλων εκπομπών ενσωματώνουν εμμέσως την συμφόρηση στη διαδικασία υπολογισμού παίρνοντας ως δεδομένο οδηγικούς κύκλους που μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και των τύπο των εγκαταστάσεων. Παραδείγματα τέτοιων μοντέλων περιλαμβάνουν MOBILE6 και EMFAC. Σε αυτά τα μοντέλα οι χρήστες μπορούν να υπολογίσουν τις εκπομπές σε διαφορετικές μέσες ταχύτητες, αλλά δεν υπάρχει η δυνατότητα να λάβουν υπόψη εναλλακτικούς οδηγικούς κύκλους. Η συμφόρηση επομένως συνυπολογίζεται στους παράγοντες των εκπομπών, αλλά τα αποτελέσματα των διάφορων επιπέδων συμφόρησης δεν μπορούν να υπολογιστούν απευθείας. Ενώ τέτοιου είδους μοντέλα είναι κατάλληλα για έργα εθνικής και περιφερειακής κλίμακας, η χρήση τους είναι περιορισμένη σε έργα πιο τοπικής κλίμακας που απαιτούν την ανάλυση των αποτελεσμάτων της συμφόρησης στις εκπομπές.

Τα αποκλειστικά μοντέλα εκπομπών χρησιμοποιούν μια φυσική προσέγγιση με παραμέτρους που αναλύουν όλη τη διαδικασία καύσης σε διαφορετικά μέρη που αντιστοιχούν με φυσικά φαινόμενα, τα οποία σχετίζονται με την λειτουργία του οχήματος. Μετρούν τις τιμές του καυσίμου και των εκπομπών ανά δευτερόλεπτο σύμφωνα με ένα σύνολο παραμέτρων εισόδου που περιγράφουν το όχημα, τους οδηγικούς κύκλους και τις οδικές εγκαταστάσεις. Τα αποκλειστικά μοντέλα έχουν το πλεονέκτημα ότι λαμβάνουν υπόψη όλους τους παράγοντες που έχουν μεγάλη επίδραση στην κατανάλωση καυσίμου, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας του οχήματος, του τύπου καυσίμου, τους τρόπους λειτουργίας, της χρήση παρελκόμενων, των αεροδυναμικών συσκευών και της κλίσης του δρόμου. Λαμβάνοντας υπόψη ξεχωριστούς οδηγικούς κύκλους, τα αποτελέσματα της συμφόρησης στην κατανάλωση καυσίμου μπορούν να υπολογιστούν επαρκώς. Τα MOVES/PERE, που αναπτύχθηκαν από το αμερικανικό EPA, και τα Ολοκληρωμένα Αποκλειστικά Μοντέλα Εκπομπών (Comprehensive Modal Emissions Model (CMEM)), που αναπτύχθηκαν από το Πανεπιστήμιο του Riverside της Καλιφόρνια με συμβόλαιο στο EPA, αποτελούν παραδείγματα αποκλειστικών μοντέλων εκπομπών.

Το 2005, το EPA κυκλοφόρησε την πρώτη μορφή του MOVES, το οποίο τελικά αντικατέστησε το MOBILE6, όταν αυτό αναπτύχθηκε σε όλο το εύρος των δυνατοτήτων του. Το MOVES εφαρμόζει μια προσέγγιση modal τιμής εκπομπών, που βασίζεται σε δεδομένα ταχύτητας ανά δευτερόλεπτο για να αναπτύξει τις τιμές καυσίμου και εκπομπών. Το MOVES υποστηρίζεται από ένα μοντέλο που ονομάζεται PERE (Physical Emission Rate Estimator, εκτιμητής τιμής φυσικής εκπομπής), το οποίο προβλέπει τις τιμές κατανάλωσης καυσίμου από την αντλία μέχρι τον τροχό για μια ποικιλία τύπων οχημάτων και τεχνολογίας μηχανών. Το PERE βασίζεται σε λεπτομερείς παραμέτρους εισαγωγής του οχήματος (πχ, χρονιά μοντέλου,





βάρος, τεχνολογία μηχανής, τύπος καυσίμου, σταθερές αεροδυναμικής οπισθέλκουσας, αντίσταση κύλισης) και στους οδηγικούς κύκλους για να εξάγει τις τιμές κατανάλωσης καυσίμου ανά δευτερόλεπτο. Το PERE αξιολογήθηκε σε τέσσερα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα και αρκετές μοτοσυκλέτες, λεωφορεία και φορτηγά βαριάς χρήσης, και προβλέπει πραγματική κατανάλωση καυσίμου με ακρίβεια 90% .

Το CMEM χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση οδηγικών κύκλων συγκεκριμένων εγκαταστάσεων που λαμβάνουν υπόψη τις επιδράσεις της συμφόρησης. Το CMEM έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων των «έξυπνων» στρατηγικών προσαρμογής ταχύτητας, οι οποίες ελέγχουν την μέγιστη ταχύτητα των οχημάτων βασιζόμενες σε ένα σύνολο προκαθορισμένων παραμέτρων που βασίζονται στον χρόνο και την τοποθεσία.

Επειδή τα μοντέλα ταξιδιωτικής ζήτησης δίνουν μόνο μέσες ταχύτητες βασισμένες σε σύνδεσμο (και όχι πραγματικά προφίλ ταχύτητας), είναι δύσκολο να υπολογίσουμε τα αποτελέσματα των διαφόρων μεταβλητών στην συμφόρηση. Ως αποτέλεσμα, αναπτύχθηκε μια εννοιολογική προσέγγιση βασισμένη στην κλάση της ειδικής ισχύς οχημάτων (vehicle specific power (VSP)) για να ενσωματωθούν οδηγικοί κύκλοι ανά δευτερόλεπτο με μέσες ταχύτητες που είναι βασισμένες σε σύνδεσμο, προερχόμενες από μοντέλα ταξιδιωτικής ζήτησης.

Μια άλλη έρευνα περιλαμβάνει αρχικές τιμές που βασίζονται σε δοκιμές με δυναμόμετρο και φορητά συστήματα ανίχνευσης εκπομπών (portable emissions monitoring systems (PEMS)), και τα δύο δείχνουν ότι η συμφόρηση πράγματι έχει σημαντική επίδραση στις τιμές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών. Το Unal χρησιμοποίησε το PEMS για να εξετάσει τα αποτελέσματα του χρονισμού και του συντονισμού των κυκλοφοριακών σημάτων στις εκπομπές οχημάτων σε αρτηρίες .

2.7.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αυτή η ανάλυση δομήθηκε βάση των ακόλουθων βημάτων:

- Καθορισμός της στάθμης εξυπηρέτησης κυκλοφορίας του δρόμου
- Ανάπτυξη οδηγικών κύκλων
- Επιλογή μοντέλων εκπομπών
- Διαμόρφωση οχημάτων
- Ανάπτυξη της εξοικονόμησης καυσίμων για ορισμένα οχήματα
- Ανάπτυξη της μέσης εξοικονόμησης καυσίμου του στόλου
- Ανάλυση αποτελεσμάτων





Προσδιορισμός στάθμης εξυπηρέτησης κυκλοφορίας του δρόμου

Σε περιφερειακό επίπεδο, τα μοντέλα ταξιδιωτικής ζήτησης χρησιμοποιούνται συνήθως για να υπολογίσουν τις επιδράσεις των διαφορετικών στρατηγικών στην κυκλοφοριακή ροή. Με τα δεδομένα αυτών των μοντέλων είναι πιθανόν να προσδιοριστεί ο όγκος της κυκλοφορίας ανά τύπο οχήματος (σε οχήματα ανά ώρα), την χωρητικότητα του δρόμου (σε οχήματα ανά λωρίδα), μέση ταχύτητα και πυκνότητα κυκλοφορίας (σε οχήματα ανά μίλι) ανά κυκλοφοριακό σύνδεσμο. Παρ' όλο που τα μοντέλα ταξιδιωτικής ζήτησης συνήθως δεν υπολογίζουν την στάθμη εξυπηρέτησης υπηρεσίας άμεσα, μπορεί να προέλθει από την αναλογία μέσης ταχύτητας, όγκου προς χωρητικότητα και κυκλοφοριακή πυκνότητα. Το Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμων περιγράφει μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία υπολογισμού στάθμης εξυπηρέτησης, βασισμένη στις ταξιδιωτικές συνθήκες για διαφορετικούς τύπους δρόμων.

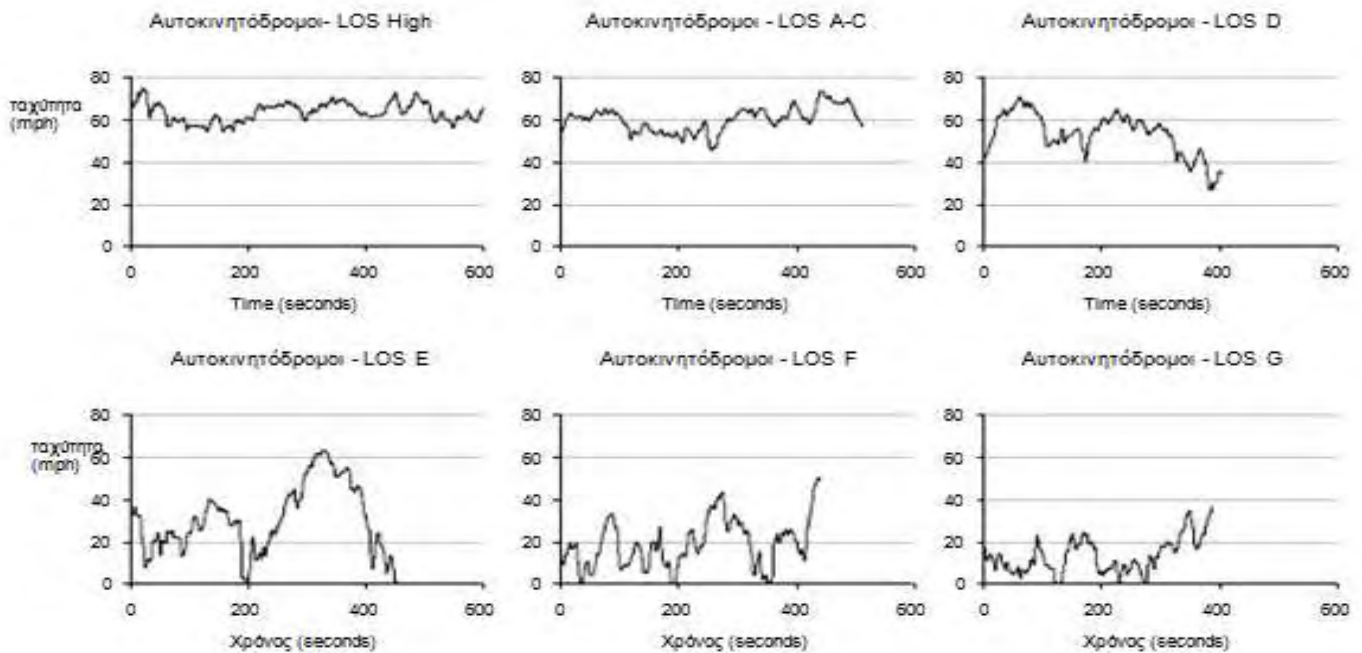
Προσδιορισμός Κύκλων Οδήγησης

Η παραγωγή των παραγόντων εκπομπής που λαμβάνουν υπόψη την στάθμη εξυπηρέτησης κυκλοφορίας του δρόμου εξαρτώνται από την ανάπτυξη των οδηγικών κύκλων, οι οποίοι αποτελούνται από δεδομένα ανά δευτερόλεπτο σε στιγμιαία ταχύτητα και κλίση δρόμου. Επειδή η ανάπτυξη οδηγικών κύκλων συγκεκριμένου έργου είναι χρονοβόρα και απαιτεί πολλούς πόρους, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε σταθερούς οδηγικούς κύκλους. Ένα αμερικανικό ερευνητικό πρόγραμμα του EPA ανέπτυξε ένα σύνολο οδηγικών κύκλων σε διάφορες στάθμες συμφόρησης για διαφορετικούς τύπους δρόμων. Για παράδειγμα, υπάρχουν συγκεκριμένοι οδηγικοί κύκλοι για αυτοκινητοδρόμους σε συνθήκες υψηλής ταχύτητας (Υψηλή στάθμη εξυπηρέτησης (LOS)) και στάθμες υπηρεσίας A έως F. Τα Σχήματα 1 και 2 δείχνουν αυτούς τους οδηγικούς κύκλους για αυτοκινητοδρόμους και αρτηρίες, αντιστοίχως.

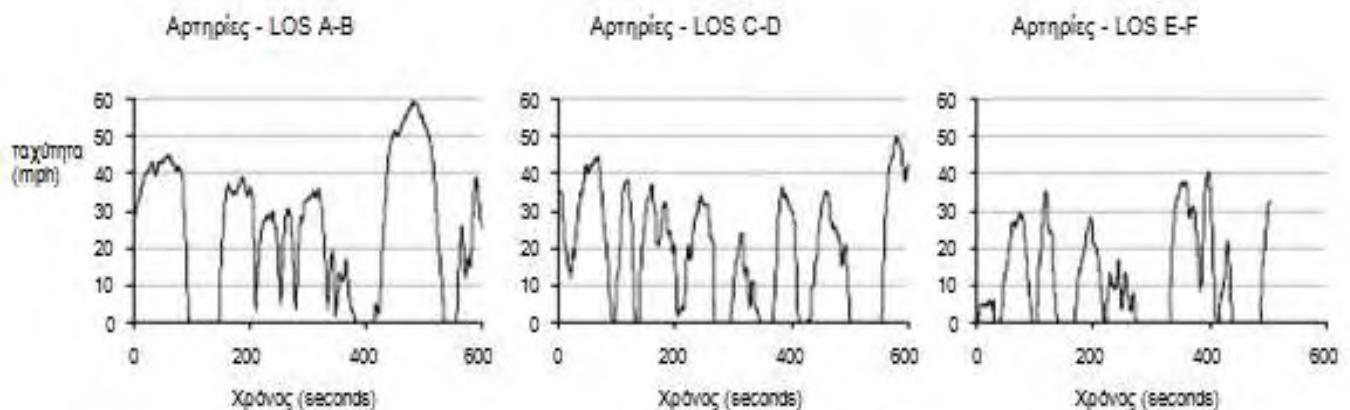




ΣΧΗΜΑ 1 Κύκλοι Οδήγησης για Δρόμους Ελεύθερης Ροής



ΣΧΗΜΑ 2 Κύκλοι Οδήγησης για Αρτηρίες



Επειδή οι μέσες ταχύτητες για διαφορετικούς συνδετήριες οδούς σε ένα μοντέλο ταξιδιωτικής ζήτησης σίγουρα θα διαφέρουν από τις αντίστοιχες των σταθερών οδηγικών κύκλων, κάποιος χρήστης θα μπορούσε να κλιμακώσει αυτούς τους κύκλους έτσι ώστε η μέση ταχύτητα κύκλου να ταιριάζει με την μέση ταχύτητα του δρόμου. Αυτή η μέθοδος θα κρατούσε επίσης τα ίδια μοτίβα επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν δεδομένα επιπέδου έργου χωρίς να υπάρχει η ανάγκη συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων.

Υπάρχει συχνά κριτική για την αναπαράσταση της συμφόρησης και της στάθμης παροχής υπηρεσιών κυκλοφορίας, καθώς τα κυκλοφοριακά μοτίβα και οι καθυστερήσεις μπορούν να έχουν σημαντικές διαφορές στην ίδια στάθμη υπηρεσίας. Μια πρόσθετη έρευνα θα μπορούσε να καταδείξει





εναλλακτικές μεθόδους που θα συνυπολογίζουν την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Επιλογή Μοντέλου Εκπομπών

Όπως συζητήσαμε προηγουμένως, μερικά από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα (πχ., MOBILE6, EMFAC) υπολογίζουν τις εκπομπές του οχήματος βασιζόμενα σε έναν υποκείμενο οδηγικό κύκλο, αλλά γενικά δεν δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει τον οδηγικό κύκλο και επομένως δεν είναι επαρκή για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της συμφόρησης στην κατανάλωση καυσίμου. Τα μοντέλα τρόπου εκπομπών, στα οποία γίνεται συχνά αναφορά ως μοντέλα στιγμιαίων εκπομπών, είναι τώρα η μόνη κατηγορία μοντέλων που δίνει τη δυνατότητα διάκρισης εκπομπών στις κυκλοφοριακές μεταβλητές, εξαιτίας της δυνατότητας τους να λαμβάνουν υπόψη τις στάθμες συμφόρησης. Το PERE, ένα μοντέλου τρόπου που μετρά την τιμή καυσίμου (η τρέχουσά του έκδοση δεν περιλαμβάνει εκπομπές), επιλέχθηκε για αυτή την ανάλυση επειδή υπήρχαν διαθέσιμες αρκετές εισαγόμενες παράμετροι (πχ., σταθερές αεροδυναμικής οπισθέλκουσας, αντίσταση κύλισης, βάρος οχήματος, εκτόπισμα μηχανής).

Διαμόρφωση Οχήματος

Υπάρχουν δυο μονάδες για το μοντέλο PERE του EPA – ένα μοντέλο ελαφριάς και ένα βαριάς χρήσης. Και οι δυο μονάδες λαμβάνουν υπόψη τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ζήτηση του οχήματος σε δύναμη:

$$P = mv[a(1 + \epsilon) + g \cdot \text{κλίση} + gCR] + 0.5\rho CDAFv^3$$

v: ταχύτητα οχήματος σε m/s

CR: αντίσταση κύλισης

a: επιτάχυνση οχήματος σε m/s²

ρ : πυκνότητα αέρα (~1.2 kg/m³)

ϵ : παράγοντας μάζας υπολογιζόμενος τις μάζες CD: σταθερά αεροδυναμικής περιστροφής (~0.1) οπισθέλκουσας

g: επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (9.8 m/s²)

AF: πρόσθια περιοχή σε m²

κλίση: κλίση δρόμου

m: μάζα οχήματος σε τόνους

Ο Πίνακας 1 περιγράφει τις παραμέτρους εισαγωγής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στο PERE. Όσο αφορά την αντίσταση τριβής, την σταθερά αεροδυναμικής οπισθέλκουσας και την πρόσθια περιοχή το PERE δίνει μια μέθοδο που υπολογίζει αυτές τις παραμέτρους βασιζόμενη στο βάρος του οχήματος. Αυτή ήταν η μέθοδος που επιλέχθηκε για αυτή την ανάλυση





Πίνακας 1 Εισαγόμενες Παράμετροι στο PERE

Εισαγόμενη Παράμετρος	Αυτοκίνητο ελαφριάς χρήσης	Φορτηγό ελαφριάς χρήσης (βαν, SUV)	Φορτηγό βαριάς χρήσης (μια μονά)	Φορτηγό βαριάς χρήσης (συνδυασμός)
Έτος Μοντέλου	1986 to 2003	1986 to 2030	1986 to 2030	1986 to 2030
Βάρος Οχήματος (λίβρες)	3,260	4,116	16,847	69,233
Τύπος Καυσίμου	Βενζίνη	Βενζίνη/Πετρέλαιο	Βενζίνη/Πετρέλαιο	Πετρέλαιο
Τύπος Μετάδοσης	Αυτόματο	Αυτόματο	Χειροκίνητο	Χειροκίνητο
Εκτόπισμα Μηχανής (λίτρα)	2.60	4.13(βενζ.) 5.50(πετρέλαιο)	5.50(βενζ.) 5.39(πετρέλαιο)	5.50
Engine Technology	Συμβατικό/Υβριδικό	Υβριδικό	Συμβατικό	Συμβατικό
Εισαγόμενη Παράμετρος	Αυτοκίνητο Ελαφριάς χρήσης Ηλεκτρικό Κύτταρο καυσίμου	Ελαφριάς χρήσης Φορτηγό(βαν, SUV) Ηλεκτρικό Κύτταρο καυσίμου	Φορτηγό βαριάς χρήσης (μία μονάδα)	Βαριάς χρήσης (συνδυασμός)

Ανάπτυξη Εξοικονόμησης Καυσίμου για κάθε Όχημα ξεχωριστά

Μετά τη διαμόρφωση των οχημάτων , το επόμενο βήμα ήταν να αναπτύξουμε την εξοικονόμηση καυσίμου για κάθε όχημα ξεχωριστά, αυτή θα χαρακτηριζόταν από ένα τύπο οχήματος, την χρονιά του μοντέλου, το βάρος του οχήματος, τον τύπο καυσίμου, τον τύπο μετάδοσης, το εκτόπισμα της μηχανής και την τεχνολογία της.

Ανάπτυξη Μέσης Εξοικονόμησης Καυσίμου για τον Στόλο

Αφού καθοριζόταν η εξοικονόμηση καυσίμου για κάθε όχημα ξεχωριστά, υπολογιζόταν οι συνισταμένες μέσω των εκπομπών του στόλου για κάθε ημερολογιακό έτος υπολογίζοντας το κλάσμα VMT για τα διαφορετικά μοντέλα χρονιών, καθώς και μια μείξη τεχνολογιών μηχανής(συμβατικό, υβριδικό, ηλεκτρικό, κύτταρο βενζίνης) και τύπων καυσίμου(βενζίνη, πετρέλαιο ντίζελ), όλα προερχόμενα από το MOVES .

Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος αξιολογεί τις επιδράσεις της κλίσης του δρόμου στη στάθμη διαφορετικών τύπων οχημάτων το 2010. Το δεύτερο μέρος είναι μια ανάλυση ευαισθησίας





που εξετάζει τις επιδράσεις του βάρους του οχήματος στην μείωση της εξοικονόμησης καυσίμου από την πτώση που γίνεται στη στάθμη εξυπηρέτησης. Το τρίτο μέρος ασχολείται με το αν η χρονιά του μοντέλου έχει επίπτωση στις διακυμάνσεις, λόγω συμφόρησης, στην εξοικονόμηση καυσίμου. Τέλος, το τελευταίο μέρος αξιολογεί πως οι διαφορετικές τεχνολογίες μηχανών επηρεάζουν την εξοικονόμηση καυσίμου σε σενάρια συμφόρησης.

2.7.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως είναι αναμενόμενο, τα αποτελέσματα από αυτή την ανάλυση δείχνουν ότι η στάθμη εξυπηρέτησης (level of service (LOS)) έχει μια σημαντική επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου σε όλα τα οχήματα που αξιολογήθηκαν. Τα Σχήματα 3 και 4 δείχνουν πως η εξοικονόμηση καυσίμου κυμαίνεται ανάλογα με την στάθμη εξυπηρέτησης σε αυτοκινητοδρόμους και αρτηρίες και σε βαριάς και σε ελαφριάς χρήσης οχήματα το 2010. Η μείωση στην εξοικονόμηση καυσίμου προέρχεται από πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης (LOS) από A σε F που κυμαίνεται από 23 σε 40% στους αυτοκινητοδρόμους, και από 30 σε 33% στις αρτηρίες, ανάλογα με τον τύπο οχήματος (Πίνακας 2).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι κάποια επίπεδα όγκου κυκλοφορίας μπορεί να έχουν ευεργετική επίδραση στην αποτροπή της ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων, οι οποίες γενικά έχουν αρνητική επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου. Παρόλο που ο κύκλος LOS D αυτοκινητοδρόμου αντανάκλα πιο μεγάλη συμφόρηση στην κυκλοφορία από τον κύκλο LOS A-C αυτοκινητοδρόμου, οι κατώτερες του ταχύτητες εγγυώνται μεγαλύτερη εξοικονόμηση καυσίμου σε όλους τους τύπους οχημάτων. Με τον ίδιο τρόπο, ο υψηλός οδηγικός κύκλος του αυτοκινητοδρόμου έχει μικρότερη εξοικονόμηση καυσίμου από την LOS A-C λόγω της υψηλότερης του μέσης ταχύτητας.

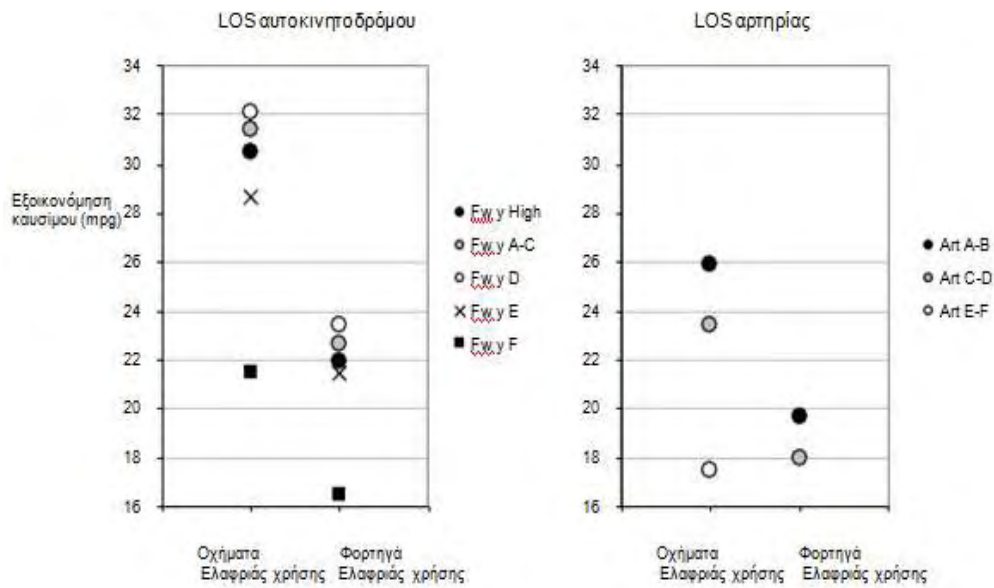
Μια δεύτερη παρατήρηση προερχόμενη από αυτή την ανάλυση δείχνει ότι η εξοικονόμηση καυσίμου στους αυτοκινητοδρόμους παραμένει σε σχετικά περιορισμένα επίπεδα μέχρι η στάθμη να πέσει στο F. Όμως όταν η στάθμη εξυπηρέτησης πέσει στο F, η εξοικονόμηση καυσίμου πέφτει κατά 32% στα αυτοκίνητα ελαφριάς χρήσης και κατά 27% στα φορτηγά ελαφριάς χρήσης. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στα ελαφριά φορτηγά βαριάς χρήσης (HD), των οποίων η εξοικονόμηση καυσίμου πέφτει κατά 23% όταν η στάθμη εξυπηρέτησης πέφτει στο F. Τα βαριά φορτηγά βαριάς χρήσης (HD) συμπεριφέρονται κάπως διαφορετικά, και η εξοικονόμηση καυσίμου έχει την τάση να μειώνεται πιο ομοιόμορφα καθώς πέφτει η στάθμη υπηρεσίας. Η εξοικονόμηση καυσίμου πέφτει κατά 40% όταν η στάθμη υπηρεσίας πέφτει



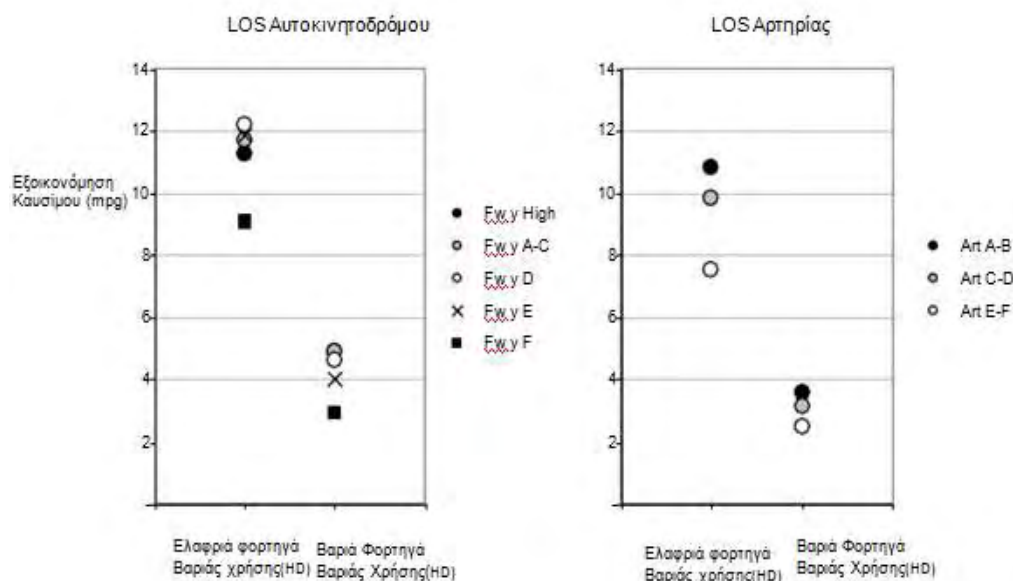


από το A στο F. Η διακύμανση στην κατανάλωση καυσίμου που προέρχεται από μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης στις αρτηρίες είναι πιο ομοιόμορφη σε όλους τους τύπους οχημάτων που έχουν περιληφθεί, και κυμαίνεται από 30 σε 33%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Το γεγονός ότι η εξοικονόμηση καυσίμου δεν πέφτει ομοιόμορφα καθώς αυξάνονται τα επίπεδα συμφόρησης, δείχνει ότι η συσχέτιση μεταξύ σπαταλημένου καυσίμου και καθυστέρησης μπορεί να μην είναι τόσο στενή όσο υποθέταμε προηγουμένως.

ΣΧΗΜΑ 3 Επιδράσεις της Στάθμης Εξυπηρέτησης(LOS) στην εξοικονόμηση καυσίμου– Οχήματα Ελαφριάς Χρήσης



ΣΧΗΜΑ 4 Επιδράσεις της Στάθμης Εξυπηρέτησης(LOS) στην εξοικονόμηση καυσίμου– Οχήματα Βαριάς Χρήσης





	Αυτοκίνητα Ελαφριάς χρήσης	Φορτηγά Ελαφριάς Χρήσης	Ελαφριά Φορτηγά HD	Βαριά Φορτηγά HD
Κύκλοι αυτοκινητοδρόμου				
Υψηλός	30.5	21.9	-	-
A-C	31.4	22.6	11.7	4.9
D	32.1	23.4	12.2	4.6
E	28.7	21.4	11.8	4.0
F	21.5	16.5	9.0	2.9
Διακύμανση από A-F	-32%	-27%	-23%	-40%
Κύκλοι αρτηρίας				
A-B	25.9	19.6	10.8	3.6
C-D	23.4	18.0	9.8	3.1
E-F	17.5	13.7	7.5	2.5
Διακύμανση από A-F	-33%	-30%	-30%	-31%

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 Εξοικονόμηση Καυσίμου σύμφωνα με την LOS και τον Τύπο του Οχήματος

Επίδραση του Βάρους του Οχήματος

Αυτή η μελέτη επίσης αξιολογεί το πώς το βάρος του οχήματος επηρεάζει την εξοικονόμηση καυσίμου όταν η στάθμη του δρόμου πέφτει από το A στο F. Τρέξαμε το μοντέλο PERE για αυτοκίνητα ελαφριάς χρήσης και βαριά φορτηγά βαριάς χρήσης του 2010 με συμβατική μηχανή. Το βάρος του οχήματος κυμαινόταν σε επαυξήσεις 500 λιβρών για τα αυτοκίνητα και 5,000 λιβρών για τα βαριά φορτηγά.

Η μείωση στην εξοικονόμηση καυσίμου από μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης επηρεάζει πιο σημαντικά τα βαριά φορτηγά. Στους αυτοκινητόδρομους η μείωση της εξοικονόμησης καυσίμου πηγαίνει από το 57 στο 70% καθώς το μεγάλο βάρος ενός φορτηγού βαριάς χρήσης αυξάνεται από 50,000 σε 80,000 λίβρες (Πίνακας 3). Η διακύμανση στην μείωση στην εξοικονόμησης καυσίμου είναι πιο περιορισμένη στις αρτηρίες από τους αυτοκινητόδρομους γιατί οι μέσες ταχύτητες είναι χαμηλότερες. Η ίδια τάση δεν παρατηρείται σε αυτοκίνητα ελαφριάς χρήσης και η μείωση στην εξοικονόμηση καυσίμου δεν φαίνεται να συσχετίζεται ιδιαίτερα με το βάρος του οχήματος.





ΠΙΝΑΚΑΣ 3 Επίδραση του Βάρους Οχήματος στην Μείωση Εξοικονόμησης Καυσίμου

Βάρος Οχήματος	Αυτοκινητόδρομοι		Διακύμανση Στην Εξοικονόμηση Καυσίμου	Αρτηρίες		Διακύμανση στην εξοικονόμηση καυσίμου
	Εξοικονόμηση καυσίμου LOS A-C	Εξοικονόμηση Καυσίμου LOS F		Εξοικονόμηση Καυσίμου LOS A-B	Εξοικονόμηση Καυσίμου LOS E-F	
Αυτοκίνητα Ελαφριάς Χρήσης						
2,500	36.6					
3,000	33.5	24.7	-48%	30.1	19.8	-52%
3,500	30.9	22.6	-48%	27.5	18.3	-51%
4,000	28.6	20.8	-48%	25.2	16.7	-51%
4,500	26.6	19.3	-48%	23.4	15.5	-50%
		17.9	-49%	21.5	14.5	-48%
Βαριά Φορτηγά HD						
50,000		3.9	-57%	4.8	3.3	-42%
55,000	6.2	3.6	-60%	4.4	3.1	-43%
60,000	5.8	3.3	-63%	4.1	2.8	-43%
65,000	5.4	3.1	-65%	3.8	2.6	-44%
70,000	5.1	2.9	-67%	3.6	2.5	-44%
75,000	4.9	2.7	-68%	3.4	2.3	-44%
80,000	4.6	2.6	-70%	3.2	2.2	-44%

Επίδραση της Χρονιαίας Μοντέλου

Όταν λαμβάνουμε υπόψη τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, είναι σημαντικό να καταλάβουμε αν οι επιδράσεις της συμφόρησης στην εξοικονόμηση καυσίμου παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Το μοντέλο PERE θεωρεί ότι όλα τα οχήματα, ανεξαρτήτως της τεχνολογίας της μηχανής, θα γίνονται πιο αποδοτικά ως προς τα καύσιμα στο μέλλον. Επομένως, η μέση εξοικονόμηση καυσίμου για τα επόμενα χρόνια θα αυξάνεται γιατί ο στόλος ανανεώνεται συνεχώς. Η εισχώρηση των εναλλακτικών τεχνολογιών (υβριδικό, ηλεκτρικό και με κύτταρο καυσίμου όχημα) επίσης αυξάνεται, βελτιώνοντας έτσι ακόμα περισσότερο την μέση εξοικονόμηση καυσίμου του στόλου.

Αυτή η έρευνα αξιολογεί το πώς η εξοικονόμηση καυσίμου επηρεάζεται από τη στάθμη εξυπηρέτησης για διαφορετικής χρονιάς μοντέλο οχήματος με την ίδια τεχνολογία μηχανής. Στα ηλεκτρικά οχήματα και οχήματα με κύτταρο καυσίμου, οι επιδράσεις της στάθμης εξυπηρέτησης δεν παρουσιάζουν αλλαγές για όλες τις χρονιές μοντέλων από το 1986 έως το 2030, ακόμα και αν τέτοιες τεχνολογίες δεν έχουν εφαρμοστεί σε κλίμακα αρκετά επαρκή ώστε να επικυρωθούν τέτοια αποτελέσματα. Ως προς τις συμβατικές και υβριδικές μηχανές η συμφόρηση είχε μικρότερη επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου στα νεότερα οχήματα απ' ότι στα παλαιότερα. Ο Πίνακας 4 δείχνει την επίδραση που έχει στην εξοικονόμηση καυσίμου μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης ενός αυτοκινητόδρομου από το A στο F, συγκρίνοντας ένα μοντέλο οχήματος του 1986 με ένα του 2030. Με την εξαίρεση των βαρέων





φορτηγών βαριάς χρήσης, η ποινή που προέρχεται από την αύξηση της συμφόρησης είναι χαμηλότερη για νεότερα οχήματα απ' ότι για παλαιότερα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 Μείωση Εξοικονόμησης Καυσίμου από μια Πτώση στην Στάθμη Εξυπηρέτησης(LOS) σε Αυτοκινητόδρομο από Α σε F

Τύπος Οχήματος	Τεχνολογία Οχήματος	Τύπος Καυσίμου	1986 Χρονιά Μοντέλου	2030 Χρονιά Μοντέλου
Αυτοκ. Ελαφριάς Χρήσης	Συμβατικό	Βενζίνη	-36%	-30%
Αυτοκ. Ελαφριάς Χρήσης	Υβριδικό	Βενζίνη	-15%	-12%
Φορτηγό Ελαφριάς Χρήσης	Συμβατικό	Βενζίνη	-35%	-28%
Φορτηγό Ελαφριάς Χρήσης	Υβριδικό	Βενζίνη	-13%	-9%
Ελαφρύ Φορτηγό HD	Συμβατικό	Πετρέλαιο Ντίζελ	-24%	-20%
Βαρύ Φορτηγό HD	Συμβατικό	Πετρέλαιο Ντίζελ	-40%	-40%

Είναι ίσως πιο σημαντικό να κατανοήσουμε πως μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης επηρεάζει την εξοικονόμηση καυσίμου για μελλοντικά ημερολογιακά έτη, απ' το να συγκρίνουμε αυτές τις επιδράσεις για κάθε χρονιά μοντέλου ξεχωριστά. Οι μειωμένες επιδράσεις της συμφόρησης στην εξοικονόμηση καυσίμου για μελλοντικά μοντέλα είναι κάπως αλλοιωμένες γιατί υπάρχει μια μείξη μοντέλων διαφορετικών ετών σε κάθε δεδομένο ημερολογιακό έτος, και χρειάζεται χρόνος για να απομακρυνθούν σταδιακά από τον στόλο τα παλαιότερα οχήματα. Ο Πίνακας 5 δείχνει μείωση στην εξοικονόμηση καυσίμου από μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμου από το Α στο F για τα ημερολογιακά έτη από το 2010 στο 2030. Στον στόλο φορτηγών βαριάς χρήσης, οι επιδράσεις της συμφόρησης στην εξοικονόμηση καυσίμου δεν αλλάζουν σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Όμως ως προς τον στόλο ελαφριάς χρήσης η αύξηση στα επίπεδα συμφόρησης θα έχει μικρότερη επίδραση στην εξοικονόμηση καυσίμου το 2030 απ' ότι το 2010. Ο λόγος αυτής της διακύμανσης είναι κυρίως η υψηλότερη τιμή εισροής υβριδικών οχημάτων στα επόμενα χρόνια (οι υβριδικές μηχανές λειτουργούν πιο αποδοτικά από τις συμβατικές σε συνθήκες συμφόρησης). Οι τιμές εξοικονόμησης καυσίμου είναι πιο σταθερές παρά την πάροδο του χρόνου για τα φορτηγά βαριάς χρήσης αφού δεν υπάρχει εφαρμογή εξελιγμένων τεχνολογιών μηχανών.





ΠΙΝΑΚΑΣ 5 Μείωση στην Εξοικονόμηση Καυσίμου λόγω Πτώσης στην Στάθμη Εξυπηρέτησης(LOS) σε αυτοκινητόδρομους από Α σε F για επόμενα ημερολογιακά έτη.

Ημερολογιακό Έτος	Αυτοκίνητα Ελαφριάς Χρήσης	Φορτηγά Ελαφριάς Χρήσης	Ελαφριά Φορτηγά HD	Φορτηγά Heavy HD
2010	-32%	-27%	-23%	-40%
2015	-29%	-23%	-22%	-40%
2020	-27%	-19%	-22%	-40%
2025	-25%	-17%	-21%	-40%
2030	-25%	-16%	-21%	-40%

Επίδραση της Τεχνολογίας της Μηχανής

Τα επίπεδα συμφόρησης επηρεάζουν την εξοικονόμηση καυσίμου με διαφορετικούς τρόπους για διαφορετικές τεχνολογίες μηχανών. Οι συμβατικές μηχανές αποδίδουν πιο αποτελεσματικά σε συνθήκες σταθερής κατάστασης, που παρέχονται γενικότερα από υψηλότερες στάθμες εξυπηρέτησης (με τον περιορισμό των επιδράσεων των υψηλών ταχυτήτων στην εξοικονόμηση καυσίμου). Οι υβριδικές μηχανές όμως μπορούν να αποδώσουν πιο αποτελεσματικά σε συνθήκες συμφόρησης. Η συμβατική μηχανή έχει την τάση να ενεργοποιείται λιγότερο συχνά εξαιτίας των χαμηλών ταχυτήτων και του γεγονότος ότι η ηλεκτρική μπαταρία φορτίζεται συνεχώς από την ενέργεια που παράγει το φρενάρημα.

Αυτή η ανάλυση αξιολογεί το πώς συμπεριφέρονται οι διαφορετικές τεχνολογίες όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου σε διαφορετικές στάθμες εξυπηρέτησης. Το μοντέλο PERE χρησιμοποιήθηκε για ελαφριάς χρήσης οχήματα (αυτοκίνητο και φορτηγά) του 2010 για τους παρακάτω τύπους μηχανής: συμβατική, υβριδική, ηλεκτρική και κύτταρου καυσίμου. Δεν έγινε ανάλυση για φορτηγά βαριάς χρήσης γιατί είναι απίθανο να γίνουν ευρέως διαδεδομένες οι εξελιγμένες τεχνολογίες στο κοντινό μέλλον (πχ., σε 5-10 χρόνια).

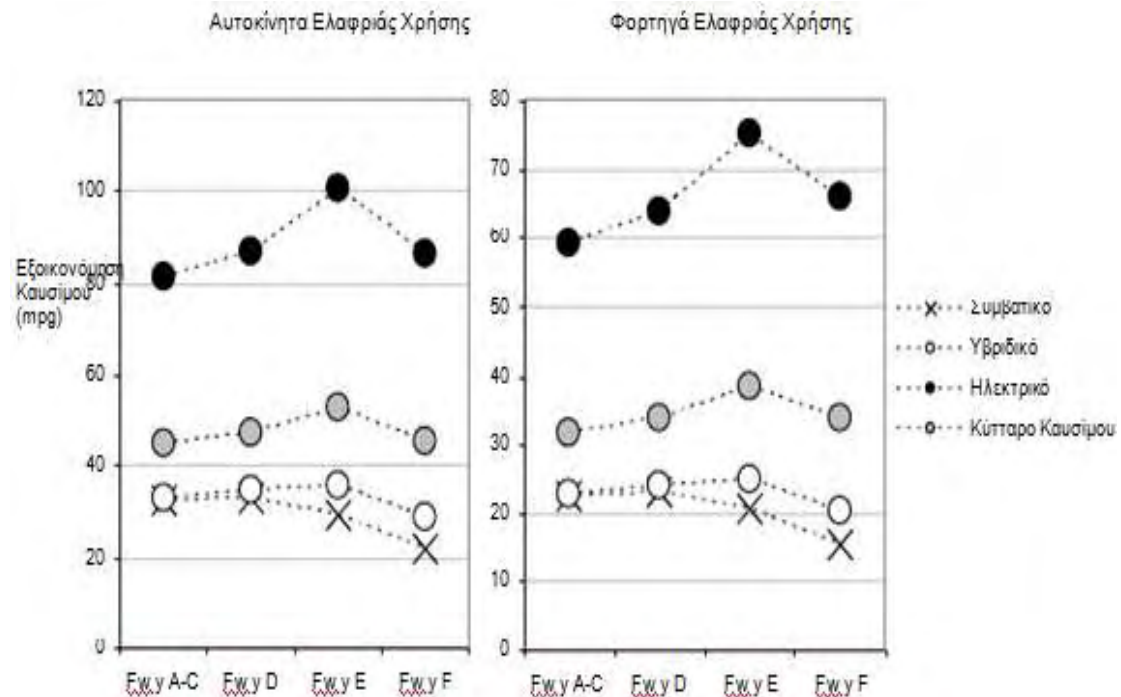
Όπως δείχνει το Σχήμα 5, η εξοικονόμηση καυσίμου(ή ενεργειακή απόδοση) βελτιώνεται καθώς η συμφόρηση του αυτοκινητόδρομου χειροτερεύει φτάνοντας σε στάθμη εξυπηρέτησης E, αλλά μετά πέφτει όταν η στάθμη εξυπηρέτησης φτάνει το F. Στην περίπτωση των συμβατικών και υβριδικών μηχανών υπάρχει μια πτώση στην εξοικονόμηση καυσίμου όταν η στάθμη εξυπηρέτησης πέφτει από το A στο F. Για μηχανές με κύτταρο καυσίμου η εξοικονόμηση καυσίμου παραμένει συγκρίσιμη. Όμως για τις ηλεκτρικές μηχανές η εξοικονόμηση καυσίμου είναι καλύτερη σε στάθμη εξυπηρέτησης F





απ' ότι σε στάθμη εξυπηρέτησης Α κατά 6% για αυτοκίνητα ελαφριάς χρήσης και κατά 10% για φορτηγά ελαφριάς χρήσης.

ΣΧΗΜΑ 5 Επιδράσεις της Στάθμης Εξυπηρέτησης στην Εξοικονόμηση Καυσίμου βάση της Τεχνολογίας της Μηχανής

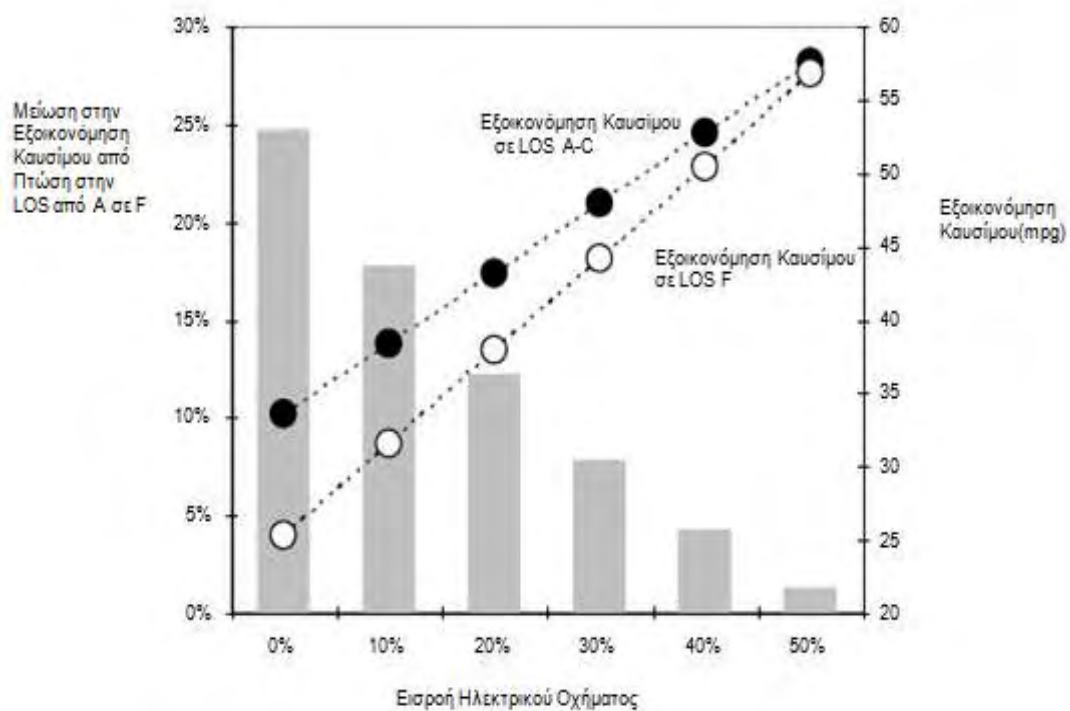


Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω υπάρχουν ξεκάθαρα πλεονεκτήματα για την επιτάχυνση της ανάπτυξης των ηλεκτρικών οχημάτων δεδομένου ότι είναι εξαιρετικά απίθανο να μετριαστεί πλήρως η συμφόρηση βάση ενός εκτεταμένου συστήματος. Το Σχήμα 6 δείχνει την επίδραση των τιμών υψηλής εισροής ηλεκτρικών αυτοκινήτων (στην κατηγορία αυτοκινήτων ελαφριάς χρήσης) στην μέση εξοικονόμηση καυσίμου το 2030. Η ανάλυση υποθέτει ότι τα ηλεκτρικά οχήματα αντικαθιστούν τις συμβατικές μηχανές, ενώ το μερίδιο των υβριδικών και των οχημάτων με κύτταρο καυσίμου παραμένει σταθερό στο 30% και 1%, αντιστοίχως. Την στιγμή που η εξοικονόμηση καυσίμου για την στάθμη εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμου A-C και F συγκλίνει καθώς αυξάνεται η εισροή ηλεκτρικών οχημάτων, η μείωση στην εξοικονόμηση καυσίμου από μια πτώση στην στάθμη εξυπηρέτησης μειώνεται δραματικά, από περίπου 25% (χωρίς ηλεκτρικά οχήματα στον στόλο) σε περίπου 1% (με τον μισό στόλο ηλεκτρικά).





ΣΧΗΜΑ 6 Επιδράσεις της Υψηλότερης Εισροής Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Μέση Εξοικονόμηση Καυσίμου





2.8. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Γενικά

Παρόλο που είναι γνωστό ότι οι κλίσεις του οδοστρώματος επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου από το όχημα και τις τιμές εκπομπών, δεν φαίνεται να υπάρχουν στην βιβλιογραφία συστηματικές αξιολογήσεις αυτών των επιπτώσεων. Επομένως, αυτή η εργασία καλύπτει αυτό το κενό, προσφέροντας μια συστηματική ανάλυση των επιδράσεων της κλίσεων του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος και των τιμών εκπομπών χρησιμοποιώντας λογισμικό ολοκλήρωσης μικροσκοπικής προσομοίωσης κυκλοφορίας. Οι επιδράσεις σε ενέργεια και εκπομπές καταμετρώνται για διάφορες ταχύτητες πορείας, σε συνθήκες εκκίνησης και σταματήματος, και σε διάφορα σενάρια ελέγχου κυκλοφοριακής σηματοδότησης. Η μελέτη καταδεικνύει ότι η επίδραση της κλίσης του οδοστρώματος είναι σημαντική, με αύξηση της τάξης του 9% στην κατανάλωση καυσίμου του οχήματος και στις τιμές εκπομπών για κάθε αύξηση 1% στην κλίση του οδοστρώματος. Επομένως μια μείωση της τάξης του 1% στην κλίση του οδοστρώματος προσφέρει εξοικονόμηση αντίστοιχη με διάφορες μορφές προχωρημένων συστημάτων διαχείρισης ταξιδιού.

2.8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρόλο που η εξοικονόμηση καυσίμου στα οχήματα έχει βελτιωθεί με το πέρασμα των χρόνων, η συμβολή των κινητών πηγών κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών είναι ακόμα σημαντική. Επομένως, μια ακριβής εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου και των εκπομπών είναι ουσιαστική για τα προγράμματα βελτίωσης της ποιότητας του αέρα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου σε ένα όχημα και τις εκπομπές μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες που είναι: οι παράγοντες που σχετίζονται με το ταξίδι, με τον οδηγό, τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου, του οχήματος και οι καιρικές συνθήκες. Οι κλίσεις του οδοστρώματος είναι ένας από τους παράγοντες που σχετίζεται με το οδικό δίκτυο, επηρεάζοντας την κατανάλωση καυσίμου και τις τιμές των εκπομπών.

Παρόλο που είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα οχήματα καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια και εκπέμπουν περισσότερο ενόσω ταξιδεύουν σε ανηφορικές οδούς, σε λίγη βιβλιογραφία έχει γίνει προσπάθεια μελέτης του αποτελέσματος που έχει η κλίση του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμων σε ένα όχημα και τις τιμές των εκπομπών. Ο Pierson διεξήγαγε μια μελέτη υπό πραγματικές συνθήκες με στόχο την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιδράσεων των τρόπων οδήγησης, χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο στόλο οχημάτων που ήταν σε χρήση, μέσω μετρήσεων





απομακρυσμένου αισθητήρα. Οι παράγοντες εκπομπής για μια 3.76% ανηφορική και κατηφορική κλίση καταμετρήθηκαν στην περιοχή FortMcHenry. Η μελέτη έδειξε ότι οι εκπομπές της ανηφορικής κλίσης ήταν μεγαλύτερες από αυτές της κατηφορικής με έναν συντελεστή 1.52, 1.86, και 2.19 για τις εκπομπές μη μεθανιούχων υδρογονανθράκων(NMHC,) για το CO, και NO_x, αντιστοίχως.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να ποσοτικοποιήσει την επίδραση των κλίσεων του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμων σε ένα όχημα και τις τιμές των εκπομπών κινητών πηγών. Η εργασία ερευνά αυτές τις επιδράσεις ως προς τις θερμές σταθεροποιημένες εκπομπές οχημάτων που χρησιμοποιούν βενζίνη ελαφριάς χρήσης και οχημάτων με υψηλές εκπομπές. Όσο αφορά την οργάνωση της εργασίας, αρχικά παρουσιάζεται μια επισκόπηση του πλαισίου εργασίας της μοντελοποίησης ολοκλήρωσης διότι η μελέτη εφαρμόζει στην ανάλυση το λογισμικό ολοκλήρωσης. Θα πρέπει όμως να τονίσουμε ότι η μελέτη επικεντρώνεται στα αποτελέσματα της ανάλυσης και όχι στο πλαίσιο εργασίας μοντελοποίησης. Το πλαίσιο εργασίας παρουσιάζεται μόνο για να δοθεί αξιοπιστία στα αποτελέσματα και στα συμπεράσματα που προέρχονται από την προσπάθεια που γίνεται σε αυτή την έρευνα. Το επόμενο μέρος παρουσιάζει την δημιουργία δικτύων και κάποιες ασκήσεις ανάπτυξης σεναρίων. Επομένως παρουσιάζονται και περιγράφονται αποτελέσματα προσομοίωσης. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2.8.2 ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ/ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ

Το λογισμικό ολοκλήρωσης εφαρμόστηκε σε αυτή τη μελέτη για διάφορους λόγους. Πρώτα απ' όλα συνδυάζει μοντέλα παρακολούθησης αυτοκινήτων, δυναμικής οχημάτων, αλλαγής λωρίδων, ενέργειας και εκπομπών. Με αυτόν τον τρόπο οι κινητές εκπομπές μοντέλων μπορούν να εκμηθούν απευθείας από την στιγμιαία ταχύτητα και τα επίπεδα επιτάχυνσης. Δεύτερον, οι δομοenότητες μοντελοποίησης κυκλοφορίας και εκπομπών δοκιμάζονται και επαληθεύονται εκτενώς.

Για παράδειγμα, το λογισμικό, το οποίο έχει αναπτυχθεί τις περασμένες δυο δεκαετίες, έχει επικυρωθεί για τη βασική θεωρία ροής κυκλοφορίας, αλλά έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση εφαρμογών σε πραγματικές συνθήκες. Επίσης το λογισμικό ολοκλήρωσης προσφέρει μοναδικές δυνατότητες μέσω της εμφανούς μοντελοποίησης της δυναμικής του οχήματος με τον υπολογισμό των δυνάμεων έλξης και αντίστασης στο όχημα ανά ένα δέκατο του δευτερολέπτου (deci-second).





Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαδικασίες που περιγράφονται σε αυτή την εργασία είναι γενικές και θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και σε άλλα λογισμικά που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, αν αυτά συνδυάζουν την μοντελοποίηση διαφόρων δυνάμεων αντίστασης και έλξης που δρουν σε ένα όχημα με ακριβές μοντέλο κατανάλωσης καυσίμου και σε μοντέλα εκπομπών.

Το λογισμικό ολοκλήρωσης χρησιμοποιεί μοντέλα παρακολούθησης αυτοκινήτων για να συλλάβει την διαμήκη αλληλεπίδραση ενός οχήματος και αυτού που προηγείται στην ίδια λωρίδα. Η διαδικασία παρακολούθησης αυτοκινήτων μοντελοποιείται ως μια εξίσωση κίνησης για συνθήκες σταθερής κατάστασης (που επίσης αναφέρονται σε κάποια βιβλιογραφία ως συνθήκες ακινησίας) και για κάποιους περιορισμούς που καθορίζουν στην συμπεριφορά των οχημάτων όταν αλλάζουν κατάσταση από σταθερή σε κάποια άλλη (επιβράδυνση ή/και επιτάχυνση). Ο πρώτος περιορισμός καθορίζει την συμπεριφορά επιτάχυνσης του οχήματος που τυπικά επιβραδύνει τη δυναμική του οχήματος. Ο δεύτερος και τελικός περιορισμός διασφαλίζει το ότι το όχημα έχει μια σχετικά ασφαλή θέση σε σχέση με αυτό που προηγείται για να διασφαλιστεί η ασυμπτωτική σταθερότητα μέσα στο ρεύμα κυκλοφορίας. Μια πιο λεπτομερειακή περιγραφή της διαμήκου μοντελοποίησης της κίνησης ενός οχήματος δίνεται στο. Αντιθέτως, η συμπεριφορά αλλαγής λωρίδας περιγράφει την πλευρική συμπεριφορά των οχημάτων σε ένα τμήμα του δρόμου. Η συμπεριφορά της αλλαγής λωρίδων επηρεάζει την συμπεριφορά του οχήματος που το ακολουθεί, ειδικά σε περιοχές όπου υπάρχει υψηλή συχνότητα αλλαγής λωρίδων, όπως τμήματα συγχώνευσης, διαχωρισμού και πλέξης.

Το λογισμικό επίσης μοντελοποιεί την κατανάλωση καυσίμου και τις τιμές εκπομπών χρησιμοποιώντας το πλαίσιο VT-Micro.

Το μοντέλο VT-Micro αναπτύχθηκε από τον πειραματισμό με πολλούς πολυωνυμικούς συνδυασμούς επιπέδων ταχύτητας και επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα γραμμικοί, τετραγωνικοί και κυβικοί όροι ταχύτητας και επιτάχυνσης δοκιμάστηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα από δυναμόμετρο με φαντίο, τα οποία συγκεντρώθηκαν στο Εθνικό Εργαστήριο Oak Ridge (ORNL). Το τελικό μοντέλο παλινδρόμησης περιλαμβάνει γραμμικούς, τετραγωνικούς και κυβικούς όρους ταχύτητας και επιτάχυνσης γιατί έδινε τον μικρότερο δυνατό αριθμό όρων που ταίριαζαν σχετικά καλά στα αρχικά δεδομένα (R^2 στην υπερβολή του 0.92 για όλες τις Μετρήσεις Αποτελεσματικότητας (Measures of Effectiveness) (MOE)). Τα δεδομένα από το ORNL περιλαμβάνουν εννέα οχήματα που εκπέμπουν κανονικά, συμπεριλαμβανομένων έξι αυτοκινήτων ελαφριάς χρήσης και τριών φορτηγών ελαφριάς χρήσης. Αυτά τα οχήματα επιλέχθηκαν για να δημιουργηθεί το μέσο όχημα σύμφωνα με τον μέσο όρο πωλήσεων όσο αφορά τον κυβισμό της μηχανής, το συνολικό βάρος και τον τύπο του οχήματος. Τα δεδομένα που





συλλέχθηκαν στο ORNL περιελάμβαναν 1,300 με 1,600 ξεχωριστές για κάθε όχημα μετρήσεις και συνδυασμούς MOE ανάλογα με τον φάκελο λειτουργίας του οχήματος, που έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα δεδομένα εκπομπών που συλλέγονται από λίγους οδηγικούς κύκλους αφού είναι αδύνατον να καλυφθεί όλο το λειτουργικό καθεστώς του οχήματος μόνο με λίγους οδηγικούς κύκλους. Συνήθως, οι τιμές επιτάχυνσης ενός οχήματος ποικίλλουν από -1.5 έως 3.7 m/s^2 με προσαυξήσεις 0.3 m/s^2 (-5 έως 12 ft/s^2 σε προσαυξήσεις 1 ft/s^2). Οι ταχύτητες των οχημάτων ποικίλλουν από 0 σε 33.5 m/s (0 έως 121 km/h ή 0 έως 110 ft/s) με προσαυξήσεις 0.3 m/s . Επίσης, το μοντέλο VT-Micro επεκτάθηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα από 60 οχήματα και φορτηγά ελαφριάς χρήσης. Τεχνικές στατιστικών ομαδοποιήσεων εφαρμόστηκαν σε ομάδες οχημάτων χωρισμένες σε ομοιογενείς κατηγορίες χρησιμοποιώντας αλγόριθμους Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης Τρία. Τα 60 οχήματα μπήκαν στις κατηγορίες 5 LDV και 2 LDT. Δημιουργήθηκαν επίσης μοντέλα οχημάτων υψηλής εκπομπής χρησιμοποιώντας δεδομένα εκπομπών ανά δευτερόλεπτο. Βρέθηκε το μοντέλο HEV για να υπολογιστούν οι εκπομπές των οχημάτων με ένα περιθώριο λάθους 10%, αν αυτές συγκριθούν με ενδοεργαστηριακές μετρήσεις σάκων.

Το λογισμικό ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ υπολογίζει την δρούσα δύναμη έλξης ως το ελάχιστο δυο δυνάμεων· συγκεκριμένα: το μέγιστό της δύναμης έλξης της μηχανής (F_e) και το μέγιστο της δύναμης τριβής που μπορεί να διατηρηθεί μεταξύ των τροχών του οχήματος και της επιφάνειας του οδοστρώματος (F_{max}). Η αεροδυναμική αντίσταση (R_a), η αντίσταση κύλισης (R_{rl}) και η αντίσταση κλίσης (R_g) υπολογίζονται επίσης σε κάθε δέκατο του δευτερολέπτου (deci-second). Επομένως, η μέγιστη επιτάχυνση του οχήματος υπολογίζεται τότε ως

$$a = \frac{\min(F_e, F_{max}) - (R_a + R_{rl} + R)}{m}$$

όπου a η επιτάχυνση του οχήματος (m/s^2) και m η μάζα του οχήματος (kg).

Υπολογίζοντας τις εκπομπές των οχημάτων, δεδομένου ότι η ενέργεια που απαιτείται για να ξεπεραστούν οι δυνάμεις αεροδυναμικής αντίστασης και η αντίστασης κυλίσεως συνυπολογίζονται στην ανάπτυξη των μοντέλων κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών, η δρούσα επιτάχυνση του οχήματος προσαρμόζεται για να ληφθεί υπόψη η επιπλέον επιτάχυνση που χρειάζεται για να ξεπεραστεί η συνισταμένη του βάρους του οχήματος που αντιτίθεται στην κίνησή του ως

$$a_e = a + 9.8067G ,$$

όπου a_e η δρούσα επιτάχυνση (m/s^2), 9.8067 είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2), και G η κλίση του οδοστρώματος. Η δρούσα επιτάχυνση





λαμβάνει υπόψη το πραγματικό φορτίο μηχανής που είναι απαραίτητο για να ανταπεξέλθει σε μια κλίση, σε συνδυασμό με την κίνηση του οχήματος. Τα επίπεδα κίνησης και επιτάχυνσης εισάγονται τότε στο μοντέλο VT-Micro για να υπολογιστεί η στιγμιαία κατανάλωση καυσίμου του οχήματος και οι τιμές εκπομπών.

2.8.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Στην ανάπτυξη των σεναρίων δοκιμών, τρία σύνολα μεταβλητών λαμβάνονται υπόψη. Η πρώτη ομάδα μεταβλητών απαρτίζεται από χαρακτηριστικά δικτύου, που περιλαμβάνουν το μήκος των συνδέσμων, αριθμό λωρίδων, τιμές ροής κορεσμού λωρίδων, κλίση οδοστρώματος, και τύπο ελέγχου (σήμα στόπ ή έλεγχος σήματος). Η δεύτερη ομάδα μεταβλητών περιλαμβάνει λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως παραμέτρους χρονομέτρησης σήματος (μήκη κύκλου, φάση διαιρέσεων και μετατοπίσεων). Η τρίτη ομάδα παραμέτρων περιλαμβάνει φορτία ζήτησης κυκλοφορίας, σύνθεση κυκλοφορίας και χαρακτηριστικά οχημάτων.

Στην ποσοτικοποίηση της επίδρασης της κλίσης του δρόμου στην κατανάλωση καυσίμου και στις τιμές εκπομπών αναλύονται τρεις ομάδες σεναρίων. Για κάθε μια από αυτές τις ομάδες σεναρίων η κλίση του οδοστρώματος ποικίλλει από 0 σε 6% για ένα κανονικό όχημα ελαφριάς χρήσης (το σύνθετο όχημα του Εθνικού Εργαστηρίου Oak Ridge) και για ένα όχημα υψηλών εκπομπών (Type 4).

Σενάριο Σταθερής Ταχύτητας

Στο σενάριο σταθερής ταχύτητας η κατανάλωση καυσίμου του οχήματος (L/km) και οι τιμές εκπομπών (g/km) κατατάσσονται ανάλογα με τις διαφορετικές κλίσεις και ταχύτητες πορείας. Οι ταχύτητες πορείας ποικίλλουν από 5 σε 100 km/h με προσαύξηση 5 km/h ενώ οι κλίσεις οδοστρώματος ποικίλλουν από -6 το +6% με προσαύξηση 1%. Επιπλέον, η ανάλυση λαμβάνει υπόψη διάφορα μήκη κλίσης διατηρώντας παράλληλα μια σταθερή απόσταση σταθμισμένης μέσης κλίσης. Αυτό το σενάριο εκτιμά την επίδραση των διαφορών ανιούσας ταυτόσημης αύξησης λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα επίπεδα κλίσης για την ίδια απόσταση ταξιδιού.

Ο σκοπός του σεναρίου σταθερής ταχύτητας είναι να ποσοτικοποιήσει την επίδραση των κλίσεων του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος και στις τιμές εκπομπών σε διαφορετικές ταχύτητες πορείας.





Σενάριο Ελέγχου Σήματος Στοπ

Ο σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να ποσοτικοποιήσει την επίδραση των κλίσεων του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος και στις τιμές εκπομπών για έναν δρόμο που ελέγχεται από σήμα στοπ. Αυτό το σενάριο περιλαμβάνει την επιβράδυνση και επιτάχυνση του οχήματος λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά επίπεδα επιτάχυνσης. Το σενάριο εκτελείται σε μια μονή λωρίδα 2 χλμ όπου προσομοιώνεται ένα μόνο όχημα που ταξιδεύει σε ταχύτητα ελεύθερης ροής km/h και συναντά μια πινακίδα στοπ μετά από 1 km. Τα επίπεδα επιτάχυνσης του οχήματος ποικίλλουν από 40 σε 100% η μέγιστη τιμή, με προσαύξηση 20% για να αναλυθεί η επίδραση της επιθετικότητας του οδηγού στην κατανάλωση καυσίμου και τις τιμές εκπομπών.

Σενάριο Ελέγχου Σηματοδότη

Το σενάριο ποσοτικοποιεί την διακύμανση στις ΜΟΕ ως αποτέλεσμα των διακυμάνσεων της κυκλοφοριακής σηματοδότησης και των ανηφορικών και κατηφορικών κλίσεων οδοστρώματος. Το δίκτυο που χρησιμοποιείται σε αυτή την ανάλυση αποτελείται από τρεις διασταυρώσεις με σηματοδότες σε τμήμα δρόμου μήκους 2χλμ.. Διασταυρώσεις με σηματοδότες έχουν τοποθετηθεί μετά από 500 μ, 1000μ, και 1500μ. Η διάρκεια του κύκλου της κάθε μιας από τις τρεις διασταυρώσεις τίθεται στα 60 s με διακυμάνσεις που ποικίλλουν από 0 σε 50 s με προσαύξηση 10s. Κάθε ένας από τους τρεις σηματοδότες ελέγχεται από χρονόμετρα δυο φάσεων με φάση διαχωρισμού 70:30 (ανατολή/ δύση έναντι βορρά/νότου). Οι κλίσεις οδοστρώματος ποικίλλουν από 0 σε 6% με προσαυξήσεις 1%, με ανιούσα κλίση στην ανατολική κατεύθυνση και κατιούσα στην δυτική κατεύθυνση. Η ταχύτητα ελεύθερης ροής του δικτύου είναι 64 km/h (40 mi/h) με τιμή κορεσμού της ροής της λωρίδας στα 1600 veh/h. Μια κυκλοφοριακή απαίτηση 800 veh/h φορτώνεται στις ανατολικές και δυτικές κατευθύνσεις, αντιστοίχως. Σε διαφορετική περίπτωση, οι απαιτήσεις στην βόρεια και την νότια κατεύθυνση ρυθμίζονται στα 320 veh/h.

2.8.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα για το κάθε ένα από τα τρία σενάρια παρουσιάζονται στα ακόλουθα μέρη. Αρχίζουμε με το σενάριο σταθερής ταχύτητας, ακολουθεί το σενάριο σήματος στοπ και κλείνουμε με το σενάριο κυκλοφοριακού





Σενάριο Σταθερής Ταχύτητας

Αυτό το τμήμα περιγράφει τα αποτελέσματα των σεναρίων συνεχούς ταχύτητας για οχήματα και κανονικών και υψηλών εκπομπών. Αυτές οι διαδρομές εκτελέστηκαν με την προσομοίωση της κίνησης ενός οχήματος σε ένα τμήμα 1-km με σταθερή ταχύτητα. Η κατανάλωση καυσίμων στο όχημα και οι τιμές εκπομπών υπολογίστηκαν για το σύνολο του ταξιδιού έτσι ώστε να υπολογιστεί μια απόσταση βασισμένη στην κατανάλωση καυσίμων και στις τιμές εκπομπών.

Κανονικό Όχημα Ελαφριάς Χρήσης

Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν, όπως ήταν αναμενόμενο, μια αύξηση στην κατανάλωση καυσίμων και στις τιμές εκπομπών με την αύξηση στην κλίση του οδοστρώματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης μια σχέση γραφικής παράστασης U ανάμεσα στην ταχύτητα πορείας και στο στην ελάχιστη τιμή κατανάλωσης καυσίμου που παρατηρείται σε ταχύτητα 75 km/h. Δεδομένου ότι ένα όχημα που ταξιδεύει σε χαμηλότερες ταχύτητες απαιτεί περισσότερο χρόνο για να διανύσει το τμήμα του δρόμου του 1χλμ, παρά τις χαμηλότερες χρονο-εξαρτώμενες τιμές κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών, το συνολικό καύσιμο που καταναλώνεται και οι εκπομπές είναι σημαντικά υψηλότερες σε χαμηλότερα επίπεδα ταχύτητας. Καθώς η ταχύτητα του οχήματος αυξάνεται, αυξάνεται επίσης και η χρονο-εξαρτώμενη τιμή, όμως σε μια τιμή που είναι μικρότερη από την τιμή αύξησης του χρόνου ταξιδιού. Επομένως, η κατανάλωση βάση απόστασης και οι τιμές των εκπομπών μειώνονται μέχρι η τιμή αύξησης στην χρονο-εξαρτώμενη τιμή να ξεπεράσει την τιμή μείωσης στον χρόνο που περνάει στο σύστημα. Μια πιο λεπτομερής περιγραφή αυτών των συμπεριφορών μπορούν να βρεθούν και αλλού στην βιβλιογραφία [20].

Οι διακυμάνσεις στις τιμές εκπομπής CO_2 ως συνάρτηση της ταχύτητας πορείας και της κλίσης του οδοστρώματος φαίνεται να είναι παρόμοια με αυτή της κατανάλωσης καυσίμου. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές εκπομπής CO_2 δείχνουν μια φόρμα συνάρτησης γραφικής παράστασης ως προς την ταχύτητα πορείας, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται σε χαμηλές ταχύτητες. Η ελάχιστη όμως τιμή εκπομπής CO_2 , αντίθετα με τη τιμή κατανάλωσης καυσίμου, ποικίλλει σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή CO_2 σημειώνεται σε ταχύτητα πορείας 75 km/h για μια κλίση από 0 σε 6%, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Αντιθέτως η φόρμα συνάρτησης για τα προφίλ εκπομπής HC και CO διαφέρει από τα προφίλ του CO_2 και της κατανάλωσης καυσίμου. Τα προφίλ HC και CO είναι παρόμοια, όμως σε εύρος χαμηλότερων ταχυτήτων τα προφίλ αυτά





διαφοροποιούνται. Οι τιμές εκπομπής HC και CO έχουν μια μορφή συνάρτησης γραφικής παράστασης U με εξαιρετικά υψηλές τιμές σε υψηλές ταχύτητες πορείας. Στην περίπτωση εκπομπής CO η αύξηση της εκπομπής σε χαμηλές ταχύτητες είναι ελάχιστη, ενώ αυτό δεν ισχύει για την εκπομπή HC.

Τέλος, η διακύμανση στην τιμή εκπομπής NOx σε συνάρτηση με την ταχύτητα πορείας δείχνει μια ελαφρώς διαφορετική συμπεριφορά όταν συγκρίνεται με άλλα μέτρα αποτελεσματικότητας(MOE). Συγκεκριμένα, η φόρμα συνάρτησης έχει μια βέλτιστη ταχύτητα αρκετά χαμηλή (30 km/h) που μειώνεται με την αύξηση των ταχυτήτων πορείας.

Η συμπεριφορά στα MOE ως συνάρτηση της ταχύτητας πορείας του οχήματος και των επιπέδων κλίσης του οδοστρώματος ποικίλλει σε διαφορετικά MOE. Για παράδειγμα, η κατανάλωση καυσίμου και οι τιμές εκπομπής CO₂ είναι πιο ευαίσθητες στις διακυμάνσεις των επιπέδων ταχύτητας πορείας από ότι στις διακυμάνσεις κλίσεων οδοστρώματος. Αντιθέτως, οι εκπομπές HC, CO, NOx είναι πιο ευαίσθητες στις κλίσεις οδοστρώματος. Επιπροσθέτως οι εκπομπές NOx και CO₂ είναι πιο ευαίσθητες στην κλίση του οδοστρώματος σε ταχύτητες πορείας από 35 έως 65km/h και σε 65 έως 95 km/h αντίστοιχα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Αντιθέτως, η εκπομπή HC και CO είναι πιο ευαίσθητη στην κλίση του οδοστρώματος σε υψηλές ταχύτητες πορείας(100 km/h).

Η υψηλότερη εκπομπή HC, CO, και NOx για κλίση 6% έναντι κλίσης 0%, σε ταχύτητα 100 km/h είναι το αποτέλεσμα του υψηλότερου φορτίου μηχανής (συνδυασμός ταχύτητας και επιτάχυνσης) υπό αυτές τις συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η κλίμακα για αυτές τις εκπομπές είναι πολύ μικρότερη και γι' αυτό η γραφική παράσταση υπερβάλλει στην επίδραση των κλίσεων σε σύγκριση με τις τιμές CO₂ και τις τιμές κατανάλωσης καυσίμου.

Η τελική ανάλυση διερευνά τις διαφορές στην κατανάλωση καυσίμου και στις τιμές εκπομπών που σχετίζονται με σενάρια σχεδιασμού εναλλακτικής κλίσης που λαμβάνουν υπόψη ταυτόσημες συνολικές κλίσεις. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι απότομες και μικρότερες σε απόσταση κλίσεις έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με μακρύτερες και ηπιότερες κλίσεις και ακριβώς τις ίδιες ανόδους κλίσης, λαμβάνοντας υπόψη τμήματα ίσου μήκους, όπως φαίνεται στην εικόνα 3. Επομένως, από σχεδιαστικής απόψεως μια ήπια κλίση μεγάλης απόστασης είναι πιο αποτελεσματική από μια απότομη κλίση μικρής απόστασης.





Όχημα Υψηλών Εκπομπών

Η κατανάλωση καυσίμου και η εκπομπή του HEV επίσης αυξάνονται με την αύξηση της κλίσης του οδοστρώματος. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του Κανονικού LDV με αυτά του HEV, οι γραφικές παραστάσεις κατανάλωσης καυσίμου, συμπεριφοράς εκπομπής CO₂ και NO_x είναι παρόμοια σε συνάρτηση με την ταχύτητα πορείας και τα επίπεδα κλίσης. Όμως, οι απόλυτες τιμές της κατανάλωσης καυσίμου και των τιμών εκπομπής CO₂ του HEV είναι μικρότερες από του Κανονικού LDV. Αυτό συμβαίνει γιατί το Κανονικό LDV που χρησιμοποιήθηκε έχει μεγαλύτερη μηχανή από το HEV. Στην περίπτωση της εκπομπής NO_x, η μάζα των εκπομπών του HEV είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή του Κανονικού LDV. Επιπροσθέτως, το εύρος των ταχυτήτων στο οποίο οι τιμές εκπομπής NO_x είναι υψηλότερες αλλάζει σε εύρος χαμηλών ταχυτήτων σε σύγκριση με αυτές του Κανονικού LDV. Από την άλλη πλευρά, οι γραφικές παραστάσεις για τα προφίλ εκπομπής HC και CO για το HEV είναι διαφορετικές σε σύγκριση με αυτές του Κανονικού LDV. Πιο συγκεκριμένα, το Κανονικό LDV παράγει υψηλότερες εκπομπές στις υψηλές ταχύτητες, ενώ το HEV παράγει υψηλότερες εκπομπές στις χαμηλές ταχύτητες.

Υπολογίζεται το ποσοστό αλλαγής στα MOE σε σχέση με το σενάριο κλίσης 0% για κάθε κλίση του δρόμου που αφορά HEV. Το ποσοστό που αλλάζει στα MOE του HEV είναι σχετικά μικρότερο από αυτό του Κανονικού LDV. Αυτό συμβαίνει γιατί η μάζα εκπομπών σε μηδενική κλίση, χαμηλότερος παρονομαστής, είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του Κανονικού LDV. Οι αλλαγές στα MOE του HEV είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις απόλυτες τιμές αλλά μικρότερες σε σχέση με στις σχετικές τιμές απ' ό,τι αυτές του Κανονικού LDV.

Κοιτώντας τα προφίλ των MOE σε συνάρτηση με την ταχύτητα και τα επίπεδα κλίσης του οδοστρώματος, η επιδράσεις στο HEV είναι διαφορετικές από αυτές στο Κανονικό LDV. Δηλαδή η κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές HC, CO, και CO₂ emissions είναι πιο ευαίσθητες στην διακύμανση των επιπέδων ταχύτητας. Όμως, η εκπομπή NO_x είναι πιο ευαίσθητη στις κλίσεις του οδοστρώματος.

Σενάριο Ελέγχου Σήματος Στοπ

Ο κύριος σκοπός του σεναρίου στάσης σε στοπ είναι να ποσοτικοποιήσει την επίδραση των κλίσεων του οδοστρώματος κατά την διάρκεια των ελιγμών εκκίνησης και στάσης. Αυτό το σενάριο είναι διαφορετικό από το σενάριο σταθερής ταχύτητας στο ότι περιλαμβάνει την επιβράδυνση και την επιτάχυνση του οχήματος. Στα πλαίσια αυτού του σεναρίου γίνεται μια





ανάλυση των επιδράσεων των κλίσεων του οδοστρώματος και των επιπέδων επιτάχυνσης στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος.

Όπως αναφέραμε παραπάνω στο μέρος της μεθοδολογίας, λαμβάνονται υπόψη για αυτό το σενάριο τέσσερα διαφορετικά επίπεδα επιτάχυνσης. Τα επίπεδα επιτάχυνσης ποικίλλουν από 40% σε 100%, μέγιστη τιμή, με προσαυξήσεις of 20%. Η Εικόνα 4 δείχνει τα προφίλ επιτάχυνσης, ταχύτητας και εκπομπής για αύξηση δυο επιπέδων επιτάχυνσης διαδρομών. Το πάνω αριστερά σχεδιάγραμμα δείχνει το όριο εγκυρότητας του μοντέλου VT-Micro να υπερτίθεται στο προφίλ ταχύτητας/επιτάχυνσης ενός προσομοιωμένου οχήματος για διαφορετικά επίπεδα επιτάχυνσης. Όπως μπορούμε να δούμε, δυο παρατηρήσεις ξεπερνούν το όριο του VT-Micro, στην περίπτωση που το όχημα επιταχύνει στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (επίπεδο επιτάχυνσης 100%).

Σε άλλη περίπτωση όλα τα δεδομένα βρίσκονται μέσα στο ισχύον εύρος του μοντέλου VT-Micro. Το σχεδιάγραμμα επίσης δείχνει την προσωρινή διακύμανση στην κατανάλωση καυσίμου και στις τιμές εκπομπής ενός οχήματος καθώς το όχημα επιβραδύνει και επιταχύνει σε τμήματα του δρόμου με διαφορετική κλίση. Το σχεδιάγραμμα δείχνει ότι οι τιμές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών ενός οχήματος μειώνονται καθώς το όχημα επιβραδύνει και αυξάνονται σημαντικά καθώς αυτό επιταχύνει. Το σχεδιάγραμμα επίσης δείχνει ότι οι τιμές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών ενός οχήματος είναι πολύ ανόμοιες σε διαφορετικές κλίσεις.

Κανονικό Όχημα Ελαφριάς Χρήσης

Πριν εξετάσουμε τα αποτελέσματα του σεναρίου σήματος στοπ χρειάζεται να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα δυο σεναρίων, της σταθερής ταχύτητας και του σήματος στοπ, χωρίς να λάβουμε υπόψη τις επιδράσεις της κλίσης του οδοστρώματος. Υπολογίζονται οι διαφορές στην κατανάλωση καυσίμου και στις τιμές εκπομπών για τα δυο σενάρια αφορούν κλίση 0%. Ως αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης, η κατανάλωση καυσίμου και οι τιμές εκπομπής HC, CO, NOx, και CO₂ του σεναρίου σήματος στοπ είναι υψηλότερες κατά 23%, 143%, 274%, 78%, και 20%, αντιστοίχως, από αυτές του σεναρίου σταθερής ταχύτητας όσο αφορά το Κανονικό LDV, και υψηλότερες κατά 13%, 18%, 20%, 4%, και 11% αντιστοίχως, όσο αφορά το HEV. Όπως μπορούμε να δούμε όλα τα MOE του σεναρίου σήματος στοπ είναι υψηλότερα από αυτά του σεναρίου σταθερής ταχύτητας, όπως θα περίμενε κανείς, δεδομένου του ότι το όχημα χρειάστηκε να σταματήσει. Οι πρόσθετη εκπομπή HC και CO για το Κανονικό LDV που προέρχεται από την εισαγωγή ενός στοπ είναι σημαντική. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συμπεριφορά στάσης και εκκίνησης έχει σημαντικές επιδράσεις στην εκπομπή HC και CO σε σύγκριση με άλλες εκπομπές και για το κανονικό όχημα και για το HEV.





Αναλύοντας τα αποτελέσματα επίδρασης της κλίσης του οδοστρώματος για το σενάριο σήματος στοπ τα MOE είναι πιο ευαίσθητα στις κλίσεις του οδοστρώματος από ότι στα επίπεδα επιτάχυνσης του οχήματος. Οι αλλαγές στα MOE σε συνάρτηση με τα επίπεδα επιτάχυνσης, σε σχέση με τη βάση του μέγιστου επιπέδου επιτάχυνσης 40%, κυμαίνονται από -9% έως 228%. Αντιθέτως, τα MOE κυμαίνονται από 1% σε 364% σε συνάρτηση με τις κλίσεις του οδοστρώματος, σε σύγκριση με την περίπτωση βάσης της κλίσης 0%.

Το ποσοστό αλλαγής στα MOE σε συνάρτηση με τα επίπεδα επιτάχυνσης του οχήματος δείχνει μια σημαντική αύξηση σε εκπομπές HC και CO σε σύγκριση με άλλα MOE. Όσο αφορά τα αποτελέσματα της κλίσης του οδοστρώματος, οι ποσοστιαίες αλλαγές είναι πιο δραστικές σε χαμηλότερα επίπεδα κλίσης. Υπολογίζεται η ποσοστιαία αλλαγή στα MOE σε σχέση με το μέγιστο επίπεδο επιτάχυνσης 40%, σε κλίση 0% και 6%. Επομένως οι αλλαγές στην εκπομπή HC και CO κυμαίνονται από 26% σε 127% και από 32% σε 228%, αντιστοίχως. Από την άλλη πλευρά, οι εκπομπές NOx και CO₂ αυξάνονται ελαφρώς όσο αυξάνει το επίπεδο επιτάχυνσης του οχήματος. Οι αλλαγές στην εκπομπή NOx και CO₂ κυμαίνονται από -9% σε 1% και από -3% σε -1%, αντιστοίχως. Τέλος, η κατανάλωση καυσίμου επηρεάζεται ελαφρώς από το επίπεδο επιτάχυνσης του οχήματος.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα όσο αφορά τις επιδράσεις των κλίσεων του οδοστρώματος, αυτά δείχνουν μια αύξηση στα MOE καθώς αυξάνεται η κλίση του οδοστρώματος, όπως συνέβαινε στην περίπτωση του σεναρίου σταθερής ταχύτητας. Οι ποσοστιαίες αλλαγές στα MOE δεν είναι τόσο σημαντικές όσο στην περίπτωση του σεναρίου σταθερής ταχύτητας. Η κατανάλωση δηλαδή καυσίμου και οι εκπομπές HC, CO, NOx, και CO₂ έχουν μια μέγιστη αλλαγή της τάξης του 111%, 207%, 338%, 364%, και 108%, αντιστοίχως. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι επιδράσεις της κλίσης του οδοστρώματος στις εκπομπές HC και CO είναι σχετικά μικρές όταν το όχημα λειτουργεί σε υψηλότερα επίπεδα επιτάχυνσης.

Όχημα Υψηλών Εκπομπών

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του HEV με εκείνα του Κανονικού LDV κανείς θα μπορούσε να παρατηρήσει ότι τα MOE μειώνονται καθώς το επίπεδο της επιτάχυνσης του οχήματος αυξάνεται. Οι ποσοστιαίες αλλαγές στα MOE υπολογίζονται σε σχέση με το επίπεδο επιτάχυνσης 40% μαζί με μια κλίση 0% και 6%. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι το ότι τα MOE κυμαίνονται από -13% σε 0%.





Από την άλλη πλευρά, υπολογίζονται τα MOE και η ποσοστιαία αλλαγή σε αυτά σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος και τα επίπεδα επιτάχυνσης. Ως αποτέλεσμα της σύγκρισης, οι σχετικές αλλαγές δεν είναι μεγαλύτερες από αυτές του Κανονικού LDV. Η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές HC, CO, NOx, και CO₂ έχουν μέγιστες αλλαγές της τάξεως του 98%, 70%, 104%, 94%, και 98%, αντιστοίχως. Οι απόλυτες όμως αξίες για τα MOE είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες του Κανονικού LDV, με εξαίρεση τις τιμές κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπής CO₂. Η αναλογία των MOE του HEV ως προς το Κανονικό LDV υπολογίζεται για κάθε μια από τις κλίσεις οδοστρώματος από 0%~6%. Επομένως η κατανάλωση καυσίμου, το HC, CO, NOx, και CO₂ κυμαίνονται από 80%~76%, 697%~558%, 308%~262%, 896%~387%, και 101%~103%, αντιστοίχως. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε αντίθεση με το Κανονικό LDV, οι εκπομπές HC και CO μένουν σχετικά ανεπηρέαστες ως προς τα επίπεδα επιβράδυνσης.

Σενάριο Ελέγχου Σήματος

Πριν να συζητήσουμε τα αποτελέσματα του σεναρίου ελέγχου σήματος παρουσιάζεται μια περιγραφή της έννοιας του Δείκτη Απόδοσης (Performance Index (PI)) αφού χρησιμοποιείται ως μια αντικειμενική συνάρτηση στον υπολογισμό των βέλτιστων μετακινήσεων σήματος κυκλοφορίας (the optimum traffic signal offsets).

Ο PI Υπολογίζεται ως εξής

Δείκτης Απόδοσης = Αριθμός Στάσεων × 10 + Συνολική Καθυστέρηση.

Πρώτα υπολογίζονται οι βέλτιστες μετακινήσεις για να μεγιστοποιήσουμε τον PI. Επομένως οι περιβαλλοντικές επιδράσεις υπολογίζονται για τις ταυτοποιημένες χρονομετρήσεις του σήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι το η κατεύθυνση προς την ανατολή ταξιδεύει ανηφορικά ενώ προς τη δύση κατηφορικά.

Οι ποσοστιαίες αλλαγές στα MOE υπολογίζονται σε συνάρτηση με την κλίση οδοστρώματος. Η κατανάλωση καυσίμου και το HC, CO, NOx, και CO₂ κυμαίνονται από 13%~109%, 8%~121%, 12%~168%, 32%~424%, και 13%~109%, αντιστοίχως, όσο αφορά την ανατολική κατεύθυνση, και -37%~-9%, -30%~-6%, -50%~-9%, -59%~-20%, και -37%~-10%, αντιστοίχως, όσο αφορά τη δυτική κατεύθυνση. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια αύξηση στην εκτίμηση των MOE καθώς αυξάνεται η κλίση του οδοστρώματος που δείχνει ότι τα πρόσθετα MOE που εκτιμώνται στην ανατολική κατεύθυνση(ανωφέρεια) ξεπερνούν την εξοικονόμηση τα MOE της δυτικής κατεύθυνσης (κατωφέρεια).





Κανονικό Όχημα Ελαφριάς Χρήσης

Βάση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, οι βέλτιστες και χειρότερες μετακινήσεις για την ανατολική κατεύθυνση (ανωφέρεια) που βασίζονται στον PI είναι αντιστοίχως 40 και 0 seconds σε κλίση 0%. Συγκρίνονται το σενάριο σταθερής ταχύτητας και το σενάριο σήματος σε κλίση 0%, όταν το δίκτυο ελέγχεται στις βέλτιστες και χειρότερες μετακινήσεις. Ως αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης, τα MOE στην μετακίνηση των 0 και 40 seconds είναι υψηλότερα από εκείνα του σεναρίου σταθερής ταχύτητας κατά 20% ~ 59% και 41%~65%, αντιστοίχως.

Είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε κατά πόσον η βέλτιστη μετακίνηση κυμαίνεται σε συνάρτηση με τα MOE λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές κλίσεις οδοστρώματος. Η βέλτιστη μετακίνηση για την ανατολική κατεύθυνση (ανωφέρεια) που βασίζεται στον PI είναι 40 s. Η βέλτιστη μετακίνηση για την ανατολική κατεύθυνση χρησιμοποιώντας άλλα MOE είναι επίσης 40 s. Αντιθέτως, λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεντρωτικά MOE για τις ανατολικές και δυτικές κατευθύνσεις, η βέλτιστη μετακίνηση που βασίζεται στον PI είναι 40 s για κλίσεις 0, 1, 2, και 3% και 30 s για κλίσεις 4, 5, και 6%. Η βέλτιστη μετακίνηση που βασίζεται στην κατανάλωση καυσίμου και στις εκπομπές είναι πάντα 40 s ανεξαρτήτως της κλίσης του οδοστρώματος. Επίσης η χειρότερη μετακίνηση είναι σχεδόν 0 s ανεξαρτήτως των MOE που λαμβάνονται υπόψη για την βελτίωση των μετακινήσεων σε σήματα. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι η κατανάλωση καυσίμου και η εκπομπή της εξάτμισης ενός οχήματος είναι γενικά χαμηλές όταν το δίκτυο ελέγχεται στην καλύτερη μετακίνηση περιλαμβανομένου σήματος με απόδοση βασισμένη στον PI. Συνοπτικά ο PI είναι μια καλή αντικειμενική συνάρτηση στην επιλογή χρονομέτρησης κυκλοφοριακών σημάτων που συντελούν στην βελτίωση του περιβάλλοντος.

Το Σχήμα 5 δείχνει την διακύμανση των MOE σε συνάρτηση με τις κλίσεις του οδοστρώματος και τις μετακινήσεις για σήματα για το Κανονικό LDV. Τα νούμερα δείχνουν ότι η κλίση του οδοστρώματος είναι σημαντική στον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου και των τιμών εκπομπής. Πιο συγκεκριμένα οι εκπομπές NOx είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στις κλίσεις του οδοστρώματος.

Όχημα Υψηλών Εκπομπών

Η διακύμανση στην κατανάλωση καυσίμου και των τιμών εκπομπής για το HEV σε συνάρτηση με την κλίση του οδοστρώματος είναι πολύ παρόμοια με τα αποτελέσματα του Κανονικού LDV. Παρομοίως, οι τιμές των MOE πλησιάζουν το βέλτιστο για τις βέλτιστες μετακινήσεις σήματος, που προέρχονται από την ελαχιστοποίηση του PI. Όμως οι διαφορές στις απόλυτες αξίες για το HEV είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες του Κανονικού LDV. Η αναλογία του HEV ως προς το Κανονικό LDV για την κατανάλωση





καυσίμου, για το HC,CO, NO_x, και CO₂ κυμαίνονται σε 84%~78%, 1522%~1201%, 944%~720%, 1118%~508%, και 99%~ 100%, αντιστοίχως. Όπως μπορούμε να δούμε, η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές CO₂ είναι ελαφρώς χαμηλότερες από εκείνες του Κανονικού LDV. Αντιθέτως, οι εκπομπές HC, CO, και NO_x για το HEV είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες του Κανονικού LDV.

2.8.5 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Σε αυτό το τμήμα συνοψίζουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές της εξάτμισης του αυτοκινήτου αυξάνονται καθώς αυξάνονται τα επίπεδα κλίσης του δρόμου. Οι ποσοστιαίες αλλαγές στα MOE είναι σημαντικές, ακόμα και για μια αύξηση 1% στα επίπεδα κλίσης του δρόμου, ανεξαρτήτως του τύπου του οχήματος (κανονικό ή υψηλών εκπομπών), όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 και στο Σχήμα 6 (a). Για παράδειγμα, οι αυξήσεις στα MOE για Κανονικό LDV κυμαίνονται από 8% σε 36% και σε μια κλίση 1%, σε σύγκριση με την κλίση 0% σε συνθήκες ελέγχου σήματος. Συγκρίνοντας τα Κανονικά LDV με τα HEV, οι επιδράσεις της κλίσης στα HEV είναι μεγαλύτερες όσο αφορά τις απόλυτες τιμές αλλά μικρότερες όσο αφορά τις σχετικές τιμές σε σύγκριση με αυτές του Κανονικού LDV.

Για τα Κανονικά LDV, οι εκπομπές HC, CO, and NO_x είναι πιο ευαίσθητες στην κλίση οδοστρώματος σε σύγκριση με την κατανάλωση καυσίμου και τις τιμές εκπομπής CO₂. Όσο αφορά σχετικές αλλαγές, οι εκπομπές HC, CO, and NO_x επηρεάζονται σημαντικά από τις κλίσεις του οδοστρώματος σε διάφορα είδη πορείας ενός ταξιδιού. Η κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές HC, CO, NO_x, και CO₂ αυξάνονται κατά 140%, 197%, 361%, 656%, και 138%, αντιστοίχως, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.

Αντιθέτως οι απόλυτες εκπομπές HC, CO, and NO_x για το σενάριο ελέγχου στοπ είναι υψηλότερες από εκείνες στα άλλα σενάρια, όπως δείχνει το Σχήμα 7. Η αιτία του υψηλότερου αποτελέσματος προέρχεται από τον μεγαλύτερο αριθμό στάσεων που περιλαμβάνονται στο σενάριο του στοπ, σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια.

Τα MOE για τα HEV δεν είναι τόσο ευαίσθητα όσο εκείνα των Κανονικών LDV ως προς τα επίπεδα επιτάχυνσης του οχήματος. Όμως, οι σχετικές αξίες για την εκπομπή CO, and NO_x είναι επίσης σημαντικές σε συνθήκες πορείας. Η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές HC, CO, NO_x, και CO₂ αυξάνονται κατά 113%, 84%, 126%, 105%, και 112%, αντιστοίχως σε μια κλίση 6% σε σχέση με κλίση 0% όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Οι απόλυτες εκπομπές HC, CO, and NO_x από το σενάριο ελέγχου σήματος με τις χειρότερες μετακινήσεις είναι υψηλότερες από εκείνες άλλων σεναρίων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα HEV είναι πιο ευαίσθητα στην αύξηση του χρόνου ταξιδιού. Η κατανάλωση





καυσίμου και οι εκπομπές HC, CO, NO_x, και CO₂ είναι κατά 33%, 57%, 53%, 29% μεγαλύτερες από εκείνες σε συνθήκες πορείας.

Το Σχήμα 8 δείχνει την σύγκριση των πλεονεκτημάτων που σχετίζονται με την μείωση των κλίσεων του οδοστρώματος και τα πλεονεκτήματα της βελτίωσης των σημάτων. Όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 8 (a), τα πλεονεκτήματα που προέρχονται από την βελτίωση των σημάτων είναι ισοδύναμα με αυτά της μείωσης της κλίσης του οδοστρώματος από 0% σε ένα εύρος από αρνητική 1% έως αρνητική 2%. Επίσης τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την μείωση στην κλίση από 2% σε 1% ή 0% είναι εξίσου ισοδύναμα με τα πλεονεκτήματα της βελτίωσης σημάτων όπως φαίνεται στο Σχήμα 8 (b). Τέλος, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με την μείωση της κλίσης του οδοστρώματος για τα Κανονικά LDV είναι περισσότερα από εκείνα των HEV.





List of Tables	
Table 1	Max/Min Fuel Consumption and Emission Rates (Normal LDV)
Table 2	Comparison of scenarios at 0%,1% and 6% grade
List of Figures	
Figure 1	MOE profiles for normal LDV
Figure 2	Percent change in MOEs relative to 0% grade for Normal LDV
Figure 3	Increases in MOEs as a function of Geometric Alternatives
Figure 4	Speed, acceleration, and MOE profiles as a function of time
Figure 5	PI and MOEs as a function of signal offsets for Normal LDV
Figure 6	Comparison of MOE Scenarios (Percent Changes)
Figure 7	Comparison of Scenario Mass MOEs
Figure 8	Comparison of Benefits Associated with a Reduction of Roadway Grades and Signal Optimization





Table 1: Max/Min Fuel Consumption and Emission Rates (Normal LDV)

Κλίση	Κατανάλωση Καυσίμου		HC		CO		NO _x		CO ₂		
	ταχύτητα (κω/h)	Τιμή (l/km)	ταχύτητα (κω/h)	Rate (g/km)	ταχύτητα (κω/h)	Rate (g/km)	ταχύτητα (κω/h)	Rate (g/km)	ταχύτητα (κω/h)	Rate (g/km)	
Max	0%	5	0.354	5	0.347	5	1.876	100	0.283	5	822.71
	1%	5	0.389	5	0.363	5	2.046	100	0.407	5	905.17
	2%	5	0.427	5	0.378	100	2.783	100	0.560	5	992.98
	3%	5	0.467	5	0.395	100	4.764	100	0.719	5	1086.13
	4%	5	0.509	5	0.415	100	8.645	100	0.869	5	1184.83
	5%	5	0.554	100	0.532	100	15.977	100	0.996	5	1288.84
	6%	5	0.601	100	0.872	100	28.881	95	1.102	5	1398.16
Min	0%	75	0.078	75	0.070	80	1.128	30	0.087	75	180.85
	1%	75	0.092	75	0.071	75	1.221	30	0.123	75	212.26
	2%	75	0.108	65	0.080	30	1.359	25	0.169	75	250.99
	3%	75	0.127	60	0.093	20	1.435	20	0.223	75	292.99
	4%	75	0.147	50	0.112	20	1.533	20	0.287	75	337.97
	5%	60	0.168	45	0.133	20	1.660	15	0.360	75	384.94
	6%	60	0.190	35	0.156	20	1.818	15	0.439	75	432.75

Table 2: Comparison of scenarios at 0%, 1%, and 6% grade (FFS = 64km/h, Max. Acc. Level = 60%)

		Σενάριο Σταθερής Ταχύτητας		Σενάριο Σήματος Στοπ		Σενάριο Σηματοδότη	
		Κανονικό	Υψηλής Εκπομπής	Κανονικό	Υψηλής Εκπομπής	Κανονικό	Υψηλής Εκπομπής
0%	Καύσιμο(L/km)	0.0801	0.0709	0.0982	0.0802	0.0968	0.0824
	HC (g/km)	0.0720	1.1581	0.1749	1.3674	0.1030	1.5501
	CO (g/km)	1.1625	13.0496	4.3436	15.6208	1.8534	17.0251
	NO _x (g/km)	0.1247	1.8709	0.2218	1.9440	0.1514	1.7963
	CO ₂ (g/km)	185.2292	141.7317	222.2241	157.7008	223.0919	160.9206
1%	Fuel (L/km)	0.0943	0.0818	0.1109	0.0909	0.1103	0.0928
	HC (g/km)	0.0728	1.2856	0.1939	1.4874	0.1111	1.6693
	CO (g/km)	1.2327	14.6258	5.0308	17.0627	2.0726	18.4108
	NO _x (g/km)	0.1980	2.1332	0.2851	2.1803	0.2058	1.9552
	CO ₂ (g/km)	218.3178	165.7147	250.7782	181.2075	254.2866	183.0239
6%	Fuel (L/km)	0.1924	0.1511	0.2039	0.1552	0.2027	0.1596
	HC (g/km)	0.2141	2.1307	0.4241	2.2850	0.2276	2.4746
	CO (g/km)	5.3574	29.4986	11.8173	30.0671	4.9459	30.3239
	NO _x (g/km)	0.9432	3.8262	0.9400	3.6576	0.7928	3.1558
	CO ₂ (g/km)	440.7586	299.8061	456.8297	306.4108	465.4452	317.6261



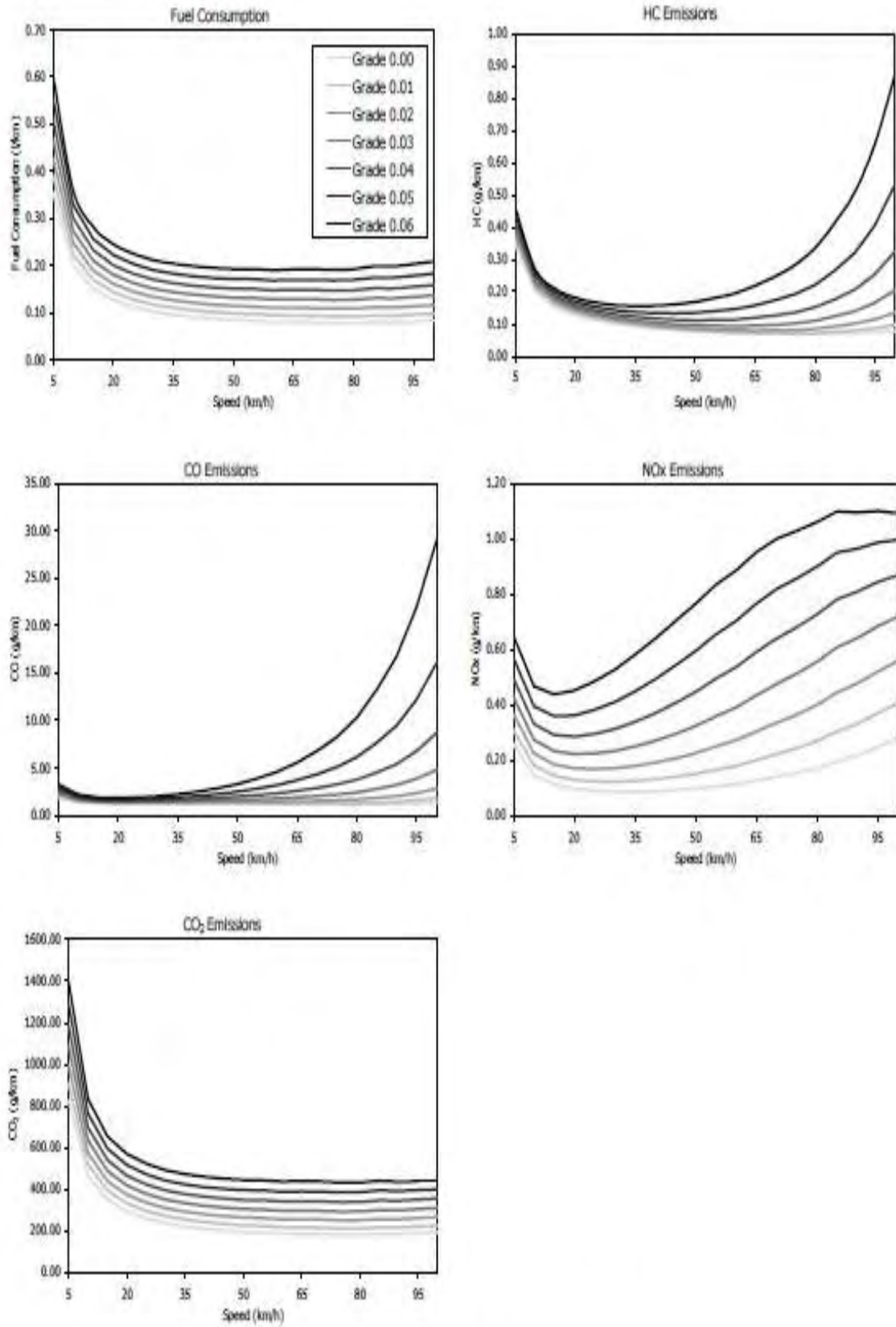


Figure 1: MOE profiles for Normal LDV



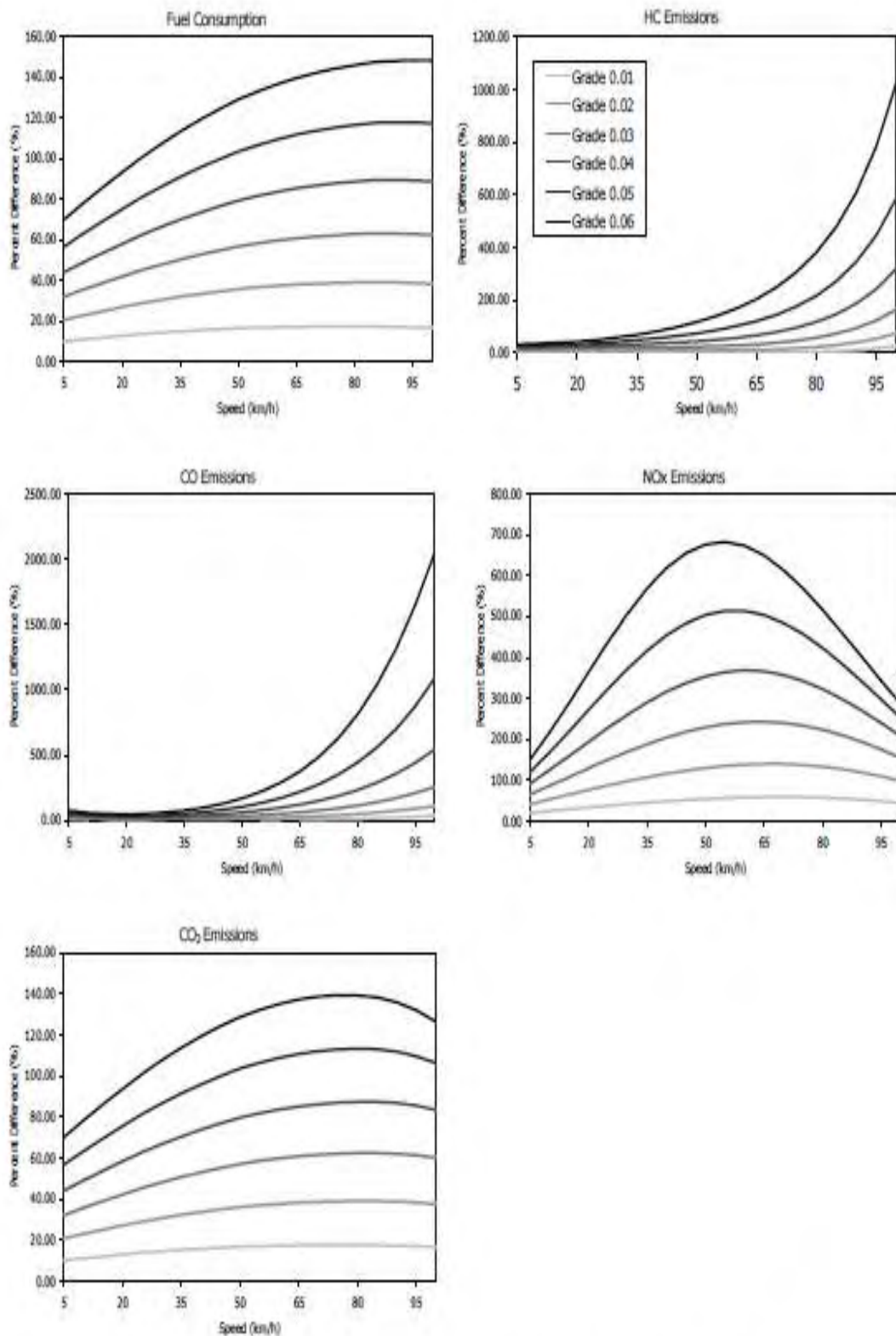


Figure 2: Percent change in MOEs relative to 0% grade for Normal LDV



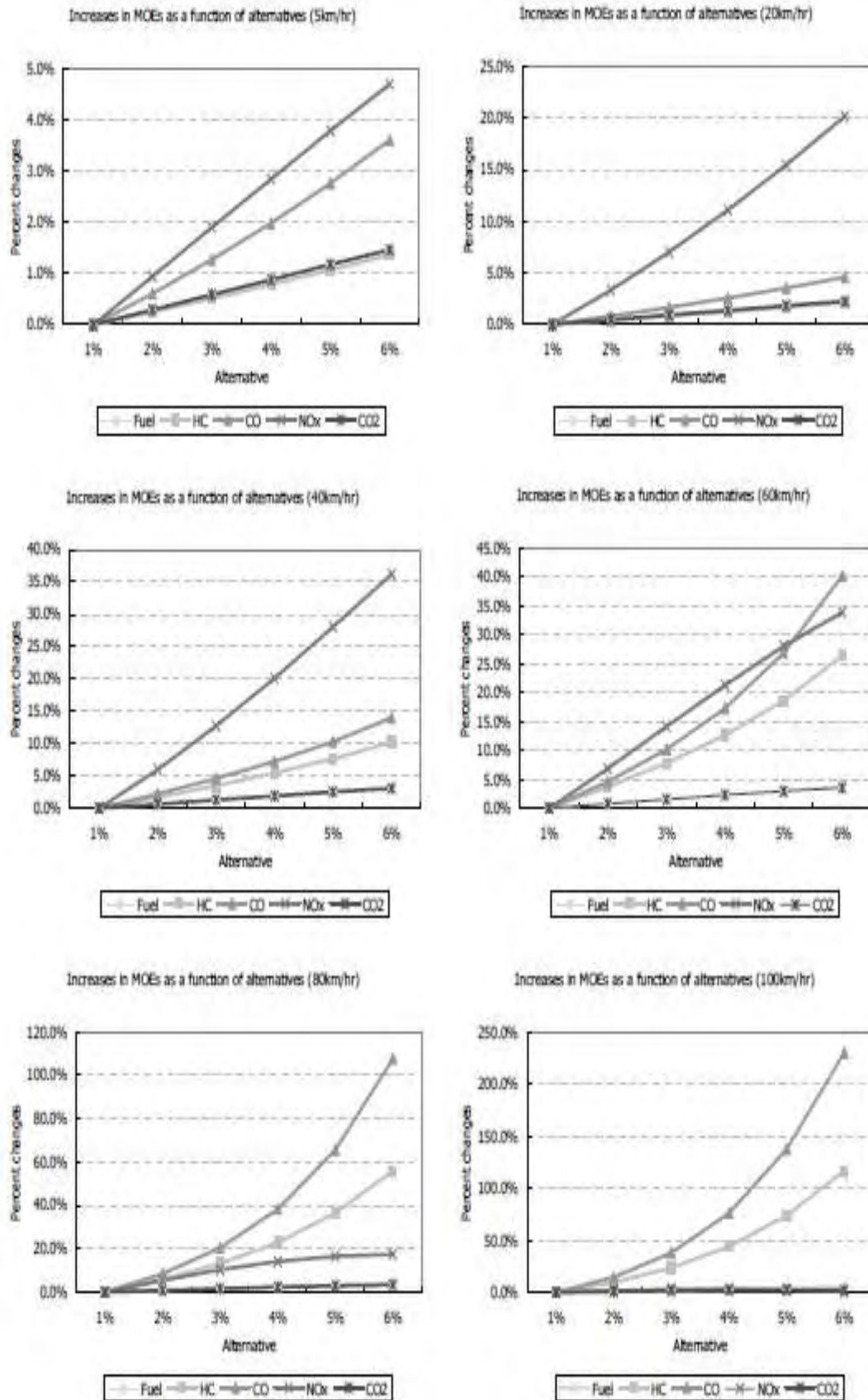


Figure 3: Increases in MOEs as a function of Geometric Alternatives



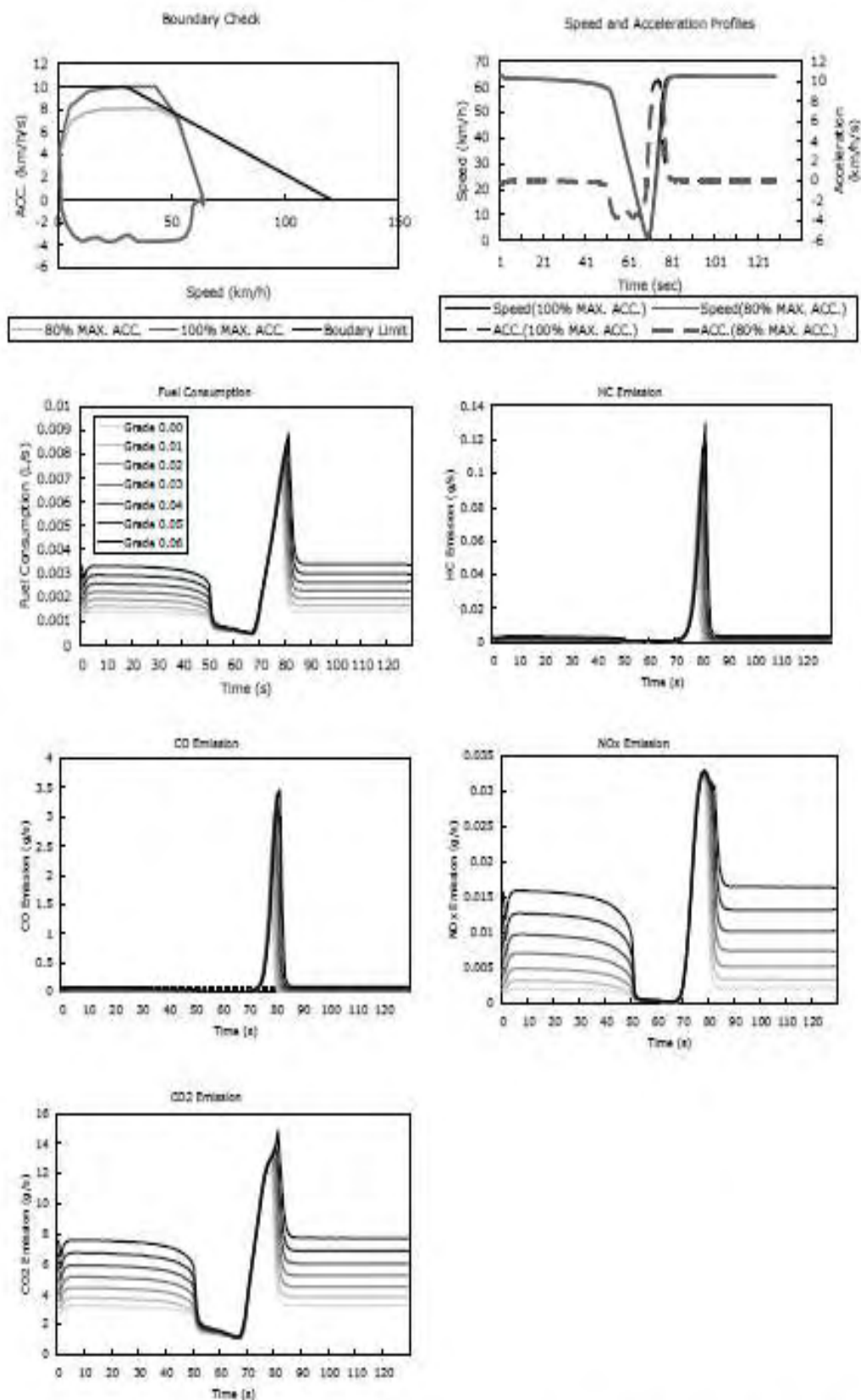


Figure 4: Speed, acceleration, and MOE profiles as a function of time



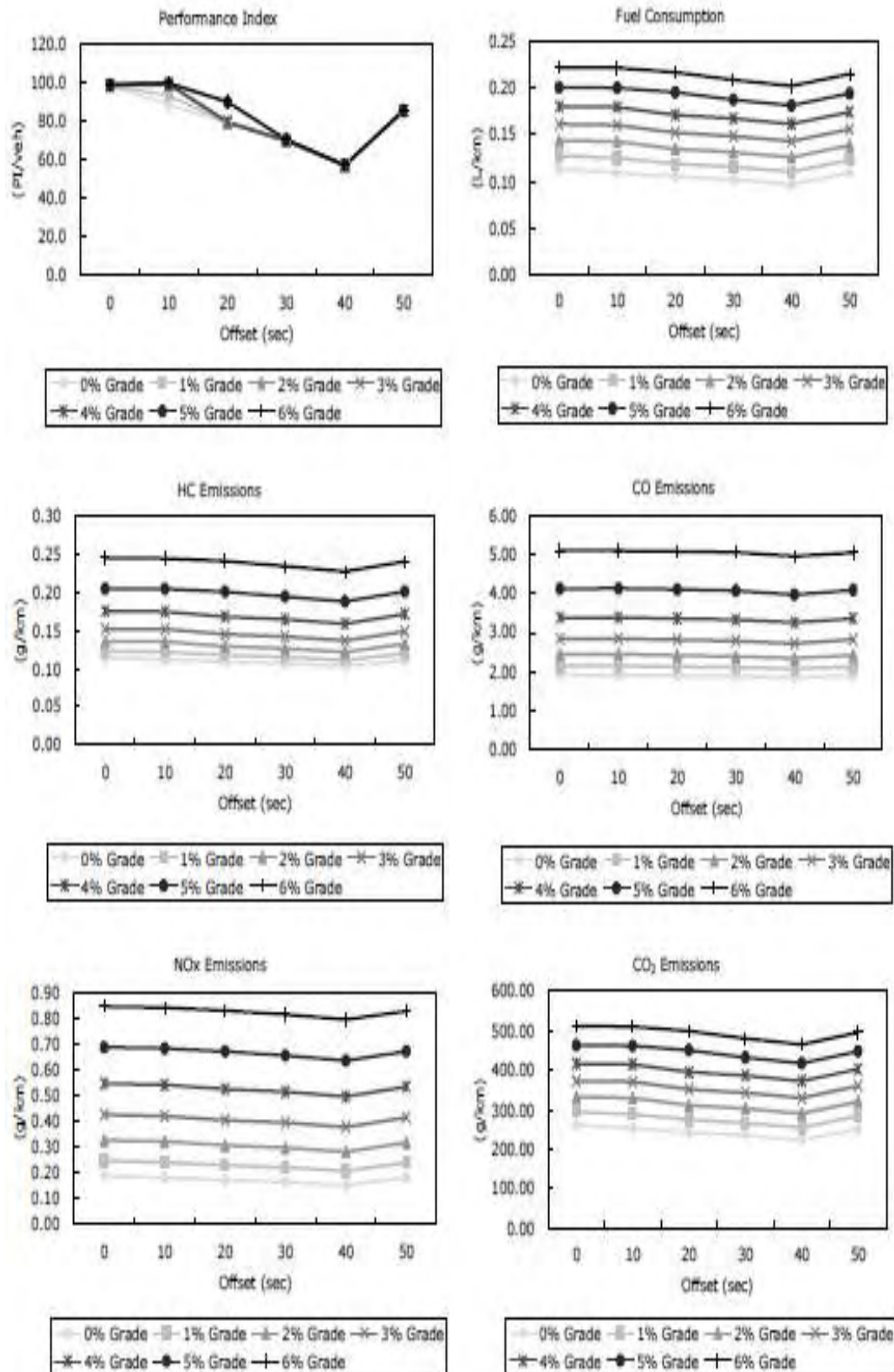


Figure 5: PI and MOEs as a function of signal offsets for Normal LDV



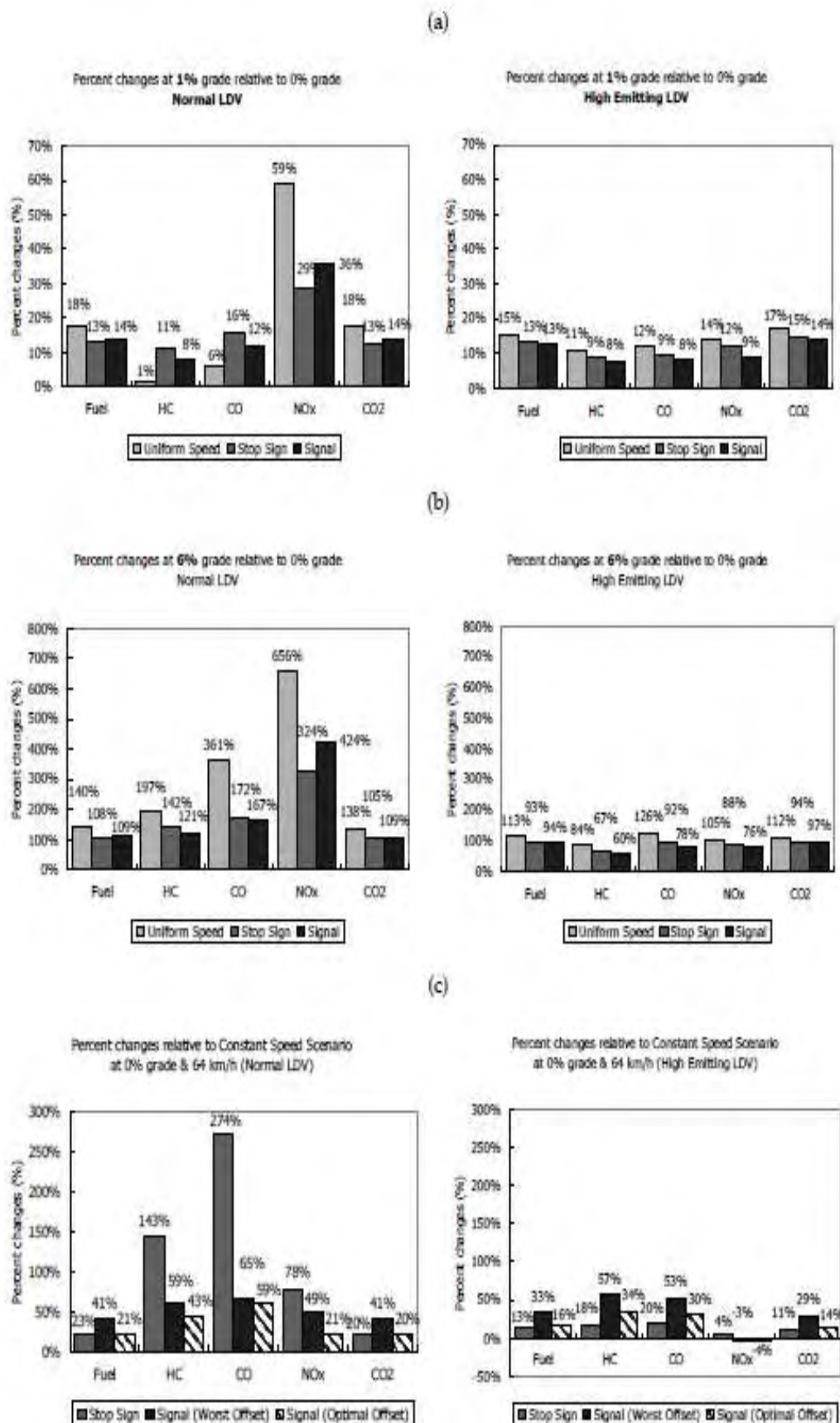


Figure 6: Comparison of MOE Scenarios (Percent Changes)



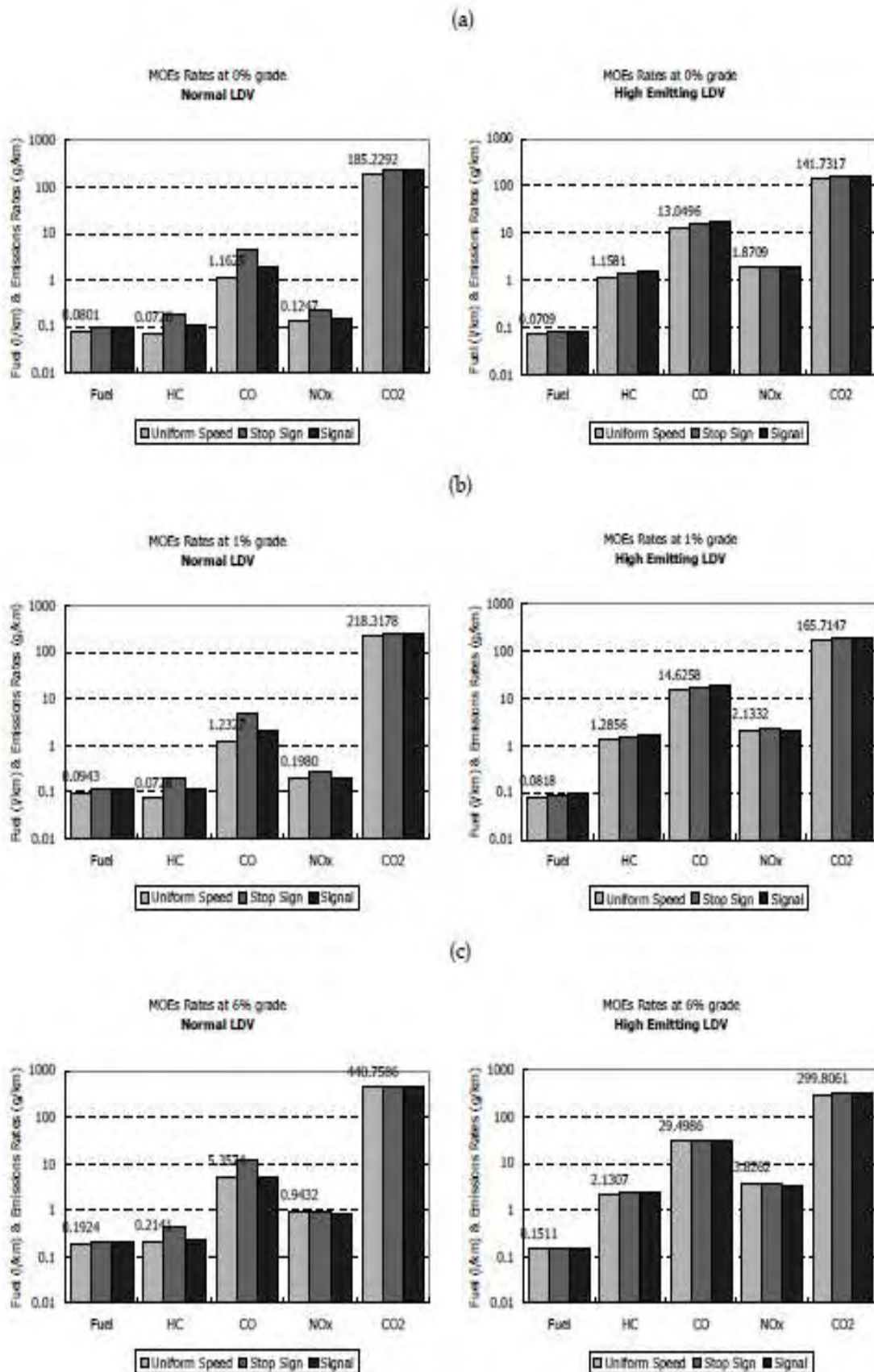
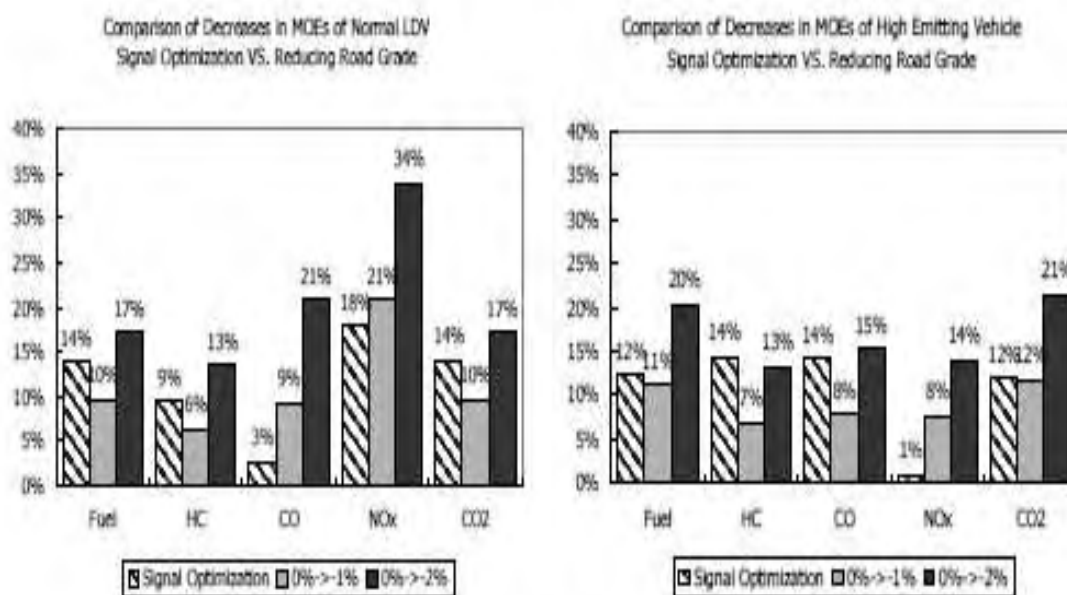


Figure 7: Comparison of Scenario Mass MOEs





(a)



(b)

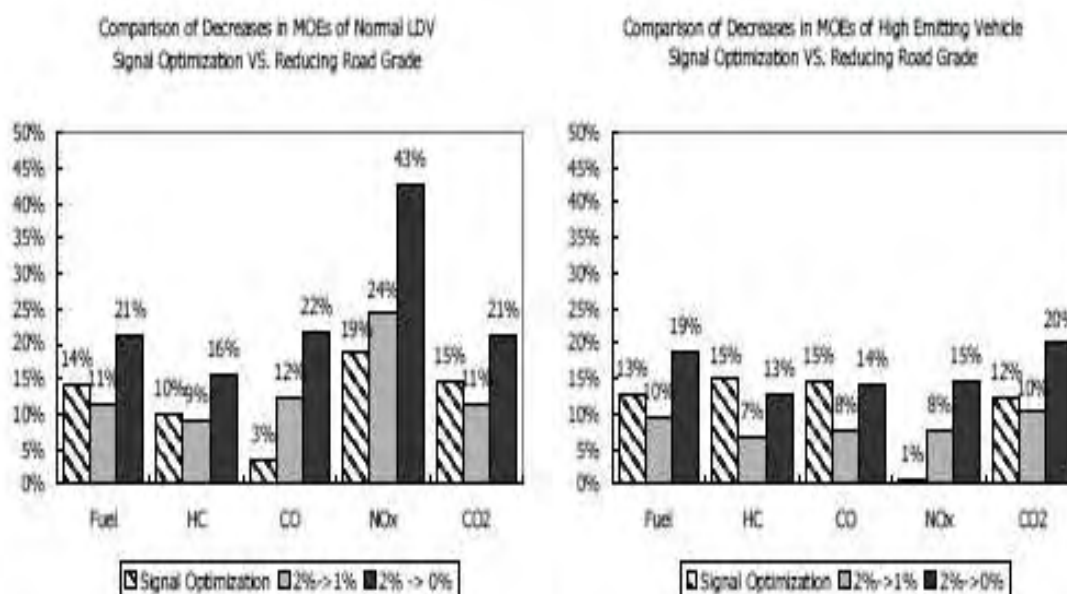


Figure 8: Comparison of Benefits Associated with a Reduction of Roadway Grades and Signal Optimization





2.9 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΕΔΑΦΩΝ

Γενικά

Σε αυτή την εργασία αναπτύσσουμε έναν αναδραστικό αλγόριθμο για την οδήγηση ενός οχήματος σε αυτοκινητόδρομο με την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου. Ο αλγόριθμος επιτρέπει στον οδηγό να επιλέξει μια οποιαδήποτε σταθερή κατάσταση ταχύτητας για ένα επίπεδο δρόμου, αλλά τροποποιεί την ταχύτητα με σκοπό την καλύτερη δυνατή κατανάλωση καυσίμου σε διάφορες κλίσεις. Ο αλγόριθμος βασίζεται στην αρχή του μεγίστου του Pontryagin για να δώσει την μαθηματικά βέλτιστη απόδοση που καθορίζεται από την επιλογή ενός χρονικού ορίου για το ταξίδι από τον οδηγό. Χρησιμοποιείται η υπολογιστική εξομοίωση για να καταδειχθούν οι επιπλοκές αυτής της ανάλυσης στις αλλαγές ταχυτήτων, στο φρενάρισμα και στις ρυθμίσεις του γκαζιού καθώς αλλάζει η κλίση του δρόμου.

2.9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρόσφατες ελλείψεις σε βενζίνη και σε άλλα πετρελαιοειδή καύσιμα έχουν ανανεώσει το ενδιαφέρον για τους παράγοντες που επηρεάζουν την οικονομία καυσίμου σε αυτοκινητοδρόμους. Έχουν γίνει διάφορες προτάσεις για την μείωση στην κατανάλωση καυσίμου, από πολύ απλές μετατροπές όπως η αντικατάσταση των ελαστικών bias-ply με ελαστικά radial, μέχρι εκτενείς σχεδιαστικές αλλαγές όπως η ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών καυσίμου και ενεργειακών φυτών. Έχει εμφανιστεί μια αξιοσημείωτη τάση προς μικρότερα και πιο αποδοτικά αυτοκίνητα στις νέες πωλήσεις αυτοκινήτων, και η οικονομία στα καύσιμα έχει γίνει χαρακτηριστικό προσέλκυσης στην διαφήμιση των αυτοκινητοβιομηχανιών. Οι περισσότερες από τις προτάσεις για την προστασία των πηγών καυσίμων περιλαμβάνουν σχεδιαστικές αλλαγές. Μια εξαίρεση αποτελεί η εθνική μείωση των ορίων ταχύτητας στους αυτοκινητοδρόμους στα 55 m.p.h.. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας που επηρεάζει και τα ήδη υπάρχοντα καθώς και τα μελλοντικά σχέδια. Αυτή η μείωση της ταχύτητας έχει οδηγήσει τους ευσυνειδητούς οδηγούς στην εξοικονόμηση καυσίμου διατηρώντας την ταχύτητα όσο το δυνατόν πιο κοντά στο όριο 55 m.p.h. σε όλες τις οδικές συνθήκες. Άλλη έρευνα έχει προτείνει ότι η καλύτερη πολιτική εξοικονόμησης μπορεί να είναι να διατηρούμε μια σταθερή ρύθμιση του γκαζιού παρά μια σταθερή ταχύτητα. Αυτή η εργασία εξετάζει το πρόβλημα του ορισμού ενός βέλτιστου προγράμματος για την εξοικονόμηση καυσίμου σε μια ποικιλία οδικών συνθηκών.

Σε αυτή την εργασία πλησιάζουμε το πρόβλημα της αποδοτικής σε ενέργεια οδήγησης ως ένα ερώτημα μαθηματικής βελτιστοποίησης. Αναπτύσσουμε ένα





μαθηματικό μοντέλο για την κατανάλωση καυσίμου ενός αυτοκινήτου και παίρνουμε τον αλγόριθμο βέλτιστου ελέγχου για αυτό το μοντέλο. Αναλύουμε περαιτέρω την απόδοσή του σε μια αριθμητική προσομοίωση ενός υποθετικού compact αυτοκινήτου για να καθορίσουμε τις γενικές επιδράσεις για έναν ευσυνειδητο ,ως προς την ενέργεια, οδηγό. Αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τις διαδικασίες των επαγγελματιών οδηγών οικονομίας και προτείνουν μια στρατηγική που αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα στις πολιτικές σταθερής ταχύτητας και σταθερού γκαζιού που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρόλο που αυτό το συμπέρασμα φαίνεται αυταπόδεικτο αναδρομικά, κάποιος μπορεί να πείσει εύκολα τον περισσότερο κόσμο ότι είτε η στρατηγική σταθερής ταχύτητας είτε σταθερού γκαζιού που προτάθηκαν παραπάνω είναι οι καλύτερες.

Κανένα μέτρο εξοικονόμησης καυσίμου στην οδήγηση δεν είναι πιθανόν να έχει από μόνο του ένα σημαντικό αποτέλεσμα στην συνολική κατανάλωσης ενέργειας στις ΗΠΑ, αλλά μια συνεχής προσοχή σε μέτρα προστασίας των καυσίμων του αυτοκινήτου μπορεί να μεταφερθεί και σε άλλους τομείς της χρήσης ενέργειας και να πολλαπλασιάσει το αποτέλεσμα. Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της μελέτης ήταν η μαθηματική επαλήθευση διαφόρων εμπειρικών οδηγικών συμβουλών για οικονομική οδήγηση. Μια πιθανή πρακτική συνέπεια αυτών των παρατηρήσεων είναι η καταχώρηση χαμηλότερων προτεινόμενων ταχυτήτων στις ανωφέρειες και υψηλότερων στις κατωφέρειες των αυτοκινητοδρόμων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας προτείνουν ότι μια διακύμανση 15% από το όριο ταχύτητας του επιπέδου του δρόμου θα ήταν κατάλληλη για μια κλίση 10%, όχι μια υπερβολική διακύμανση ταχύτητας. Η πλήρης εφαρμογή του αλγορίθμου για βέλτιστη εξοικονόμηση καυσίμου που αναπτύσσεται παρακάτω θα συμπεριελάμβανε την ανίχνευση επικείμενων αλλαγών στην κλίση του δρόμου πριν αυτές συμβούν, και αυτό θα ήταν τεχνολογικά δύσκολο. Από την άλλη, ένας σχεδόν βέλτιστος αλγόριθμος που τροποποιεί τις ρυθμίσεις του γκαζιού στην βέλτιστη τιμή του για την κλίση του δρόμου και την ταχύτητα του οχήματος που παρατηρείται εκείνη τη στιγμή μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε μια ηλεκτρονική μονάδα μικρο-επεξεργαστή στα αυτοκίνητα του σήμερα. Παρόλο που μια τέτοια συσκευή θα ήταν πιο κατάλληλη για ανοιχτούς δρόμους, η χρήση της για τον έλεγχο της επιτάχυνσης του οχήματος και των αλλαγών ταχυτήτων σε αστική οδήγηση θα μπορούσε επίσης να αποδειχτεί ωφέλιμη.





2.9.2 ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Κατανάλωση καυσίμου

Η ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται από ένα όχημα αυτοκινητοδρόμου σε μια δεδομένη περίοδο χρόνου είναι το προϊόν της ενέργειας που καταναλώθηκε επί την τιμή κατανάλωσης καύσιμου ανά μονάδα ενέργειας σε συνθήκες λειτουργίας του οχήματος. Η τιμή κατανάλωσης καυσίμου για μηχανές εσωτερικής καύσης εξαρτάται από την ταχύτητα της μηχανής και από το κλάσμα της διαθέσιμης δύναμης(φορτίο) που χρησιμοποιείται. Η τυπική μορφή αυτής της σχέσης παρουσιάζεται στους Πιν. 1 και 2. Όπως καταδεικνύουν αυτά τα γραφήματα, οι μηχανές των αυτοκινήτων είναι πιο αποδοτικές όταν λειτουργούν περίπου στο μισό της ονομαστικής τους ταχύτητας, και περίπου στο 80% του φορτίου. Η ταχύτητα της μηχανής και το φορτίο καθορίζονται από την απαιτούμενη ισχύ του αυτοκινήτου σε ισχύ και τις σχέσεις μετάδοσης, όμως, συμβαίνει ώστε αυτή η βελτιστοποιημένη σχέση να μην μπορεί να διατηρηθεί στην πρακτική εφαρμογή. Οι κόφτες βελτιώνουν την οικονομία επιτρέποντας στην μηχανή του αυτοκινήτου να λειτουργεί σε μέση ταχύτητα και υψηλά φορτία χωρίς να αλλάζει η ταχύτητα του οχήματος. Σύμφωνα με τα Σχ. 1 και 2, ένα, κατά προσέγγιση, μοντέλο για την τιμή κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα ενέργειας ισχύος μιας μηχανής εσωτερικής ανάφλεξης είναι

$$\frac{R(p)Q(\omega)}{p\omega} \quad (2.1)$$

όπου ω είναι η ταχύτητα της μηχανής, p είναι το κλάσμα της διαθέσιμης δύναμης που χρησιμοποιήθηκε, και όπου R και Q είναι πολυωνυμικές εξισώσεις δευτέρου βαθμού

$$\begin{aligned} R(p) &= A_2 p^2 + A_1 p + A_0 \\ Q(\omega) &= B_2 \omega^2 + B_1 \omega + B_0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

των οποίων οι συντελεστές εξαρτώνται από τις καμπύλες της κατανάλωσης καυσίμου. (Σχ. 1 και 2)

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν τη δυνατότητα παραγωγής διαφορετικής ιπποδύναμης σε διαφορετικές ταχύτητες μηχανής. Οι τυπικές μηχανές αυτοκινήτου αναπτύσσουν το μέγιστο της δύναμής τους περίπου στις 4600r.p.m. όπως δείχνει το Σχ. 3. Η ροπή H που παράγεται από ένα αυτοκίνητο εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα της μηχανής:

$$\text{ιπποδύναμη} = \frac{2\pi H(\omega)\omega}{550}$$





όπου ω δίνεται στις παραβολές ανά δευτερόλεπτο. Οι τυπικές καμπύλες ροής είναι παραβολικές και έχουν μέγιστη τιμή περίπου στις 2600 r.p.m. όπως φαίνεται στο Σχ. 4. Άρα οδηγούμαστε σε ένα μοντέλο για το παράγωγο της μηχανής στο οποίο η μέγιστη τριβή H σε ταχύτητα μηχανής ω δίνεται από

$$H(\omega) = K_2\omega^2 + K_1\omega + K_0 \quad (2.3)$$

και επομένως η διαθέσιμη ισχύς της μηχανής P δίνεται από

$$P(\omega) = \frac{2\pi}{550} H(\omega)\omega \quad (2.4)$$

Το προαπαιτούμενο ότι η μέγιστη ροπή και ιπποδύναμη πρέπει να συμβαίνουν σε συγκεκριμένες ταχύτητες ω_H και ω_P , αντιστοίχως, επιβάλλει τις συνθήκες

$$0 = 3K_2\omega_p^2 + 2K_1\omega_p + K_0$$

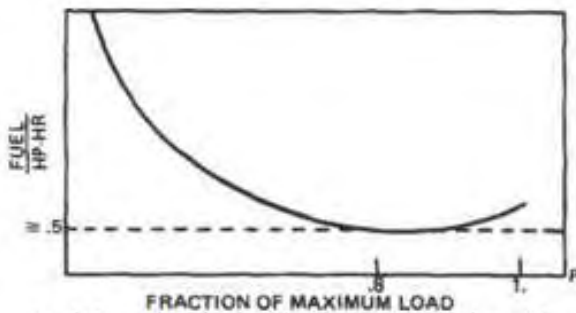
$$0 = 2K_2\omega_H + K_1$$

και επομένως

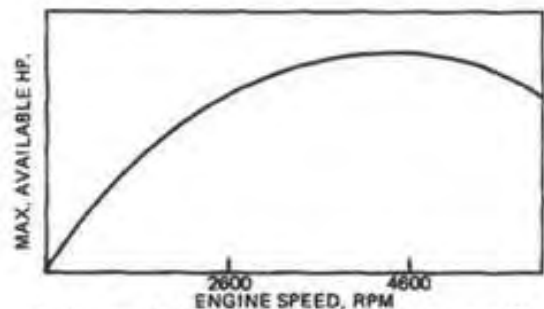
$$K_0 + \omega_p(4\omega_H - 3\omega_p)K_2$$

$$K_1 = -2\omega_H K_2 \quad (2.5)$$

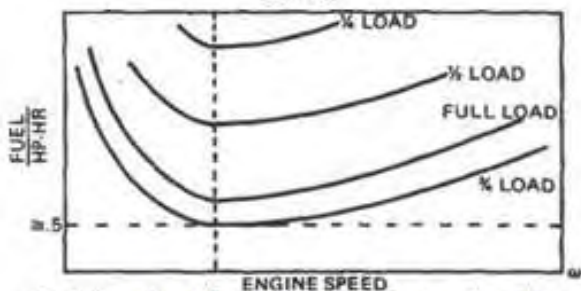
Χρησιμοποιώντας την (2.4) ως μοντέλο για τη διαθέσιμη ισχύ της μηχανής μπορούμε να εκφράσουμε την κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα χρόνου.



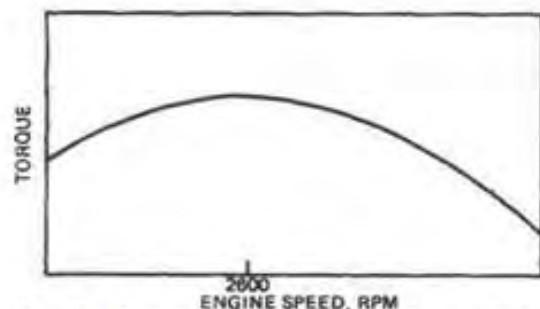
Σχ. 1. Τυπική τιμή κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα ισχύος για μια μηχανή εσωτερικής ανάφλεξης εκφρασμένη σε συνάρτηση με το φορτίο ενέργειας p (πλάσμα διαθέσιμης ισχύος).



Σχ. 3. Τυπικό μέγιστο παράγωγο ισχύος μιας μηχανής εσωτερικής καύσης αυτοκινήτου σε συνάρτηση με την ταχύτητα της μηχανής ω .



Σχ. 2. Τυπική τιμή κατανάλωσης καυσίμου ανά μονάδα ισχύος για μια μηχανή εσωτερικής ανάφλεξης εκφρασμένη σε συνάρτηση με την ταχύτητα της μηχανής ω για διάφορα φορτία p .



Σχ. 4. Τυπικό μέγιστο παράγωγο μιας μηχανής εσωτερικής καύσης αυτοκινήτου σε συνάρτηση με την ταχύτητα της μηχανής ω .





$$\begin{aligned} \text{τιμή κατανάλωσης} &= \frac{R(p)Q(\omega)pP(\omega)}{p\omega} \\ &= R(p)Q(\omega)\frac{2\pi}{550} H(\omega). \end{aligned}$$

Επομένως το συνολικό καύσιμο που χρησιμοποιείται σε ένα ταξίδι διάρκειας T δίνεται από το ολοκλήρωμα

$$\text{καύσιμο} = \int_0^T \frac{2\pi}{550} R[p(t)] Q[\omega(t)] H[\omega(t)] dt \quad (2.6)$$

Δυναμικές οχήματος

Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει την ταχύτητα ενός οχήματος σε αυτοκινητόδρομο

$$M\dot{u} = M_g C_r - \beta u - \frac{1}{2} \rho C_d A u^2 - M_g \sin[\theta(s)] + F \quad (2.7)$$

όπου: M , μάζα του οχήματος· v , ταχύτητα του οχήματος· g , επιτάχυνση της βαρύτητας· C_r (0.015 για ελαστικά bias-belted)· β , δύναμη φρεναρίσματος (=0 εκτός και αν πατιέται το φρένο)· ρ , πυκνότητα ατμοσφαιρικού αέρα· C_d , συντελεστής οπισθέλκουσας (περίπου 0.5 για τα περισσότερα επιβατικά)· A , μπροστινό τμήμα (20 με 25 τετραγωνικά πόδια για τα περισσότερα επιβατικά)· $\theta(s)$, γωνία κλίσης της επιφάνειας του δρόμου για μια απόσταση s από την αρχή· F , προωστήρια δύναμη. Η δύναμη F καθορίζεται από τις ρυθμίσεις του γκαζιού και την σχέση μετάδοσης των ταχυτήτων σε μια δεδομένη ταχύτητα μέσω της σχέσης

$$\text{ισχύς} = \frac{\pi D F \omega}{550 \sigma \delta} = \frac{2\pi}{550} H(\omega) \omega. \quad (2.8)$$

όπου: D , η διάμετρος του ελαστικού του οχήματος· σ , η τιμή μείωσης μετάδοσης· S , διαφορική τιμή μείωσης. Έτσι για ένα δεδομένο παράγωγο ισχύος της μηχανής p $P(\omega)$ μπορούμε να υπολογίσουμε την προωστήρια δύναμη

$$F = \frac{\rho \sigma \delta^2 H(\omega)}{D} \quad (2.9), \quad \text{για το (2.7)}$$

Βέλτιστο μοντέλο ελέγχου

Απλοποιούμε κάπως το μοντέλο μας χρησιμοποιώντας την σχέση

$$u = \frac{\pi D \omega}{\sigma \delta}$$





για να εξαλείψουμε το ω από τις (2.6) και (2.7), και απορροφώντας όλες τις σταθερές σε γενικούς συντελεστές. Έτσι θέτουμε το πρόβλημα του βέλτιστου ελέγχου: την ελαχιστοποίηση του κόστους

$$J = \int_0^T K r [p(t)] q[\sigma(t)u(t)] h[\sigma(t)u(t)] dt \quad (2.10)$$

υπόκεινται στη

$$\dot{u} = -c_0 - \beta u - c_2 u^2 - g \sin(\theta(s)) + p \sigma h(\sigma u) \quad (2.11)$$

$$\dot{s} = u \quad (2.12)$$

Οι συναρτήσεις r , q , και h είναι όλες πολυωνυμικές δευτέρου βαθμού

$$R(z) = a_2 z^2 + a_1 z + a_0$$

$$q(z) = b_2 z^2 + b_1 z + b_0$$

$$h(z) = d_2 z^2 + d_1 z + d_0$$

και K είναι μια σταθερά. Το σύστημα (2.10-2.12) είναι ένα σταθερό μη γραμμικό σύστημα ελέγχου με μεταβλητές ελέγχου p , β και σ με τιμές $p \in [0, I]$, $\beta \in [0, B]$ και $\sigma \in \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k\}$

όπου οι αριθμοί $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ είναι οι τιμές μείωσης της μετάδοσης για διαφορετικές ταχύτητες. Συνοριακές συνθήκες δίνονται

$$\begin{aligned} s(0) &= 0, & s(T) &\geq s_0 \\ v(0) &= 0, & v(T) &= 0. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Αυτές οι συνοριακές συνθήκες είναι κατάλληλες για την αναζήτηση του πιο οικονομικού προγράμματος ελέγχου για ένα συγκεκριμένο ταξίδι. Αυτό δεν είναι όμως αυτό που πραγματικά θέλουμε. Η βέλτιστη σταθερή κατάσταση ταχύτητας για τα περισσότερα οχήματα είναι ανάμεσα στα 15 και 35 μίλια την ώρα, μια ταχύτητα που θεωρείται τώρα πολύ αργή για την κυκλοφορία ενός αυτοκινητόδρομου. Αυτό που στην πραγματικότητα ψάχνουμε είναι ένα πρόγραμμα κίνησης στον δρόμο χωρίς να πηγαίνουμε “υπερβολικά αργά”. Έτσι θα καθορίσουμε ότι το ταξίδι δεν θα πάρει περισσότερο από έναν καθορισμένο χρόνο:

$$T \leq T_0 \quad (2.14)$$

Το πρόβλημα (2.10-2.14) είναι το πρόβλημα του βέλτιστου μας ελέγχου.

2.9.3 ΒΕΛΤΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Βέλτιστο πρόγραμμα πεπερασμένου χρόνου.

Προσεγγίζουμε το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης καυσίμου ως ένα πρόβλημα σε μη γραμμικό βέλτιστο έλεγχο που μπορεί να





λυθεί χρησιμοποιώντας την αρχή του μέγιστου του Pontryagin (Pontryagin et al, 1962). Εφαρμόζοντας αυτήν την αρχή σχηματίζουμε την συνάρτηση

$$H(t, v, s, p, \sigma, \beta, \lambda) = -\lambda_0 K r(p) q(\sigma v) h(\sigma v) + \lambda_1 \{-c_0 - \beta v - c_2 v^2 - g \sin[\theta(s)] + p \sigma h(\sigma v)\} + \lambda_2 v \quad (3.1)$$

Η μέγιστη αρχή λέει ότι η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα οικονομίας σε καύσιμο, αν ένα τέτοιο υπάρχει, πρέπει να ικανοποιεί την συνθήκη

$$\bar{K} = K(t, \bar{u}(t), \bar{s}(t), \bar{p}(t), \bar{\sigma}(t), \bar{\beta}(t), \lambda(t)) \\ = \max K(t, \bar{u}(t), \bar{s}(t), p, \sigma, \beta, \lambda(t)) \quad (3.2)$$

όπου η παραπάνω επιγράμμιση δείχνει τις λειτουργίες που υπολογίστηκαν με το βέλτιστο πρόγραμμα. Ως συνέπεια του (3.2) βλέπουμε ότι αν το $\lambda_1 > 0$, τότε $\beta = 0$ και αν το $\lambda_1 < 0$, $\beta = B$. Επίσης αν $\bar{p} \in (0, 1)$ τότε οι βέλτιστες ρυθμίσεις γκαζιού \bar{p} μπορούν να βρεθούν βάζοντας την μερική παράγωγο a_p , Η ίση με το μηδέν. Κάνοντας αυτό παίρνουμε

$$\lambda_1(t) = \lambda_0 K r'(\bar{p}(t)) q[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] / \bar{\sigma}(t) \\ = \lambda_0 K [2\alpha_2 \bar{p}(t) + \alpha_1] q[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] / \bar{\sigma}(t) \quad (3.3)$$

Η μέγιστη αρχή επίσης λέει ότι οι πολλαπλασιαστές λ_0 , λ_1 και λ_2 δεν είναι ποτέ μηδέν σε κανένα σημείο του $[0, T]$ και ότι το λ_0 μπορεί να επιλεχθεί να είναι είτε 0 ή 1. Τα εναπομείναντα μέρη της μέγιστης αρχής μας δίνουν τις εξισώσεις

$$\dot{\lambda}_1(t) = \lambda_0 \{ K r[\bar{p}(t)] q'[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] h[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] + K r[\bar{p}(t)] \\ \times q[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] h'[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)] \} \bar{\sigma}(t) - \lambda_1(t) \{-2c_2 \bar{v}(t) \\ - \beta + \bar{p}(t) \bar{\sigma}^2(t) h'[\bar{\sigma}(t), \bar{v}(t)]\} - \lambda_2(t). \quad (3.4)$$

$$\dot{\lambda}_2(t) = \lambda_1(t) g \cos[\theta(\bar{s}(t))] \theta'[\bar{s}(t)] \quad (3.5)$$

$$\dot{\mathcal{H}}(t) = 0 \quad (3.6)$$

$$\lambda_2(T) = \nu \geq 0, \quad \mathcal{H}(T) = \mu \geq 0. \quad (3.7)$$

Μια προσεκτική ανάλυση αυτού του συστήματος θα έδειχνε ότι ο πολλαπλασιαστής λ_0 δεν μπορεί να είναι μηδέν, και επομένως μπορούμε να λύσουμε την (3.3) for \bar{p} και να χρησιμοποιήσουμε τις διαφορικές εξισώσεις (2.11) και (3.4) για να βρούμε μια διαφορική εξίσωση για το $\bar{p}(t)$ σε οποιαδήποτε σταθερή ταχύτητα. Παρόλο που αυτή είναι μια λύση στο πρόβλημά μας, δεν είναι πολύ ικανοποιητική. Κατά πρώτον, αυτή η διαδικασία μας δίνει μια ανοιχτή λύση για το πρόβλημα αντί για κλειστή.





Έχουμε ένα σύνολο οδηγιών που πρέπει να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένες στιγμές παρά μια απάντηση στις παρατηρούμενες συνθήκες του δρόμου.

Το δεύτερο μειονέκτημα σε αυτήν την μέθοδο επίλυσης είναι ότι το σύστημα που έχουμε ως αποτέλεσμα είναι πολύ ασταθές σε συνάρτηση με τις παραμέτρους (ιδιαιτέρως σε συνάρτηση με $\lambda_2(T)=v$). Ο απώτερος μας σκοπός είναι να φτιάξουμε έναν αλγόριθμο για τον έλεγχο ενός οχήματος σε μεγάλα ταξίδια. Για αυτόν τον λόγο ενδιαφερόμαστε στην περιορισμένη συμπεριφορά του οχήματός μας όταν η διάρκεια του ταξιδιού S_0 αυξάνεται απ' αόριστον. Η τιμή που δίνεται στο $\lambda_2(T)$ καθορίζει σε μια αριθμητική προσομοίωση τη διάρκεια του ταξιδιού S_0 . Η αστάθεια του συστήματος κάνει αδύνατον το να συγκεκριμενοποιήσουμε την τιμή με αρκετή ακρίβεια έτσι ώστε να αποφύγουμε απόκλιση των αριθμητικών αλγορίθμων στις προσπάθειες μας να προσομοιώσουμε μεγαλύτερα σε διάρκεια ταξίδια.

Η εναλλακτική μας προσέγγιση είναι να παρατηρήσουμε ότι η (3.6) και η (3.7) μαζί συνεπάγονται ότι το $\bar{H}(t)$ πρέπει να έχει την σταθερή τιμή μ . Για $p \in (0,1)$, βλέπουμε από την (3.3) ότι $\lambda_1 > 0$ άρα $\beta = 0$. Βάζοντας την (3.3) στην (3.1) δίνεται μια εξίσωση δευτέρου βαθμού για το $\bar{p}(t)$ όσο αφορά άλλες μεταβλητές:

$$0 = -K(\alpha_2 \bar{p}^2 + \alpha_1 \bar{p} + \alpha_0) q(\bar{\sigma} \bar{v}) h(\bar{\sigma} \bar{v}) + K(2\alpha_2 \bar{p} + \alpha_1) \frac{q(\bar{\sigma} \bar{v})}{\bar{\sigma}} \{-c_0 - c_2 \bar{u}^2 - g \sin[\theta(\bar{s})] + \bar{p} \bar{\sigma} h(\bar{\sigma} \bar{v})\} + \lambda_2 \bar{v} - \mu$$

Εδώ έχουμε εξαλείψει την ανεξάρτητη μεταβλητή t χάριν απλοποίησης και συντομίας. Η λύση αυτής της εξίσωσης δίνει το \bar{p} ως μια συνάρτηση των μεταβλητών v , s και σ . Άρα αν $p \in (0,1)$

$$\begin{aligned} \bar{p}(v,s,\sigma) = & \frac{c_0 + c_2 v^2 + g \sin[\theta(s)]}{\sigma h(\sigma v)} & (3.8) \\ & \pm \frac{1}{\sigma h(\sigma v)} \left\{ [c_0 + c_2 v^2 + g \sin(\theta(s))]^2 \right. \\ & + \frac{\sigma h(\sigma v)}{a_2} a_1 [c_0 + c_2 v^2 + g \sin(\theta(s))] \\ & \left. + \frac{h(\sigma v) \sigma^2 (\mu - \lambda_2 v)}{a_2 K q(\sigma v)} + (\sigma h(\sigma v))^2 \frac{a_0}{a_2} \right\}^{1/2}. \end{aligned}$$

Η αντικατάσταση της (3.8) μέσα στη (2.11) δείχνει ότι το παραπάνω ημίτονο ρίζας είναι ίδιο όπως αυτό του v . Ένας πιο ακριβής καθορισμός αυτού του ημιτόνου είναι η μεγάλη δυσκολία στην εφαρμογή του (3.8) ως πρακτικού αλγόριθμου. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτοκινητοδρόμων το σωστό ημίτονο είναι όμως εύκολο να υπολογιστεί. Η φόρμα (3.8) δίνει τις ρυθμίσεις του γκαζιού σε μια κλειστή μορφή, υπό την προϋπόθεση η βέλτιστη απάντηση





να είναι ανάμεσα στο 0 και στο 1. Η ολοκληρωμένη φόρμα παίρνεται αποκόπτοντας την (3.8) έτσι ώστε το \bar{p} να ρυθμίζεται σε 0 αν η (3.8) δίνει μια τιμή μικρότερη ή ίση του 0 και το \bar{p} να ρυθμίζεται σε 1 αν το αποτέλεσμα φτάνει στο 1.

Η φόρμα (3.8) δίνει το πρόγραμμα για τον χειρισμό του οχήματος υπό την προϋπόθεση να έχει μόνο μια ταχύτητα ή να λειτουργεί σε ένα εύρος ταχυτήτων που δεν χρειάζεται αλλαγή ταχύτητας. Αν υπάρχουν πολλαπλές ταχύτητες πρέπει να αναπτύξουμε έναν αλγόριθμο για τον καθορισμό της αλλαγής των ταχυτήτων(σημεία αλλαγής). Για αυτό χρησιμοποιούμε το δεδομένο ότι η (3.4) συνεπάγεται ότι το λ_1 , πρέπει να είναι συνεχές και η αλλαγή μπορεί να γίνει μόνο όταν η (3.3) δώσει την ίδια τιμή και για τις δυο σχέσεις μετάδοσης. Εφαρμόζοντας την μέγιστη αρχή σε $v = 0$, και σημειώνοντας ότι το λ_1 πρέπει να είναι θετικό για να μπορεί να επιταχύνει το όχημα, διαπιστώνουμε ότι η αρχική μείωση στην σχέση μετάδοσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη (δηλ. η ταχύτητα να είναι η χαμηλότερη δυνατή). Η αλλαγή τότε γίνεται διαδοχικά καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Μια αλλαγή από μια ταχύτητα με μείωση σχέσης σ_1 , σε μια με μείωση σχέσης σ_1 , γίνεται όταν

$$(2\alpha_2\bar{p}(\bar{u}, \bar{s}, \sigma_i) + \alpha_1) \frac{q(\sigma_i, \bar{u})}{\sigma_i} = (2\alpha_2\bar{p}(\bar{u}, \bar{s}, \sigma_1) + \alpha_1) \frac{q(\sigma_1, \bar{u})}{\sigma_1} \quad (3.9)$$

Ανάλυση σταθερής κατάστασης

Οι φόρμες (3.8) και (3.9) δίνουν μια λύση κλειστού συστήματος στο πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του καυσίμου. Το πρόβλημα της αστάθειας στην βέλτιστη λύση όμως παραμένει. Ο στόχος μας είναι να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε παραπάνω για να λάβουμε μια προσέγγιση του βελτιστοποιημένου συστήματος για ταξίδια πολύ μεγάλης διάρκειας, ο οποίος να είναι αρκετά σταθερός για να μπορεί να εφαρμοστεί. Πρώτα περιορίζουμε την προσοχή μας σε ένα όχημα με μια μοναδική σχέση μετάδοσης που λειτουργεί σε δρόμο με σταθερή κλίση θ . Ένα τέτοιο όχημα επιταχύνει από μηδενική ταχύτητα και συνεχίζει να επιταχύνει μέχρι το ημίτονο του v , και άρα το ημίτονο της ρίζας στη (3.8), αλλάζει. Αφού το λ_1 είναι συνεχές, το \bar{p} πρέπει να είναι επίσης συνεχές, και αυτή η αλλαγή του ημιτόνου πρέπει να συμβεί όταν η ρίζα στη (3.8) είναι μηδέν. Η προσομοίωση δείχνει ότι όσο πιο μεγάλη διάρκεια έχει το ταξίδι, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη ταχύτητα, έτσι επιλέγουμε το λ_2 να έχει την μικρότερη τιμή έτσι ώστε αυτή η ρίζα να μηδενιστεί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Αυτός ο υπολογισμός αντιστοιχεί στην ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος για να πάρουμε την μέγιστη ταχύτητα για το κάθε πεπερασμένο ταξίδι. (Σημειώνουμε ότι το λ_2 εμφανίζεται στην (3.8) με αρνητικό πρόσημο, άρα οι μεγάλες τιμές τείνουν να μηδενίζουν την ρίζα σε μικρότερες ταχύτητες.) Η ταχύτητα στην οποία η ρίζα μηδενίζεται





με αυτήν την ελάχιστη επιλογή του λ_2 είναι περίπου η κατάσταση σταθερής ταχύτητας για ένα ταξίδι πολύ μεγάλης διάρκειας. Μπορούμε έτσι να προσεγγίσουμε το μοντέλο συμπεριφοράς ενός τέτοιου ταξιδιού επιλέγοντας το πρόσημο της ρίζας στο (3.8) να είναι θετικό μέχρι το όχημα να ξεκινήσει να επιβραδύνει στο τέλος του ταξιδιού. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω διαδικασία καθορίζουμε μια τιμή του λ_2 για κάθε γωνία κλίσης θ . Αυτή είναι η κατάλληλη τιμή για το λ_2 για κάθε μεγάλη κλίση συνεχούς πλαγιάς.

Η σχέση (3.5) δίνει την αλλαγή στο λ_2 καθώς αλλάζει η κλίση του δρόμου. Για να κατανοήσουμε τις συνέπειες αυτής της εξίσωσης είναι συμφέρον να υποθέσουμε ότι σε δεδομένη απόσταση S_1 από το σημείο εκκίνησης του ταξιδιού, η γωνία ξαφνικά αλλάζει από μια τιμή θ_1 , σε μια τιμή θ_2 . Αυτή η υπόθεση είναι εκτός της υπόθεσης της σταθερής αρχής της μεγίστης, άρα την θεωρούμε ως την περιοριστική περίπτωση της (3.5) όταν ο χρόνος (δηλ. απόσταση) που απαιτείται για να γίνει μια ομαλή αλλαγή από γωνία κλίσης θ_1 σε θ_2 φτάνει στο μηδέν. Αφού και το λ_1 και το \bar{v} έχουν ορισμένα παράγωγα, υποθέτουμε ότι είναι περίπου συνεχή στο διάστημα $(t_0, t_0 + \Delta t)$, στο οποίο αλλάζει η γωνία κλίσης. Ενσωματώνοντας την (3.5) σε αυτό το διάστημα έχουμε

$$\begin{aligned} \lambda_2(t_0 + \Delta t) - \lambda_2(t_0) &= \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \frac{\lambda_1(\tau)}{v(\tau)} g \cos [\theta(\bar{s}(\tau)) \dot{\bar{s}}(\tau)] d\tau \\ &\cong \frac{\lambda_1(t_0)}{v(t_0)} g \{ \sin(\theta_2) - \sin(\theta_1) \}. \end{aligned}$$

Δηλαδή η αλλαγή στο λ_2 όταν η κλίση του δρόμου αλλάζει από θ_1 σε θ_2 είναι

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_2(t_0) &= \frac{\lambda_0 K (2a_2 \bar{p}(t_0, \bar{v}, \bar{\sigma}) + a_1) q(\bar{\sigma} \bar{v})}{\bar{v} \bar{\sigma}} \\ &g \{ \sin(\theta_2) - \sin(\theta_1) \}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Αν ο λόφος με την νέα κλίση θ_2 έχει σημαντικό μήκος τότε η διαφορά που καθορίζεται στην (3.10) πρέπει να συμφωνεί με την αλλαγή στις τιμές του λ_2 , που καθορίζεται από την συμπεριφορά σταθερής κατάστασης του οχήματος όπως στην παραπάνω παράγραφο. Αυτό σημαίνει ότι στη χρονική στιγμή t_0 η βέλτιστη ταχύτητα $\bar{v}(t_0)$ πρέπει να είναι τέτοια ώστε να κάνει τις δυο τιμές να συμπίπτουν. Θα δούμε στην προσομοίωση στο τέλος αυτής της εργασίας ότι αυτό σημαίνει ότι η βέλτιστη ταχύτητα πρέπει να αυξάνεται στη βάση ενός λόφου και να πέφτει καθώς το όχημα ξεκινά να ανεβαίνει. Μια αντίθετη συμπεριφορά συμβαίνει στην κορυφή μιας κατωφέρειας.





2.9.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗΣ

Παρόλο που τα προηγούμενα μέρη συγκεκριμενοποίησαν τον βέλτιστο αλγόριθμο για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου το ποιοτικό αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης δεν είναι ξεκάθαρο. Σε αυτό το μέρος καταδεικνύουμε την συμπεριφορά ενός οχήματος που λειτουργεί με το βέλτιστο αυτό πρόγραμμα μέσω προσομοίωσης υπολογιστή. Το όχημα που μοντελοποιούμε είναι ένα μικρό επιβατικό σεντάν με μέτρια ιπποδύναμη και τρεις πρόσθιες ταχύτητες. Μερικές από τις παραμέτρους έπρεπε να υπολογιστούν (δηλ. οι συντελεστές του R και Q), έτσι το μέγεθος μερικών από τα παρακάτω αποτελέσματα είναι ύποπτο, αλλά το γενικό μοτίβο δείχνει τι θα μπορούσε να περιμένει κάποιος από το πραγματικό όχημα. Υποθέτουμε τους παρακάτω παράγοντες στο (2.7) και (2.8).

ισχύς= 90 h.p. στις 4600 r.p.m.

βάρος = 2300 lb ($M = 71.5$ si)

$A = 20$ ft²

$C_d = 0,5$

$C_p = 0.015$

$D = 2$ ft

$\sigma = 3.7$

$\sigma_1 = 3.337$ (πρώτη ταχύτητα)

$\sigma_2 = 1.653$ (δεύτερη ταχύτητα)

$\sigma_3 = 1.000$ (τρίτη ταχύτητα)

Ξεκινάμε εξετάζοντας την συμπεριφορά σταθερής κατάστασης του οχήματος. Τα Σχήματα 5 και 6 δείχνουν την ασυμπτωματική συμπεριφορά των ρυθμίσεων του γκαζιού και της ταχύτητας καθώς το όχημα επιταχύνει στην τρίτη ταχύτητα. Το Σχήμα 5 δείχνει τα αποτελέσματα για την βέλτιστη ταχύτητα σταθερής κατάστασης 30f/sec, και το Σχημ. 6 δείχνει τις ίδιες καμπύλες όπου η παράμετρος μ επιλέγεται έτσι ώστε η τελική ταχύτητα σε βασικό επίπεδο να είναι 60f/sec. Παρόμοιες καμπύλες δημιουργούνται για κάθε τιμή του μ και για κάθε γωνία της πλαγιάς θ . Αυτές οι καμπύλες δημιουργούνται με το όχημα στην τρίτη ταχύτητα. Το Σχήμα 7 δείχνει την βέλτιστη συμπεριφορά γκαζιού και σημείων αλλαγών για επιτάχυνση στα 60 f/sec χρησιμοποιώντας και τις τρεις ταχύτητες. Η αλλαγή γίνεται σε χαμηλές ταχύτητες όταν η ισχύς της μηχανής είναι χαμηλή, παράγοντας μόνο μέτρια επιτάχυνση αντί υψηλού φορτίου μηχανής. Αυτό δείχνει ότι η τροποποίηση των αυτόματων μεταδόσεων ταχύτητας έτσι ώστε να γίνεται η αλλαγή των ταχυτήτων σε χαμηλότερες ταχύτητες μπορεί να αποδειχθεί οικονομική για την αστική οδήγηση.

Στα υπόλοιπα Σχημ. 8-11 δείχνουμε την βέλτιστη συμπεριφορά σε ανωφέρεις και κατωφέρεις. Οι απεικονίσεις αφορούν τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν για να δοθεί μια τελική ταχύτητα 60 f/sec σε έναν δρόμο με





μηδενική κλίση, παρά για την βέλτιστη ταχύτητα. Αυτές οι συνθήκες είναι περισσότερο σχεδόν κατάλληλες για ταχύτητες αυτοκινητοδρόμων σε σύγκριση με τις πιο αργές βέλτιστες ταχύτητες των 20 m.p.h.

Τα Σχήματα 8 και 9 δείχνουν ότι η βέλτιστη συμπεριφορά σε μια ανηφόρα είναι να αυξήσουμε ταχύτητα καθώς πλησιάζουμε τη βάση του λόφου και έπειτα να αφήσουμε την ταχύτητα να πέσει καθώς ανεβαίνουμε τον λόφο. Η κατάλληλη ταχύτητα σταθερής κατάστασης στην ανωφέρεια είναι μικρότερη από αυτή σε επίπεδο έδαφος, αλλά οι ρυθμίσεις γκαζιού είναι υψηλότερες. Μόλις πριν φτάσουμε στην κορυφή του λόφου, η ταχύτητα πέφτει ελαφρώς και μετά αυξάνεται ξανά στον επίπεδο δρόμο. Μια αντίστροφη συμπεριφορά είναι κατάλληλη για μια κατωφέρεια. Σε αυτήν την ανάλυση υποθέσαμε ότι το όχημα παραμένει με τοποθετημένη ταχύτητα στη διάρκεια όλου του ταξιδιού. Άρα όταν το p είναι μηδέν η μηχανή δεν παράγει προωθητική δύναμη, αλλά η μηχανή θα αλλάξει σε μια ταχύτητα που καθορίζεται από την ταχύτητα του οχήματος και θα χρησιμοποιεί περισσότερο καύσιμο σε υψηλότερες ταχύτητες του οχήματος. Τώρα θυμόμαστε ότι αν το λ_1 είναι θετικό τότε η μέγιστη αρχή δείχνει ότι δεν θα εφαρμοστεί δύναμη φρεναρίσματος, και όταν το λ_1 είναι αρνητικό τα φρένα εφαρμόζονται με πλήρη δύναμη. Αν όμως $\lambda_1 = 0$, η δύναμη φρεναρίσματος δεν ορίζεται από την μέγιστη αρχή. Η εξάρτηση του λ_1 από τη v δείχνει ότι αν το λ_1 φτάσει το μηδέν, τότε τα φρένα πρέπει να εφαρμόζονται με τόση ακριβώς δύναμη ώστε να διατηρείται αυτή η ταχύτητα. Φθάνουμε στο συμπέρασμα ότι αν τα φρένα χρησιμοποιηθούν σε μια κατωφέρεια τότε το λ_2 πρέπει να επιλεγεί έτσι, ώστε η ελάχιστη τιμή του λ_1 στην κατωφέρεια να είναι μηδέν. Το βέλτιστο πρόγραμμα φαίνεται τότε στα Σχημ. 10 και 11. Το όχημα επιτρέπεται να αυξήσει ταχύτητα μέχρι το $\lambda_1 = 0$, όπου ελέγχεται η επιτάχυνσή του. Κοντά στην βάση της κατωφέρειας τα φρένα απελευθερώνονται και επιτρέπεται στο όχημα να επιταχύνει ξανά.

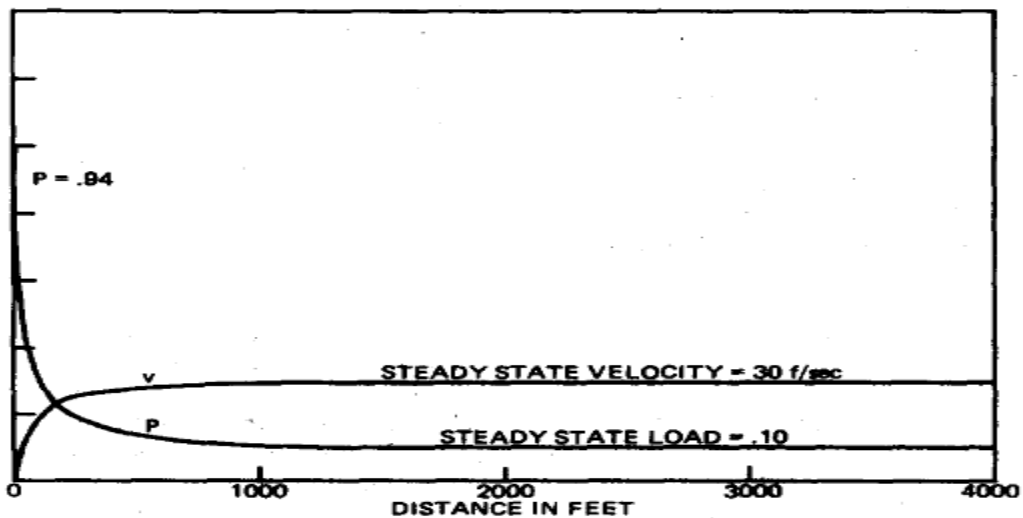
Ο αλγόριθμος που περιγράφεται παραπάνω είναι αρκετά περίπλοκος ως προς το ότι χρειάζεται ανίχνευση της προσέγγισης σε αλλαγή κλίσης πριν αυτή συμβεί. Όμως μπορούμε να πάρουμε έναν σχεδόν βέλτιστο, μη αναμενόμενο αλγόριθμο επιτρέποντας στην συμπεριφορά του οχήματος να καθοριστεί από αλγόριθμο (3.8), όπου το λ_2 καθορίζεται για την γωνία της κλίσης στην τοποθεσία του οχήματος, χωρίς να επιμένουμε ότι ο (3.10) ισχύει. Έτσι ακυρώνουμε την επίδραση της αναμονής αλλαγών στις κλίσεις και απλά ανταποκρινόμαστε στις αλλαγές.

Είναι απαραίτητο ένα πρόσθετο σχόλιο. Σε κάποιες από τις υπάρχουσες έρευνες έχει προταθεί ότι η συνεχής ρύθμιση του γκαζιού θα μπορούσε να αποδειχθεί η βέλτιστη λύση για την εξοικονόμηση καυσίμου. Πράγματι αν ελέγχαμε δυο ίδια αυτοκίνητα με σετ ελέγχου έτσι ώστε να είχαν ίδιες, σταθερής κατάστασης, μηδενικής κλίσης ταχύτητες, αυτό που θα λειτουργούσε με συνεχές γκάζι θα χρησιμοποιούσε λιγότερο καύσιμο για να

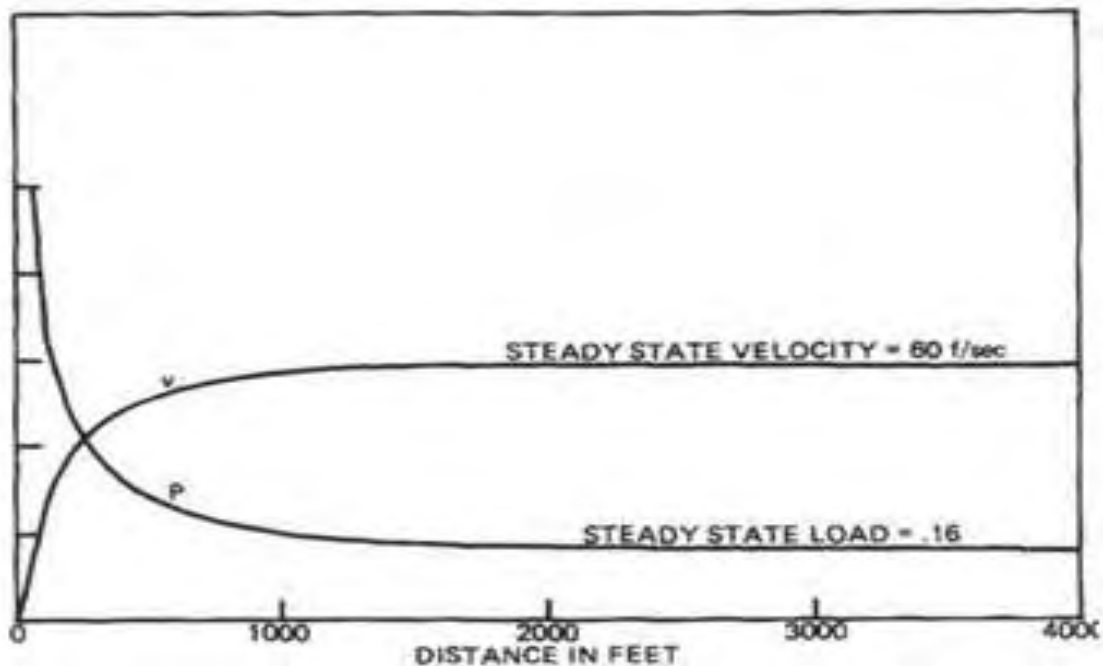




ανέβει έναν λόφο από εκείνο που θα λειτουργούσε με τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Αυτή όμως δεν είναι μια δίκαιη σύγκριση, αφού κάποιος θα διάλεγε τέτοιες ρυθμίσεις έτσι ώστε το ταξίδι να ολοκληρώνεται στον ίδιο χρόνο και με τους δυο αλγορίθμους. Σε ένα τέτοιο τεστ ο προτεινόμενος αλγόριθμος θα επηρέαζε την εξοικονόμηση δίνοντας μια πιο οικονομική ταχύτητα σε επίπεδες κλίσεις. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα του βέλτιστου αλγορίθμου είναι ότι, παρόλο που δεν παράγει μια σταθερή ταχύτητα, οι διακυμάνσεις της ταχύτητας στις διάφορες κλίσεις δεν είναι τόσο ακραίες όπως με ένα σταθερό γκάζι, και δεν θα εμπόδιζαν τόσο πολύ την ροή της κυκλοφορίας ενός αυτοκινητοδρόμου.

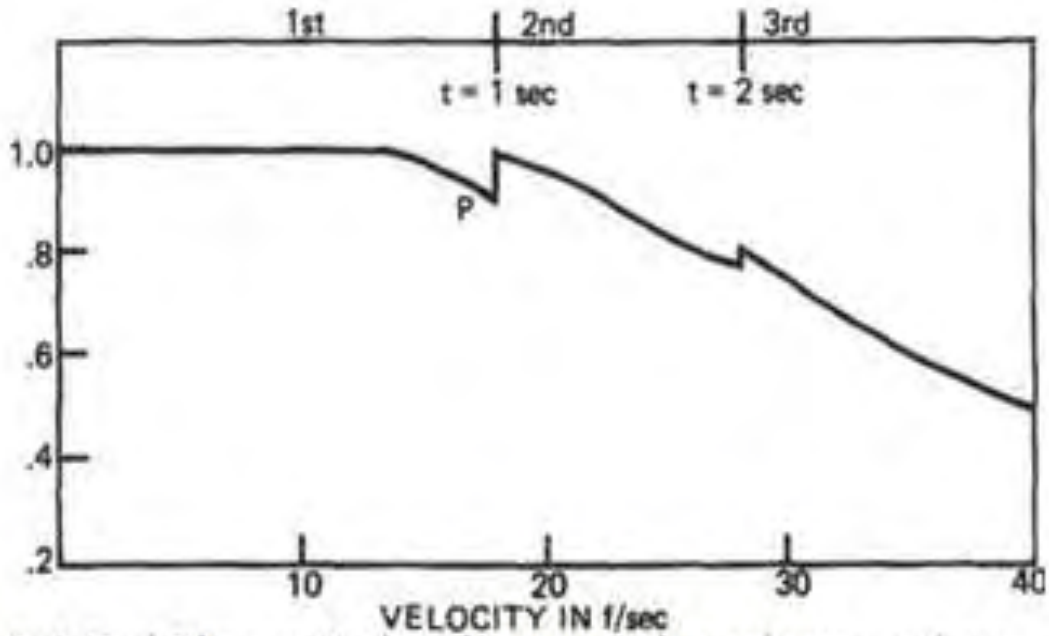


Σχ. 5. Καμπύλες βέλτιστης αρχικής ταχύτητας v και φορτίου μηχανής p για επιτάχυνση στο πιο οικονομικό επίπεδο ταχύτητας δρόμου

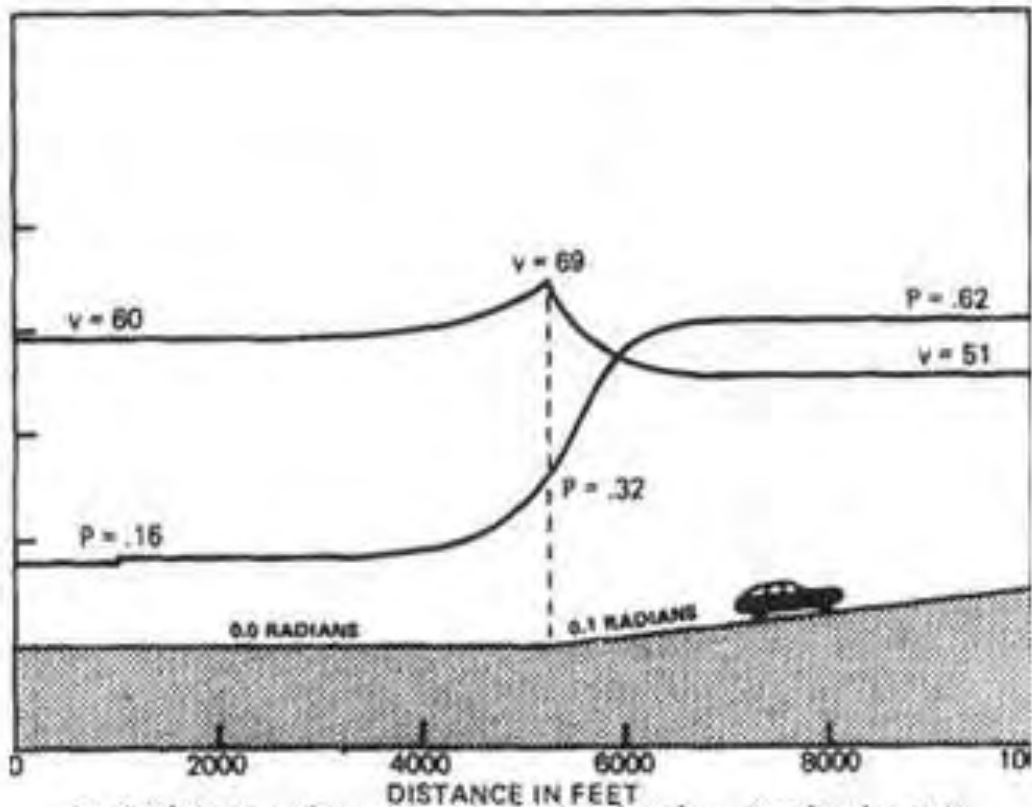


Σχ. 6. Καμπύλες βέλτιστης αρχικής ταχύτητας v και φορτίου μηχανής p για επιτάχυνση σε ένα επίπεδο δρόμου ταχύτητας of 60 f/sec.



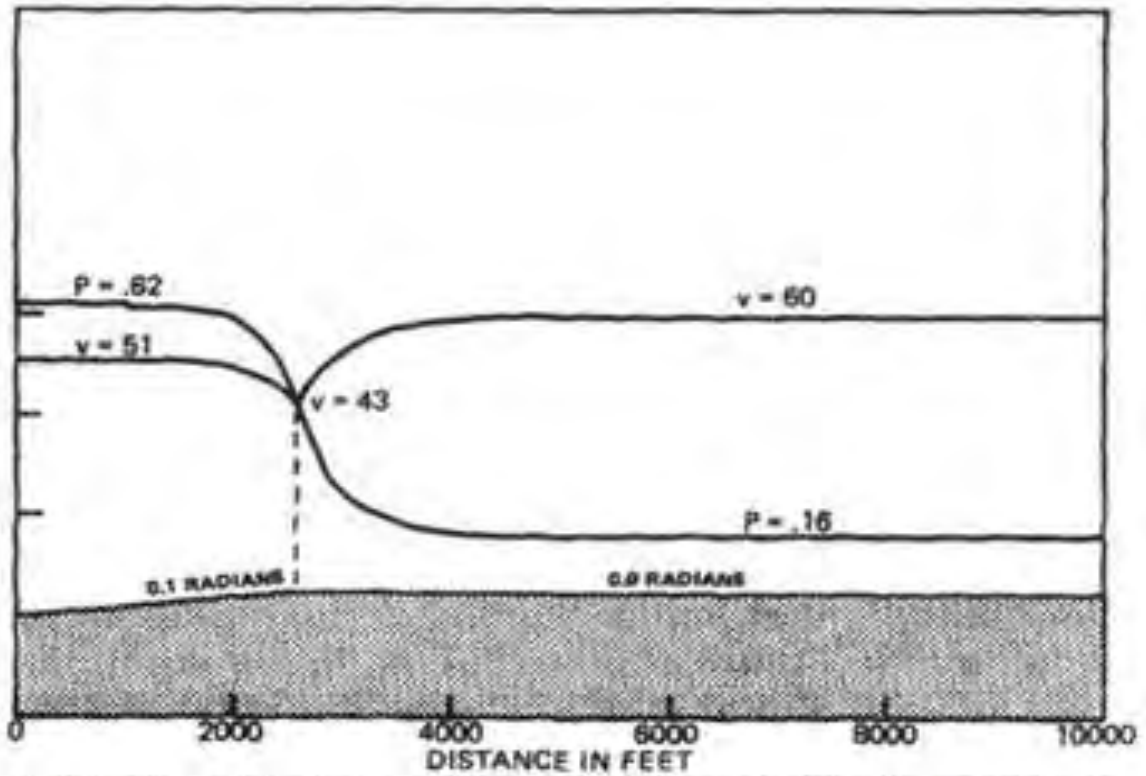


Συ. 7. Σημεία βέλτιστης αλλαγής ταχύτητας και φορτία μηχανής για επιταχύνσεις 60 f/sec χρησιμοποιώντας τρεις ταχύτητες σε ένα επίπεδο δρόμο.

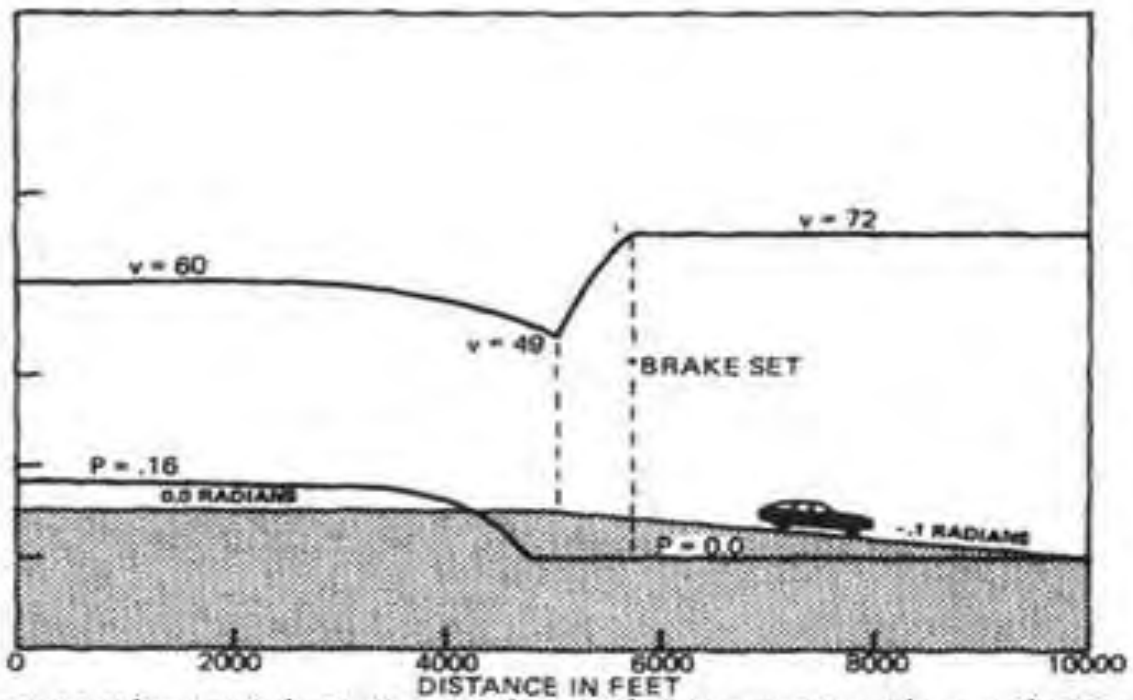


Συ. 8. Βέλτιστη ταχύτητα v και φορτία μηχανής P όταν πλησιάζει ένα 10% ανωφέρεια (0.1 radian) όπου η σταθερή κατάσταση της ταχύτητας σε ένα επίπεδο δρόμο ορίζεται στα 60 f/sec.



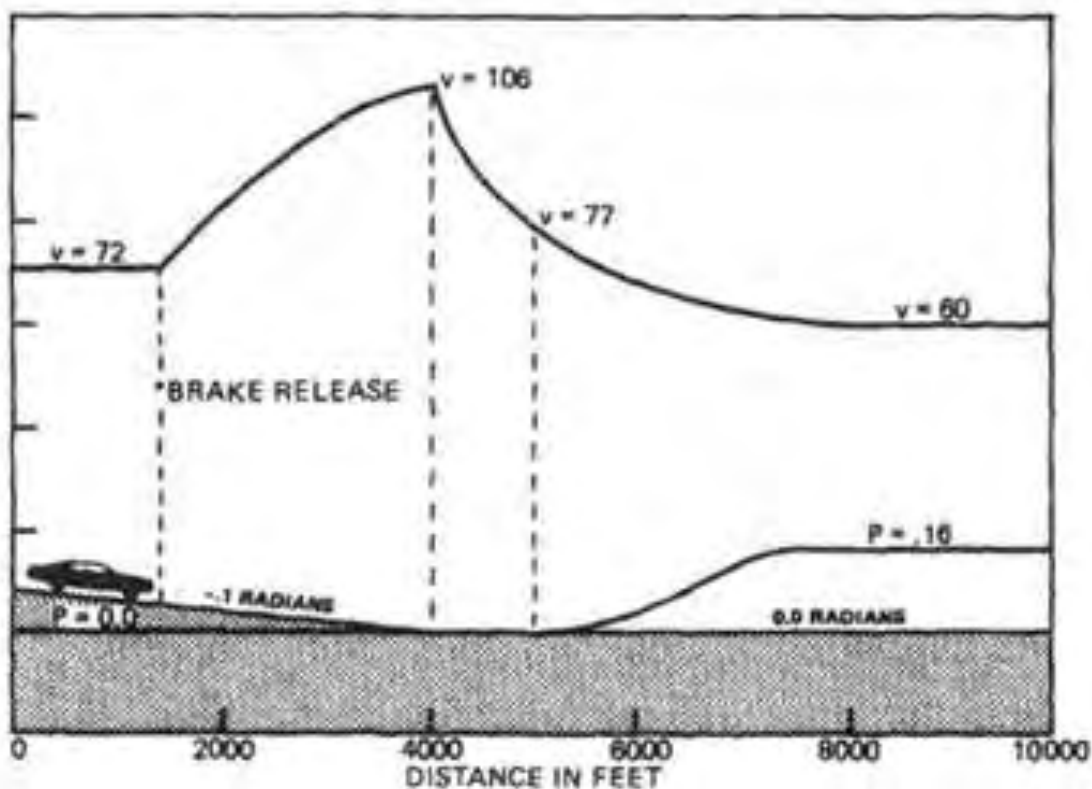


Σχ. 9. Βέλτιστη ταχύτητα v και φορτίο μηχανής p όταν πλησιάζει το τέρμα μιας ανωφέρειας 10% (0.1 radian) όπου η σταθερή κατάσταση της ταχύτητας σε ένα επίπεδο δρόμου ορίζεται στα 60 f/sec.



Σχ. 10. Βέλτιστη ταχύτητα v και φορτίο μηχανής p και συμπεριφορά φρεν αρίσματος όταν πλησιάζει μια ανωφέρεια 10% (0.1 radian) όπου η σταθερή κατάσταση της ταχύτητας σε ένα επίπεδο δρόμου ορίζεται στα 60 f/sec.





Σχ. 11. Βέλτιστη ταχύτητα v και φορτίο μηχανής p όταν πλησιάζει την βάση μιας κατωφέρειας 10% (-0.1 radian) με φρεναρίσματα που χρησιμοποιούνται στην κατωφέρεια για να διατηρηθεί η βέλτιστη ταχύτητα και με μια σταθερή κατάσταση ταχύτητας σε ένα επίπεδο δρόμου 60 f/sec.





2.10. Βέλτιστο Δρομολόγιο Βασιζόμενο στην Εξοικονόμηση Καυσίμου

Γενικά

Η κατανάλωση καυσίμου είναι μια από τις κύριες ανησυχίες των περισσότερων ταξιδιωτών. Πολλά συστήματα πλοήγησης που λαμβάνουν υπόψη την κατανάλωση καυσίμου έχουν αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να βοηθούν τους ταξιδιώτες στην επιλογή δρομολογίου. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρουσιάσει ένα σύστημα πλοήγησης, βασισμένο στην ιδέα της εξοικονόμησης καυσίμου (ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας, που να μπορεί να δώσει στους ταξιδιώτες την μικρότερη αναλογία χρόνου/απόστασης ταξιδιού. Το σύστημα φτιάχτηκε από δεδομένα που συγκεντρώθηκαν μέσω τηλεόρασης κλειστού κυκλώματος ("closed circuit television", CCTV) και πάνω στην πλατφόρμα Visual Basic. NET.

2.10.1 Εισαγωγή

Σε πολλές πόλεις υπάρχουν χρονίζοντα μποτιλιαρίσματα. Οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις προκαλούν την απώλεια δεκάτομμυριών ωρών και χρημάτων. Για να μειώσουμε αυτές τις απώλειες είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια αποτελεσματική μέθοδος που θα λύσει το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και θα μειώσει το χρόνο καθυστέρησης. Η κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος αυξάνεται κατά περίπου 30% σε μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Οι Jennifer και Oliver διαπίστωσαν ότι εάν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες πριν το ταξίδι ενισχύεται η αυτοπεποίθηση του οδηγού στο να χρησιμοποιήσει το καλύτερο δρομολόγιο και δίνεται η δυνατότητα σε όσους χρησιμοποιούν μέσα μαζικής μεταφοράς να κάνουν καλύτερες επιλογές μετεπιβίβασης. Οι ταξιδιωτικές πληροφορίες και οδηγίες από την μια εξοικονομούν χρόνο στο ταξίδι και βοηθούν τον ταξιδιώτη να αποφύγει την συμφόρηση, από την άλλη μπορεί να βελτιώσουν την απόδοση του ταξιδιωτικού δικτύου και είναι πιο αποτελεσματικές από τους κοινούς χάρτες και τις γραπτές οδηγίες. Η ανάγκη να κάνουμε τα ταξιδιωτικά μας δρομολόγια όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά είναι τώρα επιτακτική. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες που εξετάζουν την συμφόρηση των δρόμων ως προς την απώλεια παραγωγικότητας και καυσίμου: για παράδειγμα υπολογίστηκε ότι το 2003 στις Η.Π.ΠΑ. πήγαν χαμένα 8.7 δεκάτομμυρια λίτρα καυσίμου λόγω συμφόρησης.

Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν την εμπειρία του να έχουν δώσει ή λάβει οδηγίες πλοήγησης σε ένα ξένο για αυτούς γεωγραφικό περιβάλλον. Σε τέτοιες καταστάσεις οι ταξιδιώτες οδηγούνται στον προορισμό τους μέσω της συντομότερης διαδρομής και αυτός είναι ο σκοπός των περισσότερων αυτόματων συστημάτων πλοήγησης, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τον χρόνο





καθυστέρησης και το κόστος καυσίμου του οχήματος. Επιπλέον, με την εκρηκτική αύξηση της κίνησης, το παράδειγμα της συντομότερης διαδρομής της τρέχουσας κατάστασης ως προς την κίνηση οδηγεί επίσης στην ανομοιογενή διανομή της κίνησης: οι δρόμοι που συνδέουν τα συντομότερα δρομολόγια που χρησιμοποιούνται συχνά γίνονται όλο και πιο μπουτλιαρισμένοι, ενώ οι δρόμοι που δεν ανήκουν στα σύντομα δρομολόγια χρησιμοποιούνται λιγότερο από το κανονικό.

Εξαιτίας της δραματικής αύξησης του αριθμού των οχημάτων, η κυκλοφοριακή συμφόρηση έχει γίνει ένα αυξανόμενο σοβαρό πρόβλημα στις μεγάλες πόλεις σε όλον τον κόσμο. Πολλές προσπάθειες έχουν καταβληθεί στην μηχανική των μεταφορών για τον έλεγχο και την διαχείριση του ταξιδιωτικού χρόνου, ιδιαιτέρως σε περιόδους αιχμής. Υπάρχει επίσης μια μέτρηση για την επιλογή του βέλτιστου δρομολογίου που θεωρείται από τους πιο λεπτομερείς και καλύτερα ελεγμένους υπολογισμούς εκπομπής καυσαερίων σε διαφορετικές ταχύτητες και επιταχύνσεις. Ο Park αναφέρει ότι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που έχει μεγάλο αντίκτυπο στην κατανάλωση καυσίμου των οχημάτων είναι η κλίση του δρόμου που δείχνει τον αντίκτυπο που σχεδιασμού των δρόμων π.χ. καταναλώνεται περισσότερο καύσιμο από οχήματα στην μεγαλύτερη κλίση εδάφους.

Αυτή η μελέτη γίνεται για να βρεθεί το καλύτερο δυνατό δρομολόγιο όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου, διότι θεωρείται σημαντικό στοιχείο στην διαδικασία της βελτίωσης της ενεργειακής πυκνότητας του ταξιδιωτικού τομέα και στην μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης (Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων Η.Π.Α. 2000). Η χρονική καθυστέρηση ποικίλλει ανάλογα με την διαφορετική ροή της κίνησης και η ροή αυτή σε οδικές αρτηρίες επηρεάζεται από τους σηματοδότες και την σήμανση, γι' αυτόν τον λόγο υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στον χρόνο ταξιδιού και στην κατανάλωση καυσίμου. Η χωρητικότητα των οδικών αρτηριών θεωρείται γενικά ανάλογη της χωρητικότητας των σηματοδοτημένων διασταυρώσεων που βρίσκονται σε αυτές.

Από την άλλη, αυτή η εργασία προσπαθεί να κατανοήσει το αποτέλεσμα που έχουν οι διάφορες διαβαθμίσεις της κυκλοφορίας στον χρόνο καθυστέρησης έτσι ώστε να βρεθεί το καλύτερο δυνατό δρομολόγιο σε στατικό ή δυναμικό οδικό δίκτυο, λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο ταξιδιού και το κόστος καυσίμου. Αυτή η μελέτη προτείνει ένα αποτελεσματικό σχέδιο μείωσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης, στο οποίο κάθε όχημα μπορεί να έχει επαρκείς ταξιδιωτικές πληροφορίες και μπορεί να επιλέξει ένα δρομολόγιο για τον προορισμό του.

Η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να διαφοροποιείται στις μετρήσεις που έχουν εκδοθεί, ανάλογα με το πώς, που και πότε έγιναν και την επιλογή του





εξοπλισμού που τοποθετήθηκε. Πολλοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου οδήγησης και συμπεριφοράς, της επιθετικής επιτάχυνσης, του καιρού, της κίνησης, της κατάστασης του δρόμου, και των συστημάτων οδήγησης και του ενεργειακού εξοπλισμού (π.χ. κλιματισμός) που είναι εγκατεστημένα στο αυτοκίνητο (Οδηγός κατανάλωσης καυσίμου 2009). Ο χρόνος ταξιδιού είναι ανάλογος της κατανάλωσης καυσίμου, άρα μικρότερος χρόνος ταξιδιού χρησιμοποιεί λιγότερο καύσιμο.

2.10.2. Μεθοδολογία

Προγενέστερη έρευνα

Στις μέρες μας, οι πληροφορίες για τον χρόνο ταξιδιού παίζουν σημαντικό ρόλο σε διάφορους τομείς των «έξυπνων» συστημάτων μεταφοράς, όπως στα εξελιγμένα συστήματα διαχείρισης κυκλοφοριακού, στο εξελιγμένο σύστημα ταξιδιωτικών πληροφοριών, στην λειτουργία εμπορικών οχημάτων και στο σύστημα εμπορικής διαχείρισης. Ο ακριβής χρόνος ταξιδιού θα βοηθήσει τους οδηγούς και τους χειριστές λογισμικού να αποφύγουν περιοχές με συμφόρηση και αυτό θα βοηθήσει στην μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, του κόστους του ταξιδιού και του επιπέδου υπηρεσιών. Ο χρόνος ταξιδιού είναι μια κρίσιμη παράμετρος για εκείνους που διαχειρίζονται το κυκλοφοριακό σύστημα. Από την άλλη, η χρήση των πληροφοριών για τον χρόνο ταξιδιού μπορεί να εξαπλώσει την κυκλοφοριακή συμφόρηση γιατί οι ταξιδιώτες μπορεί να επιλέξουν άλλο δρομολόγιο ή διάφορα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Ο χρόνος ταξιδιού (μετακίνησης) διακυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας γιατί επηρεάζεται από διαφορετικούς κυκλοφοριακούς παράγοντες όπως ο όγκος της κυκλοφορίας, το οδικό δίκτυο που επιλέγεται, χωρητικότητα του δρόμου και κυκλοφοριακές διευκολύνσεις (π.χ. φωτεινοί σηματοδότες), καθώς και από μη κυκλοφοριακούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των κυκλοφοριακών συμβάντων, του καιρού, της κατάστασης του οδοστρώματος, του ορίου ταχύτητας κ.λ.π. Μελέτη από τους Iroy και Kuwahara έδειξε ότι το ποσοστό μείωσης της συμφόρησης εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του οδικού δικτύου. Η ροή οχημάτων στις εθνικές οδούς αντιμετωπίζεται συχνά ως μη διακοπτόμενη ροή. Η ροή στο αστικό δίκτυο εννοείται πως είναι πιο περίπλοκη αφού τα οχήματα που μετακινούνται σε αυτό υπόκεινται σε καθυστερήσεις που οφείλονται όχι μόνο σε ουρές αλλά και στην σήμανση καθώς και στις στροφές.

Στο παρελθόν, πολλές μελέτες ITS και πρακτορεία μεταφορών χρησιμοποιούσαν τα κυκλοφοριακά δεδομένα από ανιχνευτές με διπλό





κύκλωμα που έχουν τη δυνατότητα να κρατούν αρχείο με μέτρηση της κυκλοφορίας (αριθμός οχημάτων που περνούν από τον ανιχνευτή σε ορισμένη χρονική περίοδο), ταχύτητας και χωρητικότητας (κλάσμα του χρόνου οπότε εντοπίζονται τα οχήματα) και είναι διαθέσιμοι σε διάφορα σημεία εθνικών οδών και αστικών δρόμων. Στις μέρες μας οι μέθοδοι συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων έχουν κάνει μεγάλη πρόοδο και έχουν φτάσει στην συλλογή σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης της κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τους Lin και Zito, η συλλογή πληροφοριών για τη κυκλοφορία και οι μετρήσεις του χρόνου ταξιδιού μπορεί να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: σε μετρήσεις που βασίζονται στην τοποθεσία, το όχημα και σε αισθητήρες ανίχνευσης.

Ο χρόνος ταξιδιού που υπολογιζόταν με διαφορετικό τρόπο στο παρελθόν βασίζεται στην ιστορική ανάλυση κυκλοφοριακών δεδομένων που μπορεί να διαχωριστεί ως εξής: μέθοδος αναδρομής μέθοδος υπολογισμού χρονικού συνεχούς, υβρίδιο μείξης δεδομένων ή συνδυαστικό μοντέλο και η μέθοδος τεχνητής νοημοσύνης όπως το νευρολογικό δίκτυο. Οι Nakata και Takeuchi (2004) χρησιμοποίησαν το μοντέλο αυτό-αναδρομής (AR model) και το μοντέλο κατάστασης χώρου για την καταγραφή χρονικού συνεχούς ώστε να προβλέψουν τον χρόνο ταξιδιού.

Το φίλτρο Kalman δίνει ένα υπολογιστικό (αναδρομικό) μοντέλο σε πολλές έρευνες χρόνου ταξιδιού, γιατί είναι από πολλές απόψεις ισχυρό: υποστηρίζει υπολογισμούς καταστάσεων του παρελθόντος, του παρόντος, ακόμα και του μέλλοντος ακόμα και αν η ακριβής φύση του συστήματος που γίνεται μοντέλο είναι άγνωστη. Στον Wu, η υποστήριξη του αναδρομικού διανυσματικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει τον χρόνο ταξιδιού των χρηστών αυτοκινητοδρόμων. Στους Bajwa, Chung, and Kuwahara, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της ταυτοποίησης μοτίβων για τον χρόνο ταξιδιού. Τα κυκλοφοριακά μοτίβα, ομοίως με το τρέχον κυκλοφοριακό, αναζητούνται μέσα σε ιστορικά μοτίβα και χρησιμοποιούνται αυτά που ταιριάζουν περισσότερο για να προκύψουν οι παρούσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Στον Chung αναπτύχθηκε μια υπολογιστική μέθοδος OD για να γίνει ένας πιο ακριβής υπολογισμός της κυκλοφοριακής ροής και του όγκου της κυκλοφορίας σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ακόμη τα μοντέλα μείξης δεδομένων χρόνου ταξιδιού ενσωμάτωσαν την γκρι θεωρία και είναι βασισμένα στο νευρολογικό δίκτυο. Ο Yang ανέπτυξε κάποια υβριδικά μοντέλα για την αντιμετώπιση και την ανάμειξη των δεδομένων για τον ανιχνευτή κυκλοφοριακών δεδομένων στους αυτοκινητόδρομους.

Όμως, πολλές από τις προηγούμενες εργασίες λαμβάνουν υπόψη μόνο στατιστικά δεδομένα χωρικού δικτύου και χρόνου ταξιδιού που βασίζονται σε δεδομένα που έχουν συλλεχτεί ιστορικά, και επομένως δεν λαμβάνουν υπόψη συμβάντα και την κυκλοφοριακή κατάσταση πραγματικού χρόνου. Με άλλα





λόγια, κανένα από τα συμβάντα πραγματικού χρόνου (π.χ. παρακάμψεις και κυκλοφοριακές συμφορήσεις) που επηρεάζουν το χωρικό δίκτυο, δεν αντανakλώνται στο προβλεπόμενο αποτέλεσμα. Είναι δύσκολο να υπολογίσουμε τον χρόνο ταξιδιού σε πραγματικό χρόνο για το αστικό δίκτυο εξαιτίας των ακόλουθων λόγων: (1) πολυπλοκότητα δικτύου, (2) πρόβλημα διαδρομής και επιλογής στο οδικό δίκτυο, (3) συλλογή δεδομένων ανιχνευτή σε πραγματικό χρόνο δεν είναι διαθέσιμη ή δεν είναι οικονομική, (4) πρόβλημα κάλυψης χωρο-χρονικών δεδομένων της πρόβλεψης του χρόνου ταξιδιού που βασίζεται σε αισθητήρα ή όχημα και (5) όχι μεγάλη ακρίβεια λόγω της έλλειψης μηχανισμού ανταπόκρισης σε συμβάν.

Κλάση αστικού δρόμου

Έχουν γίνει πολλές απόπειρες σε πολλά μέρη του κόσμου, ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες, για να χρησιμοποιηθεί το «Έξυπνο» Σύστημα Μεταφοράς (Intelligent Transport System (ITS)) και για να δημιουργηθούν νέες τεχνολογίες για την βοήθεια των επιβατών.

Ο συνολικός χρόνος ταξιδιού περιέχει διάφορα θέματα, αυτή η εργασία παρουσιάζει τον χρόνο ταξιδιού που περιέχει τον χρόνο καθυστέρησης και το χρόνο ελεύθερης ροής χρόνου ταξιδιού. Η Bandar Baru Bangi (BBB) είναι μια κωμόπολη που πρόσφατα στέφτηκε Πόλη της Γνώσης στην Μαλαισία. Βρίσκεται ακριβώς ανάμεσα στις πόλεις Kajang και Putrajaya και απέχει περίπου 25χλμ από την πρωτεύουσα, Κουάλα Λουμπόρ, και το διεθνές της αεροδρόμιο.

Η εικόνα 1 δείχνει έναν χάρτη της BBB. Η BBB είναι διάσημη για την στέγαση εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, εθνικών ιδρυμάτων και γραφείων, εταιρικών ιδρυμάτων, εργοστασίων, εργοστασιακών κέντρων εκπαίδευσης. Αναφερόμενη στον Πίνακα 1, η BBB καθορίζεται ως Κλάση II βάση της άμεσα αποθηκευμένης μέτρησης της ταχύτητας ελεύθερης ροής (free-flow speed (FFS)) και της εκτίμησης των λειτουργικών και σχεδιαστικών κατηγοριών του υπό έρευνα δρόμου (Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμου, 2000).





Εικόνα 1: Bandar Baru Bangi



Πίνακας 1: Αστικός δρόμος LOS ανά Κλάση

Urban Street Class	I	II	III	IV
Range of Free-Flow Speeds (FFS)	55 to 45 mi/h	45 to 35 mi/h	35 to 30 mi/h	35 to 25 mi/h
Typical FFS	50 mi/h	40 mi/h	35 mi/h	30 mi/h
LOS	Average Travel Speed (mi/h)			
A	>42	>35	>30	>25
B	>34-42	>28-35	>24-30	>19-25
C	>27-34	>22-28	>18-24	>13-19
D	>21-27	>17-22	>14-18	>9-13
E	>16-21	>13-17	>10-14	>7-9
F	≤16	≤13	≤10	≤7

Χρόνος πορείας

Ο συνολικός χρόνος που ένα όχημα βρίσκεται σε ένα τμήμα αστικού δρόμου είναι ο χρόνος πορείας (Tr) και συνολικής καθυστέρησης (D) στις σηματοδοτημένες διασταυρώσεις .

$$\text{Συνολικός χρόνος} = Tr + D \quad (1)$$

$$Tr = \text{Χρόνος πορείας ανά μίλι} \times \text{Μέσο μήκος τμήματος} \quad (2)$$

Ο χρόνος πορείας υπολογίζεται από τον Πίνακα 2 αφού καθοριστεί η κλάση του δρόμου(Εγχειρίδιο Χωρητικότητα Αυτοκινητοδρόμου, 2000)





Πίνακας 2: Χρόνος Πορείας τμήματος ανά μίλι

Urban Street Class	I			II			III		IV		
FFS(mi/h)	55	50	45	45	40	35	35	30	35	30	25
Average Segment Length (mi)	Running Time per Mile (s/mi)										
0.05	b	b	b	b	b	b	-	-	-	227	265
0.10	b	b	b	b	b	b	145	155	165	180	220
0.15	b	b	b	b	b	b	135	141	140	150	180
0.20	b	b	b	109	115	125	128	134	130	140	165
0.25	97	100	104	104	110	119	120	127	122	132	153
0.30	92	95	99	99	102	110	d	d	d	d	d
0.40	82	86	94	94	96	105	d	d	d	d	d
0.50	73	78	88	88	93	103	d	d	d	d	d
1.00	65 ^c	72 ^c	80 ^c	80 ^c	90 ^c	103 ^c	d	d	d	d	d

Χρόνος καθυστέρησης

Γενικότερα, η ελεγχόμενη καθυστέρηση για την απευθείας κίνηση είναι η καταλληλότερη καθυστέρηση που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκτίμηση ενός αστικού δρόμου. Η εξίσωση 3 χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ελεγχόμενη καθυστέρηση ενώ οι εξισώσεις 4 και 5 χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η ενιαία καθυστέρηση και η προσαυξημένη καθυστέρηση (Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμου, 2000)

1. Ελεγχόμενη καθυστέρηση

$$d = d1 \text{ PF} + d2 + d3 \quad (3)$$

Όπου : d= ελεγχόμενη καθυστέρηση (sec/veh)

d1= ενιαία ελεγχόμενη καθυστέρηση (sec/veh)

d2= προσαυξημένη καθυστέρηση (sec/veh)

d3= αρχική καθυστέρηση ουράς

PF= παράγοντας προσαρμογής προόδου ενιαίας κίνησης που αιτιολογεί το αποτέλεσμα της προόδου του σήματος

2. Ενιαία Καθυστέρηση

Η εξίσωση 4 δίνει μια εκτίμηση της ελεγχόμενης καθυστέρησης έχοντας ως δεδομένο τέλεια ομοιόμορφες αφίξεις και μια σταθερή ροή.

$$d1 = 0,5 C [1 - g/C]^2 / \{1 - (g/C)[\min(1, X)]\} \quad (4)$$

Όπου: X= v/c αναλογία για την ομάδα λωρίδας

C= μήκος του κύκλου (sec)

g= ισχύων πράσινος χρόνος για την ομάδα λωρίδας (sec)





3. Προσαυξημένη Καθυστέρηση

Η εξίσωση 5 υπολογίζει την προσαυξημένη καθυστέρηση που οφείλεται σε μη ομοιόμορφες αφίξεις και εξατομικευμένες αποτυχίες κύκλου (π.χ. τυχαίες καθυστερήσεις) καθώς και καθυστερήσεις που προκαλούνται από διατηρήσιμες περιόδους υπερκορεσμού (π.χ. καθυστέρηση υπερκορεσμού)

$$d_2 = 900T\{(X-1) + [(X-1)^2 + 8kIX/cT]^{0,3}\} \quad (5)$$

Όπου : T= διάρκεια περιόδου ανάλυσης (hr)

k= παράγοντας προσαυξημένης καθυστέρησης που εξαρτάται από τις ρυθμίσεις της μονάδας ελέγχου

I= αντιρευματικό φίλτρο / μέτρηση συντελεστή προσαρμογής = 1.0

c= χωρητικότητα ομάδας λωρίδας

4. Συντελεστής προσαρμογής προόδου

Ο συντελεστής προσαρμογής προόδου (PF) εξηγεί το αποτέλεσμα που έχει στην καθυστέρηση η πρόδος ελεγχόμενου τύπου και σήματος. Ο Πίνακας 3 δείχνει την κατάλληλη τιμή PF σύμφωνα με τον υπάρχοντα τρόπο λειτουργίας του ελέγχου στην Μαλαισία. (Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμου, 2000)

$$Pf = \frac{(1-P)fp}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} \quad (6)$$

Όπου: P = αναλογία οχημάτων που φτάνουν στο πράσινο

g/C= αναλογία διαθέσιμου χρόνου πράσινου

fp = συμπληρωματικός παράγοντας προσαρμογής για την άφιξη κολώνας οχημάτων όσο διαρκεί το πράσινο

Table 3: Σχέση μεταξύ τύπου άφιξης και αναλογίας κολώνας οχημάτων (R_g)

Τύπος άφιξης	Φάσμα αναλογίας κολώνας οχημ. (R_g)	Προκαθορισμένη Αξία (R_g)	Ποιότητα Προόδου
1	≤ 0.50	0.333	Πολύ λίγη
2	$> 0.50 - 0.85$	0.667	Δυσμενής
3	$> 0.85 - 1.15$	1.000	Τυχαίες αφίξεις
4	$> 1.15 - 1.50$	1.333	Ευνοϊκή
5	$> 1.50 - 2.00$	1.667	Πολύ ευνοϊκή
6	> 2.00	2.000	Εξαιρετική

Σημείωση: $P = R_g \times g/C$

5. Αρχική καθυστέρηση ουράς

Όταν ένα υπόλοιπο ουράς από προηγούμενη χρονική περίοδο προκαλεί τη δημιουργία αρχικής ουράς στην αρχή της περιόδου ανάλυσης (T), τα οχήματα





που φτάνουν αυτή την περίοδο υφίστανται επιπρόσθετη καθυστέρηση αφού πρέπει πρώτα να αδειάσει τη διασταύρωση η αρχική ουρά. Η εκτίμηση της καθυστέρησης της αρχικής ουράς μπορεί να γίνει με την χρήση της εξίσωσης 7. (Εγχειρίδιο Χωρητικότητας Αυτοκινητοδρόμου, 2000).

$$d_3 = \frac{1800Qb(1+u)t}{cT} \quad (7)$$

Όπου : Qb= αρχική ουρά στην αρχή της περιόδου T (veh)

c= προσαρμοσμένη χωρητικότητα ομάδας λωρίδας (veh/hr)

T= περίοδος ανάλυσης (hr)

t= διάρκεια ακάλυπτης ζήτησης κατά την T (hr)

u= παράμετρος καθυστέρησης

2.10.3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Για να δείξουμε τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, την χωρίζουμε σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις: φάση 1 η φάση ελεύθερης ροής, φάση 2 που είναι το πρωί από τις 7 πμ μέχρι τις 9 πμ, φάση 3 είναι το μεσημέρι από τις 12.00πμ έως τις 2.00μμ και φάση 4 το απόγευμα από τις 5.00μμ έως τις 7.00 μμ. Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της κυκλοφοριακής ροής συλλέγονται από τις κάμερες τηλεόρασης κλειστού κυκλώματος (CCTVs) που είναι τοποθετημένες σε διασταυρώσεις. Σε αυτή την εργασία σώζονται ως δεδομένα τα δείγματα από 20 εργάσιμες μέρες. Παρατηρείται ο όγκος οχημάτων σε διαφορετικές φάσεις και αυτά τα δεδομένα εισάγονται σε ένα πρόγραμμα που γράφεται με το Visual Basic.Net. Γράφεται ένας αλγόριθμος που συνενώνει την αρχική απόσταση και τον χρόνο ροής από ένα σημείο εκκίνησης σε έναν προορισμό. Σε αυτό το πρόγραμμα περιλαμβάνονται τύποι για τον χρόνο καθυστέρησης και χρόνου ταξιδιού.

Έχει πραγματοποιηθεί ένα παράδειγμα συνόλου δρόμων από το UKM στα Διόδια Kajang στο Bandar Baru Bangi. Υπάρχουν δυο δρομολόγια για αυτό το παράδειγμα, τα οποία είναι η Διαδρομή 1 (7900μέτρα) και η Διαδρομή 2 (8400μέτρα). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τέσσερις μελέτες περιπτώσεων διαφορετικών χρόνων. Σύμφωνα με τον Πίνακα I, το καλύτερο δρομολόγιο είναι η Διαδρομή 1 που διαρκεί 17.53 λεπτά αφού δεν υπάρχει κυκλοφορική συμφόρηση υπό συνθήκες ελεύθερης ροής, επομένως το δρομολόγιο μικρότερης απόστασης είναι το καλύτερο δρομολόγιο. Για το πρωί από τις 7.00 πμ έως 9.00 πμ σύμφωνα με τον Πίνακα II, η Διαδρομή 2 (19.21λεπτά) είναι η καλύτερη επιλογή σε σύγκριση με τη Διαδρομή 1 (19.52 λεπτά). Το μεσημέρι από τις 12.00πμ έως τις 2.00μμ σύμφωνα με τον Πίνακα III, η Διαδρομή 2 είναι επίσης το συντομότερο δρομολόγιο και για τον Πίνακα IV, και τα δυο δρομολόγια διαρκούν περίπου το ίδιο εξαιτίας της απογευματινής κυκλοφοριακής συμφόρησης.





Πίνακας I: Αποτέλεσμα για την μελέτη περίπτωσης 1: Συνθήκες ελεύθερης ροής και στους δυο δρόμους

Διαδρομή	Διαδρομή 1	Διαδρομή 2	% Διαφορές
Μήκος(m)	7900	8400	6.33
Καθυστέρηση (min)	10.53	11.51	10.3
Χρόνοςταξιδιού(min)	17.53	19.21	18

Πίνακας II: Αποτέλεσμα για την μελέτη περίπτωσης 2:
Πρωί 7.00πμ - 9.00πμ

Διαδρομή	Διαδρομή 1	Διαδρομή 2	% Διαφορές
Μήκος(m)	7900	8400	6.63
Καθυστέρηση (min)	12.52	11.51	2.25
Χρόνοςταξιδιού(min)	19.52	19.21	2.67

Πίνακας III: Αποτέλεσμα για την μελέτη περίπτωσης 3:
Μεσημέρι 12.00 πμ-2.00μμ

Διαδρομή	Διαδρομή 1	Διαδρομή 2	% Διαφορές
Μήκος(m)	7900	8400	6.33
Καθυστέρηση (min)	17.55	15.65	12.17
Χρόνοςταξιδιού(min)	24.55	23.35	5.16

Πίνακας IV: Αποτέλεσμα για την μελέτη περίπτωσης 4:
Απόγευμα 5.00μμ-7.00μμ

Διαδρομή	Διαδρομή 1	Διαδρομή 2	% Διαφορές
Μήκος(m)	7900	8400	6.63
Καθυστέρηση (min)	24.05	23.68	1.54
Χρόνοςταξιδιού(min)	31.05	31.38	1.08

Η Εικόνα 2 δείχνει το πρόγραμμα που έχει αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το Visual Basic.Net. αυτό το πρόγραμμα θα οδηγήσει τον χρήστη στο καλύτερο δρομολόγιο που θα μπορούσε να ακολουθήσει, μετά την επιλογή σημείου εκκίνησης και προορισμού. Επίσης δείχνει την συνολική απόσταση για κάθε δρομολόγιο. Το καλύτερο δρομολόγιο προβάλλεται στο πάνω μέρος της μπάρας αποτελέσματος. Ο χρόνος ταξιδιού περιλαμβάνει τον χρόνο καθυστέρησης. Ο χρήστης θα μπορεί να επιλέξει το πότε θέλει να χρησιμοποιήσει τον δρόμο και θα έχει την δυνατότητα να σχεδιάσει το ταξίδι του εκ των προτέρων. Αυτό το παράδειγμα δείχνει ότι το απόγευμα από τις 5.00μμ έως τις 7.00μμ ξεκινώντας από UKM προς τα διόδια Kajang το





καλύτερο δρομολόγιο είναι η Διαδρομή 2 με συνολικό χρόνο ταξιδιού 23.55 λεπτά. Η Διαδρομή 2 εξοικονομεί περισσότερα καύσιμα σε σχέση με τη Διαδρομή 1 γιατί ο συνολικός χρόνος για τη Διαδρομή 2 είναι λιγότερος από τη Διαδρομή 1.

Εικόνα 2: Δείγμα του προγράμματος





2.11 Βασικά Συμπεράσματα, συζήτηση και περαιτέρω έρευνα

Μπορεί να υπάρξουν πολλά κέρδη όσο αφορά την χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου αν οι οδηγοί εφαρμόσουν την λεγόμενη οικολογική οδήγηση. Ο Johansson (1999) αναφέρει μια πιθανή μείωση στην κατανάλωση καυσίμου περίπου 11%. Έχει όμως επίσης παρατηρηθεί ότι το μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα των οδηγιών για οικολογική οδήγηση μειώνεται καθώς πολλοί οδηγοί σταδιακά επιστρέφουν στο παλιό οδηγικό τους στυλ.

Σε πολλές περιπτώσεις μια διαδρομή ελαχιστοποιημένη στην απόσταση, ελαχιστοποιεί συχνά επίσης την χρήση καυσίμου, όμως, κατά τη διάρκεια της συμφόρησης, τα παραπάνω μπορεί να μην ισχύουν. Η κατανάλωση καυσίμου είναι συχνά υψηλότερη σε ένα δρομολόγιο με κυκλοφοριακό πρόβλημα παρ' όλο που είναι κοντινότερο. Ένα δρομολόγιο με κυκλοφοριακό αν και κοντινότερο μπορεί να μην είναι το πιο οικονομικό από άποψη καυσίμων δρομολόγιο. Αντιθέτως, ένα μακρινότερο δρομολόγιο μπορεί να έχει λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση και είναι πιο οικονομικό σε καύσιμο.

Τα νεότερα οχήματα, ανεξαρτήτως της τεχνολογίας της μηχανής, θα γίνονται πιο αποδοτικά σε συνθήκες λειτουργίας συμφόρησης. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι η εισροή οχημάτων που κινούνται με εξελιγμένες τεχνολογίες, τα οποία λειτουργούν πιο αποδοτικά σε συνθήκες συμφόρησης από τις συμβατικές μηχανές, θα παίξει σημαντικό ρόλο στην γεφύρωση του χάσματος μεταξύ εξοικονόμησης καυσίμου σε σενάρια ελεύθερης ροής και σε σενάρια συμφόρησης. Επομένως, η επιτάχυνση της ανάπτυξης εξελιγμένων τεχνολογιών μπορεί να μειώσει το επίπεδο καυσίμου που χάνεται λόγω συμφόρησης.

Τα ευρήματά μας δείχνουν ότι υπάρχει ξεκάθαρη δυνατότητα για ένα πλοηγικό σύστημα που δείχνει στον οδηγό την βέλτιστη διαδρομή όσο αφορά την εξοικονόμηση καυσίμου.

Τα αποτελέσματα επαλήθευσαν ότι η κλίση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία καυσίμων των light-duty οχημάτων, τόσο σε επίπεδο κυκλοφοριακών συνδέσεων καθώς και σε επίπεδο διαδρομών. Για τις συγκεκριμένες διαδρομές που εξετάστηκαν, διαπιστώνεται ότι η συνολική οικονομία καυσίμου της επίπεδης διαδρομής είναι ανώτερη από αυτήν της λοφώδους διαδρομής περίπου 15-20%. Αναμένεται ότι τέτοια επίδραση θα είναι διαφορετική για τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων (π.χ. light-duty φορτηγάκια, φορτηγά, κ.λπ.) και για διαφορετικές τεχνολογίες καυσίμων/κινητήρων (π.χ. υβριδικός-ηλεκτρικά οχήματα). Αναμένεται επίσης ότι η επίδραση θα είναι πιθανώς πιο έντονη για τα βαρέα φορτηγά οχήματα των οποίων η αναλογία power-to-weight είναι πολύ χαμηλότερη από τα light-duty αυτοκίνητα.





Η μελέτη καταδεικνύει ξεκάθαρα ότι δεν πρέπει να αγνοείται η επίδραση των κλίσεων του οδοστρώματος στην κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος και στις τιμές εκπομπής της εξάτμισης κατά την εκτίμηση των επενδύσεων μεταφοράς. Πιο συγκεκριμένα, από το σενάριο σταθερής ταχύτητας μέχρι το σενάριο ελέγχου σημάτων, οι επιδράσεις των κλίσεων του οδοστρώματος και των τιμών εκπομπής αυξάνονται σημαντικά ακόμα και για μια αύξηση 1% στην κλίση του οδοστρώματος.

Ακόμα, αυτή η επίδραση της οδικής κλίσης θα διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στους προηγμένους eco-routing αλγορίθμους πλοήγησης, όπου τα συστήματα πλοήγησης μπορούν να καθοδηγήσουν τους οδηγούς για να αποφύγουν τα απότομα οδοστρώματα προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη οικονομία καυσίμων και να μειωθούν οι εκπομπές του CO₂.

Τότε, τα συστήματα θα είναι σε θέση να συνυπολογίσουν τη συνολική απόσταση, την κατάσταση της κυκλοφορίας και τα προφίλ οδικής κλίσης κατά τον υπολογισμό της πιο φιλικής διαδρομής προς το περιβάλλον για ένα ταξίδι.

Τέλος τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της κλίσης της οδού φαίνεται να είναι γραμμική μεταξύ κλίσης -2% και 2%, γεγονός που σημαίνει ότι δεν θα υπήρχε διαφορά στην κατανάλωση καυσίμων μεταξύ των εναλλακτικών διαδρομών με διαφορετικό προφίλ κλίσης εντός του εν λόγω φάσματος.

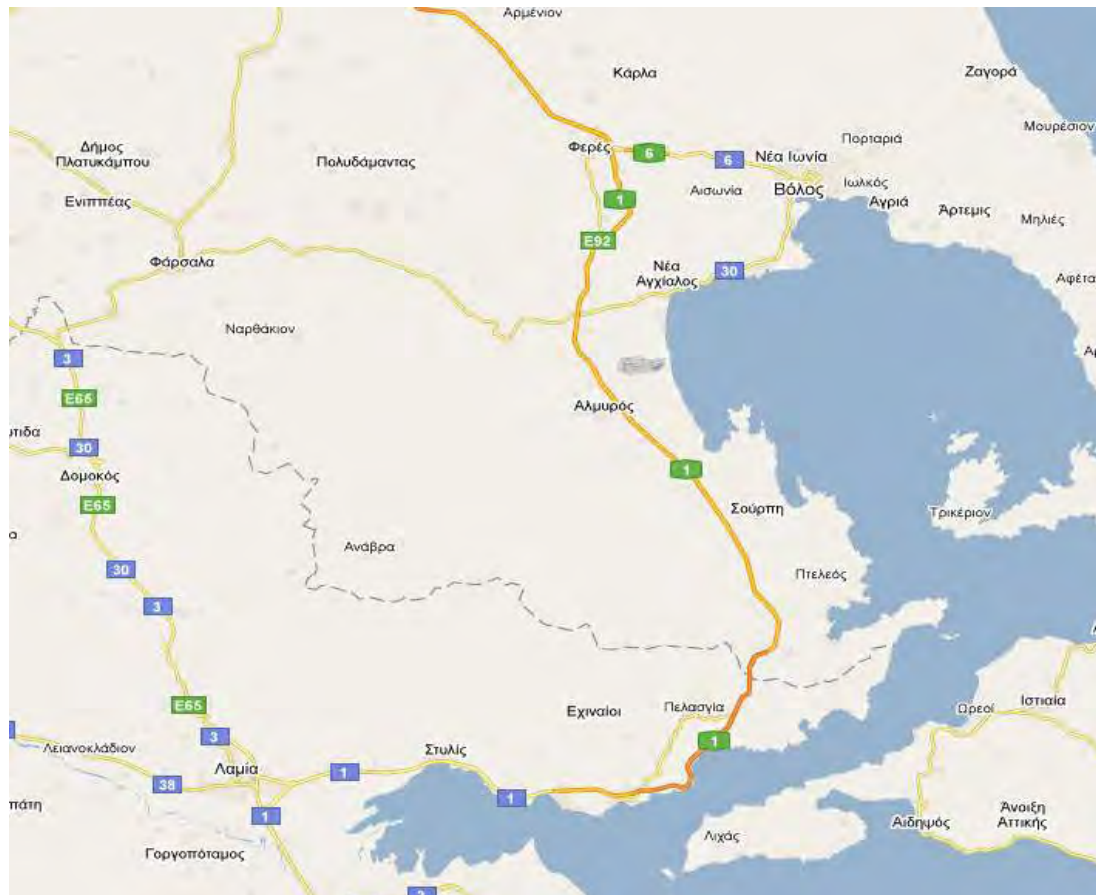




3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

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

Εξετάστηκε η κατανάλωση καυσίμων μεταξύ 5 (παρκινγκ) στην κατεύθυνση Λαμίας-Βόλου και 6 παρκινγκ στην κατεύθυνση Βόλου-Λαμίας. Τα τοπογραφικά και γεωμετρικά στοιχεία της οδού μεταξύ των παρκινγκ παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της χιλιομετρικής θέσης και υψομέτρου των παρκινγκ υπολογίστηκε η απόσταση και η κατά μήκος κλίση της οδού. Επιπλέον, υπολογίστηκε η μέση κλίση της οδού από το πρώτο παρκινγκ (P1) μέχρι καθενός επομένου. Συνεπώς, προέκυψε ότι η συνολική μέση κατά μήκος κλίση της οδού είναι 0,31 μεταξύ των παρκινγκ (P1-P5) και (P1-P6).





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

Λαμία – Βόλος					
Παρκινγκ		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					
Παρκινγκ		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

Αρχικά 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.





Στο επόμενο στάδιο της μελέτης έγινε συγκριτική μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου του υβριδικού οχήματος Toyota Prius με βενζινοκίνητο όχημα μάρκας Peugeot 307 cc. Το Peugeot διαθέτει έναν βενζινοκινητήρα 1.6lt απόδοσης 110 ίππων, ο οποίος κινεί αξιοπρεπώς το βαρύ όχημα των 1.457 κιλών (12,2 δλ. χρειάζονται για τα 0-100 χλμ./ώρα και η τελική ταχύτητα φτάνει τα 191 χλμ./ώρα) και 5τάχυτο κιβώτιο .



Σχήμα 2: Όχημα μελέτης Toyota Prius και Peugeot 307cc

3.3 Συλλογή των δεδομένων

Αρχικά 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 (παρκινγκ). 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 για τον περιορισμό του κινδύνου για την οδική ασφάλεια του οδηγού.





Στη συνέχεια έγινε συγκριτική μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου του υβριδικού οχήματος Toyota Prius με βενζινοκίνητο όχημα μάρκας Peugeot 207cc. Τα οχήματα κινήθηκαν ταυτόχρονα στην προαναφερθείσα διαδρομή, εκτελώντας ένα κύκλο διαδρομής για κάθε ταχύτητα μελέτης. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμου για τις ταχύτητες κίνησης 110χλμ/ώρα, 120χλμ/ώρα, 130 χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα.

Το κάθε όχημα απαρτίζονταν από 2 άτομα και εκτελούσαν τις διαδρομές κάτω από τις ίδιες συνθήκες, διατηρώντας πάντα σταθερή ταχύτητα. Τα οχήματα κινήθηκαν χωρίς τη χρήση κλιματισμού και χωρίς ανανέωση καυσίμου. Κατά τη διάρκεια της έρευνας οι συνοδηγοί σημείωναν επίσης την ημερομηνία και ώρα της κάθε διαδρομής, την εξωτερική θερμοκρασία, την ένταση του αέρα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

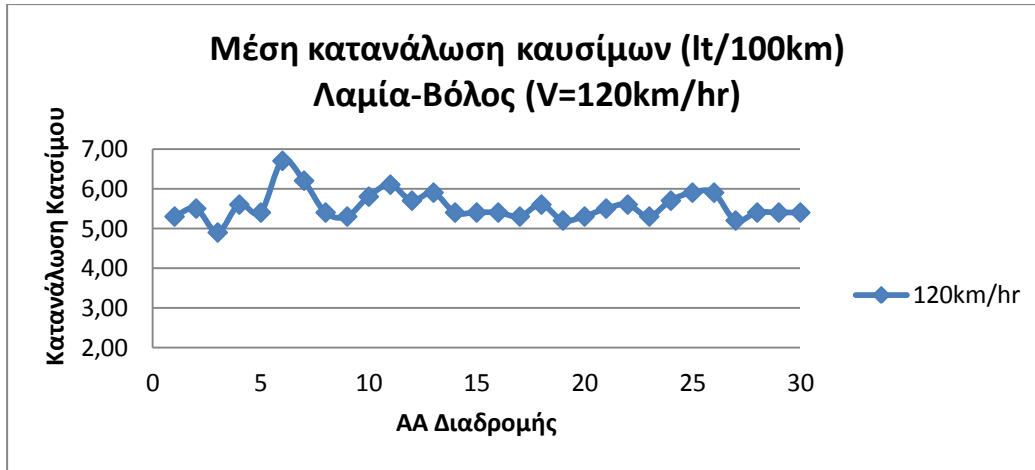
4.1 Αποτελέσματα κατανάλωσης καυσίμου αποκλειστικά του Toyota Prius

4.1.1 Διαδρομή Λαμία-Βόλος (P1-P5)

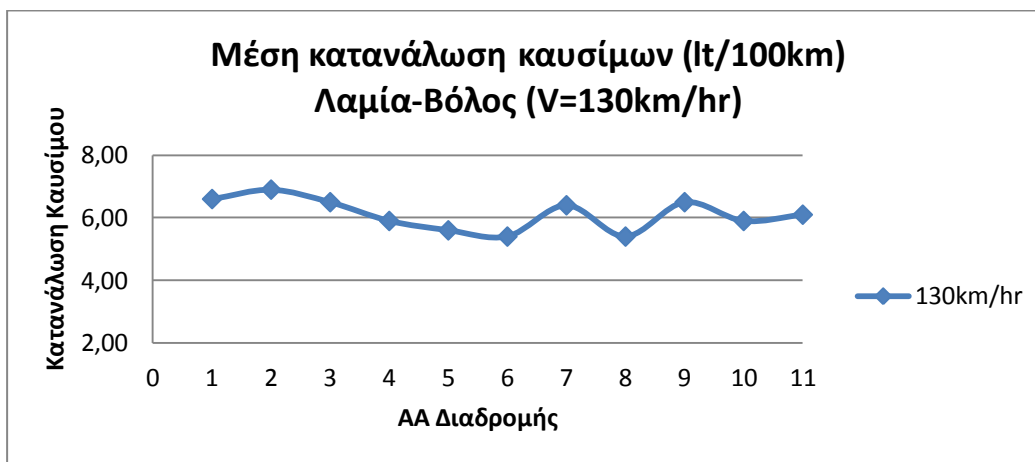
Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα excel. Λαμβάνοντας υπόψη τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού υπολογίστηκε το προφίλ κατανάλωσης καυσίμων σε lt/100km για τις τρεις εξεταζόμενες ταχύτητες (Σχήματα 3, 4 και 5). Παρατηρούμε ότι για την ταχύτητα 120km/hr 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 το προφίλ της μέσης κλίσης 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.

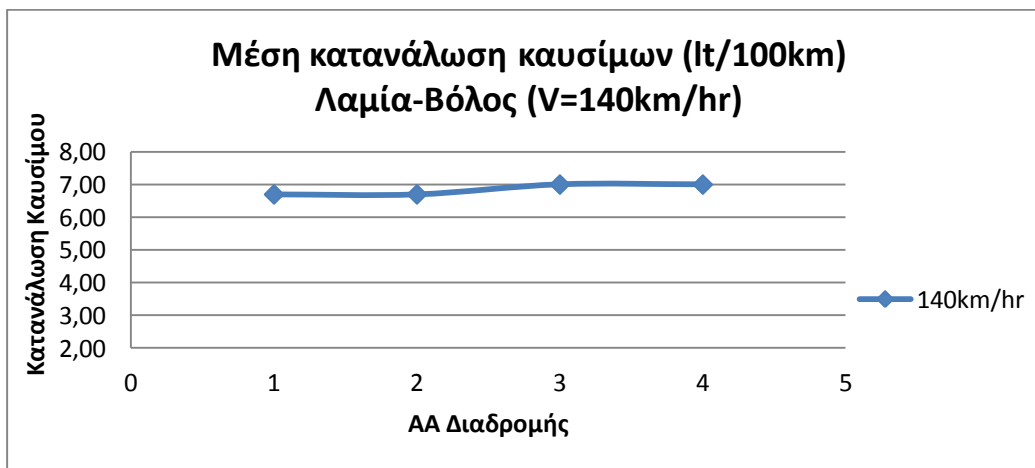




Σχήμα 3. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Λαμία-Βόλος (V=120km/hr)

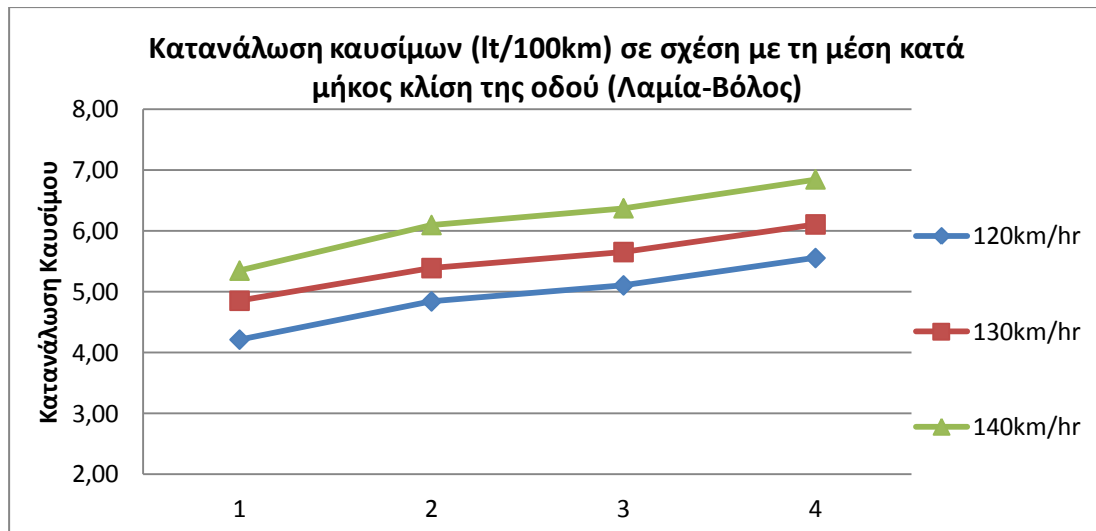


Σχήμα 4. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Λαμία-Βόλος (V=130km/hr)



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 βάσει 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.

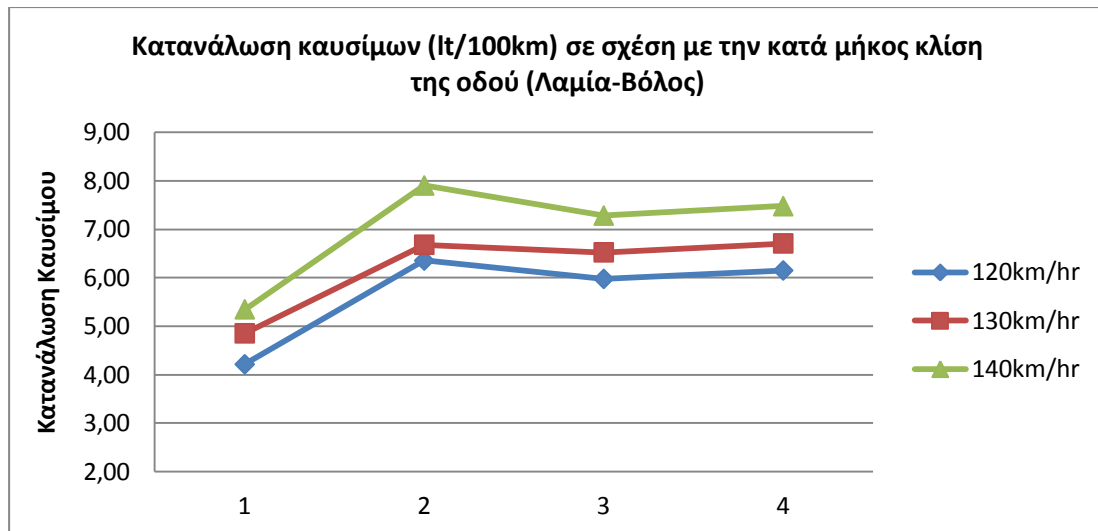
Στο πρώτο οδικό τμήμα (P1-P2), η κατά μήκος κλίση της οδού είναι αρνητική (-1.34%) και η κατανάλωση καυσίμων χαμηλή (4.22, 4.85 και 5.35 lt/100km) για τα τρία επίπεδα ταχύτητας (120, 130, 140 km/hr), (Πίνακας 3).

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

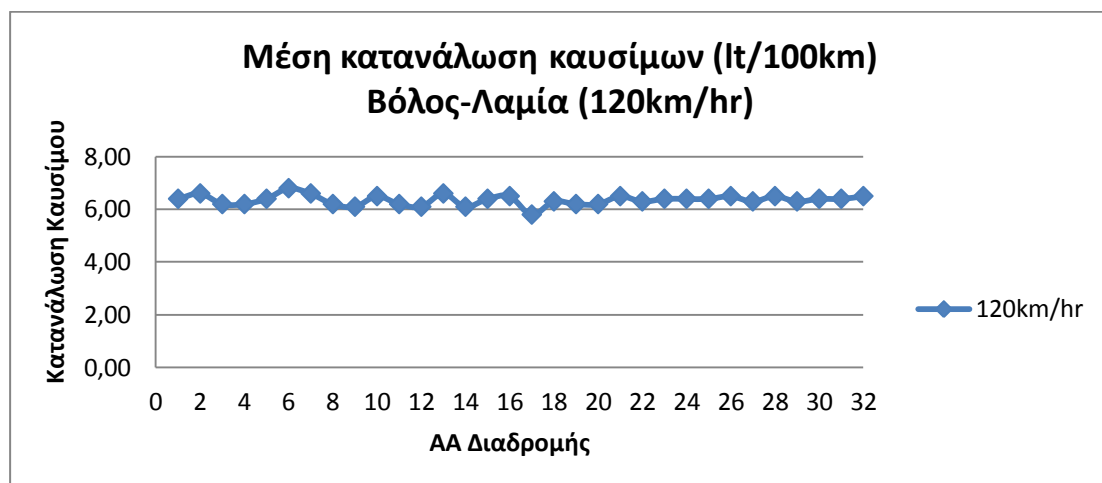




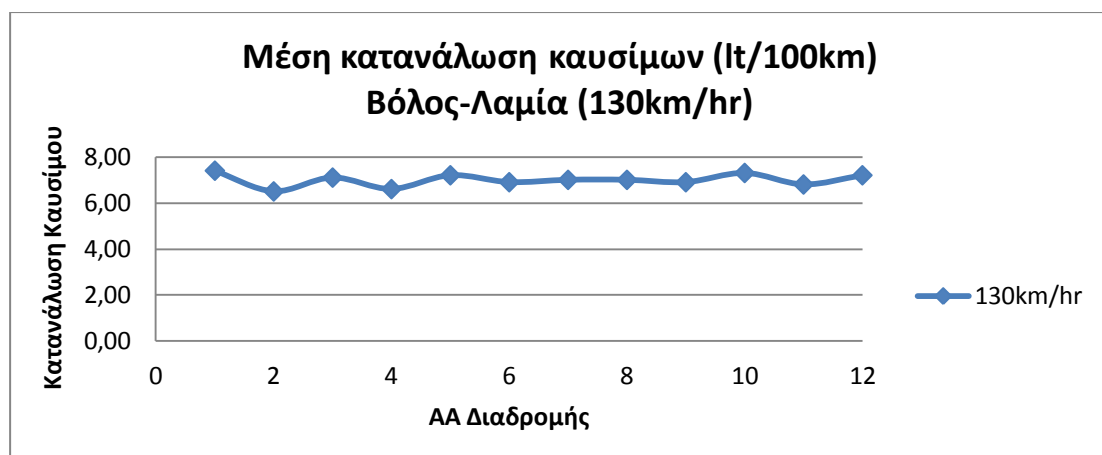
4.1.2 Διαδρομή Βόλος-Λαμία (P1-P6)

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.

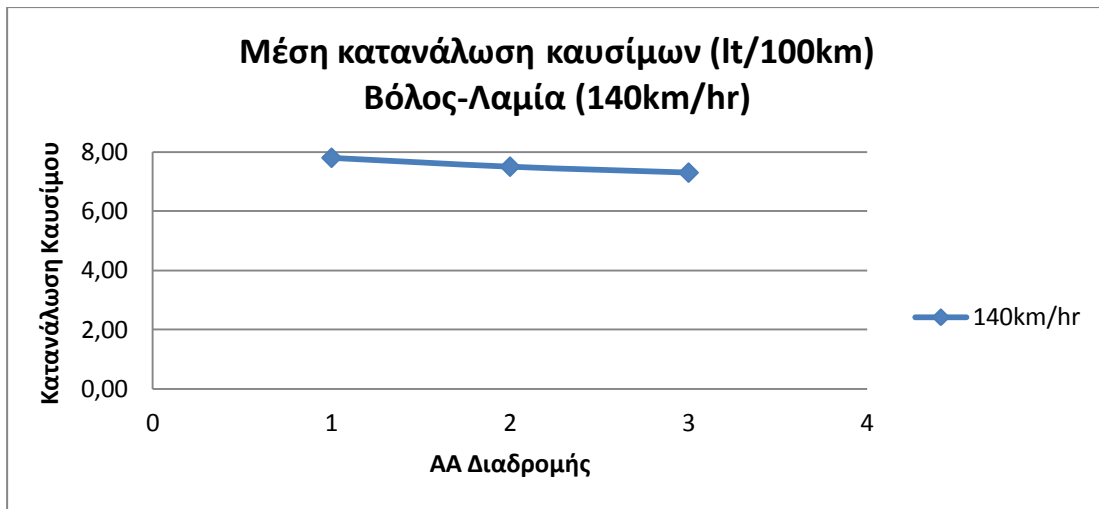


Σχήμα 8. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Βόλος-Λαμία (V=120km/hr)

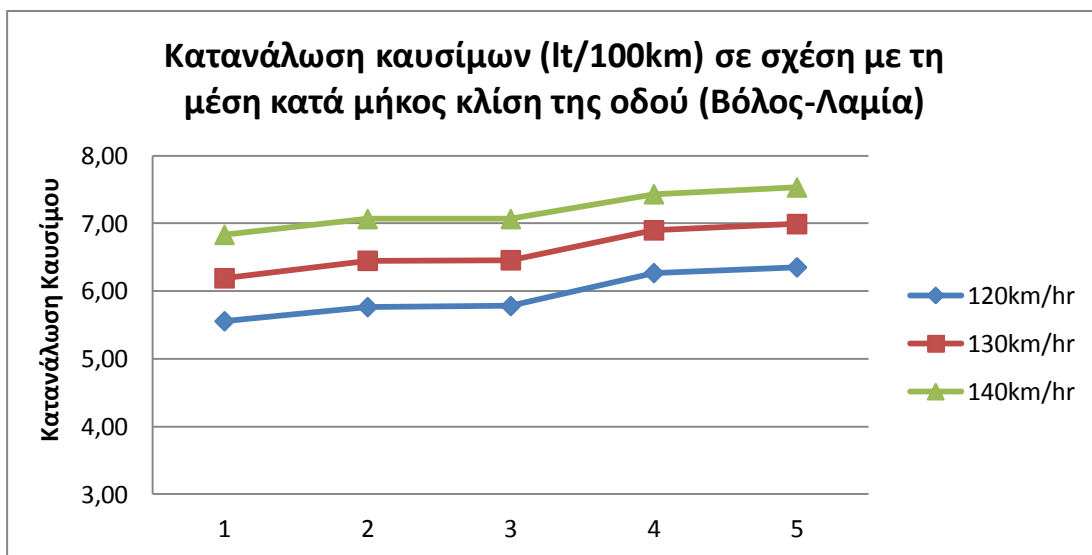


Σχήμα 9. Μέση τιμή κατανάλωσης καυσίμων (lt/100km), Βόλος-Λαμία (V=130km/hr)





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



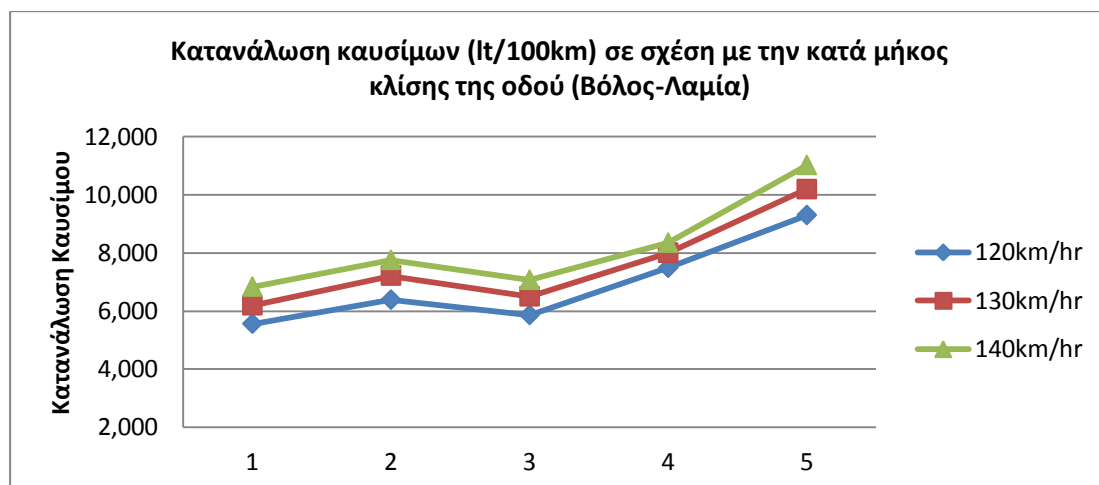


ταχύτητας αντίστοιχα (6.38, 7.21 και 7.75 lt/100km), (Πίνακας 5). Η μεταβολή της κατανάλωσης είναι αντίστοιχα 0.83, 1.02 και 0.92 lt/100km (Πίνακας 6).

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 επίσης 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.



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

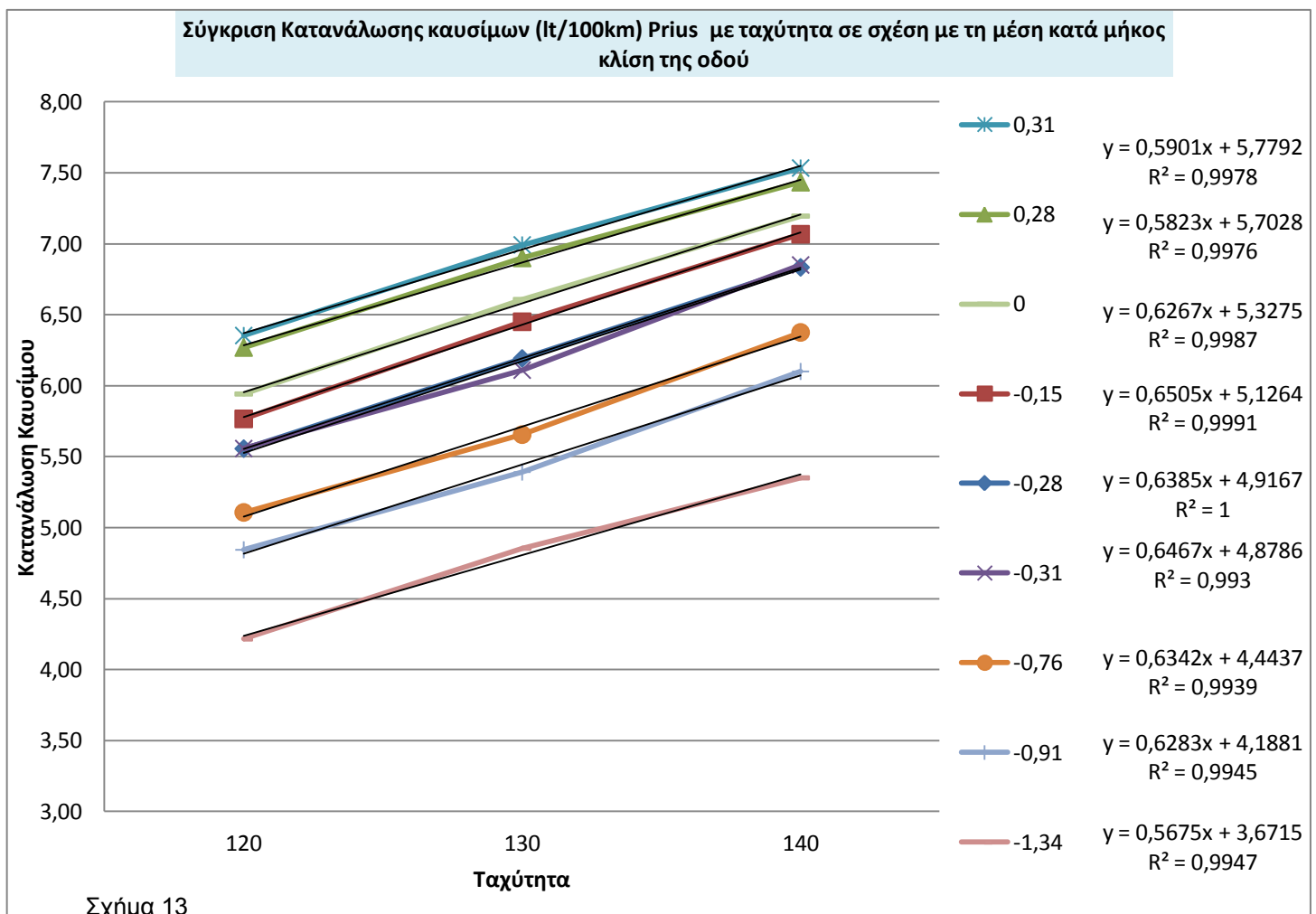


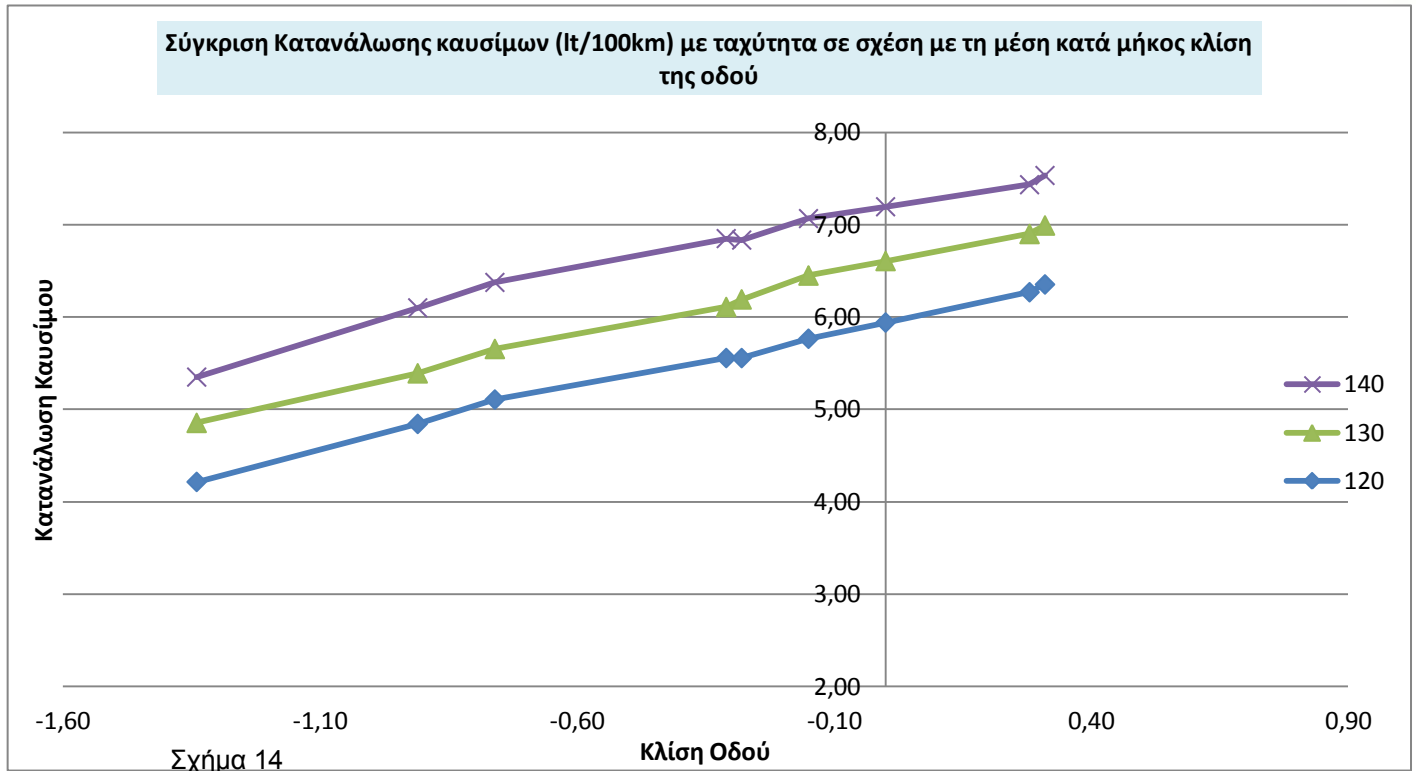


4.1.3 Διερεύνηση συμπεριφοράς της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα και τη μέση κατά μήκος κλίση

Στην παρούσα μελέτη το όχημα κινήθηκε με τρεις διαφορετικές ταχύτητες 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα, 140χλμ/ώρα και οι μέσες κλίσεις της οδού, που υπολογίστηκαν, ήταν από -1,34% έως +0,31%.

Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα13,14) γίνεται σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου με την ταχύτητα σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού και σύγκριση κατανάλωσης καυσίμου με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού σε σχέση με την ταχύτητα. Προκύπτει ότι με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης αυξάνεται και η κατανάλωση καυσίμου για κάθε εξεταζόμενη μέση κλίση, καθώς και ότι όσο αυξάνεται η μέση κλίση τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση.





Ύστερα από επεξεργασία στο πρόγραμμα excel προέκυψαν οι εξισώσεις που προσεγγίζουν τις γραμμές του διαγράμματος, που απεικονίζεται στο σχήμα 13, και φαίνονται στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος.

Η συνάρτηση που επιλέχθηκε και αντιπροσωπεύει με αρκετή ακρίβεια τη συμπεριφορά όλου του διαγράμματος είναι:

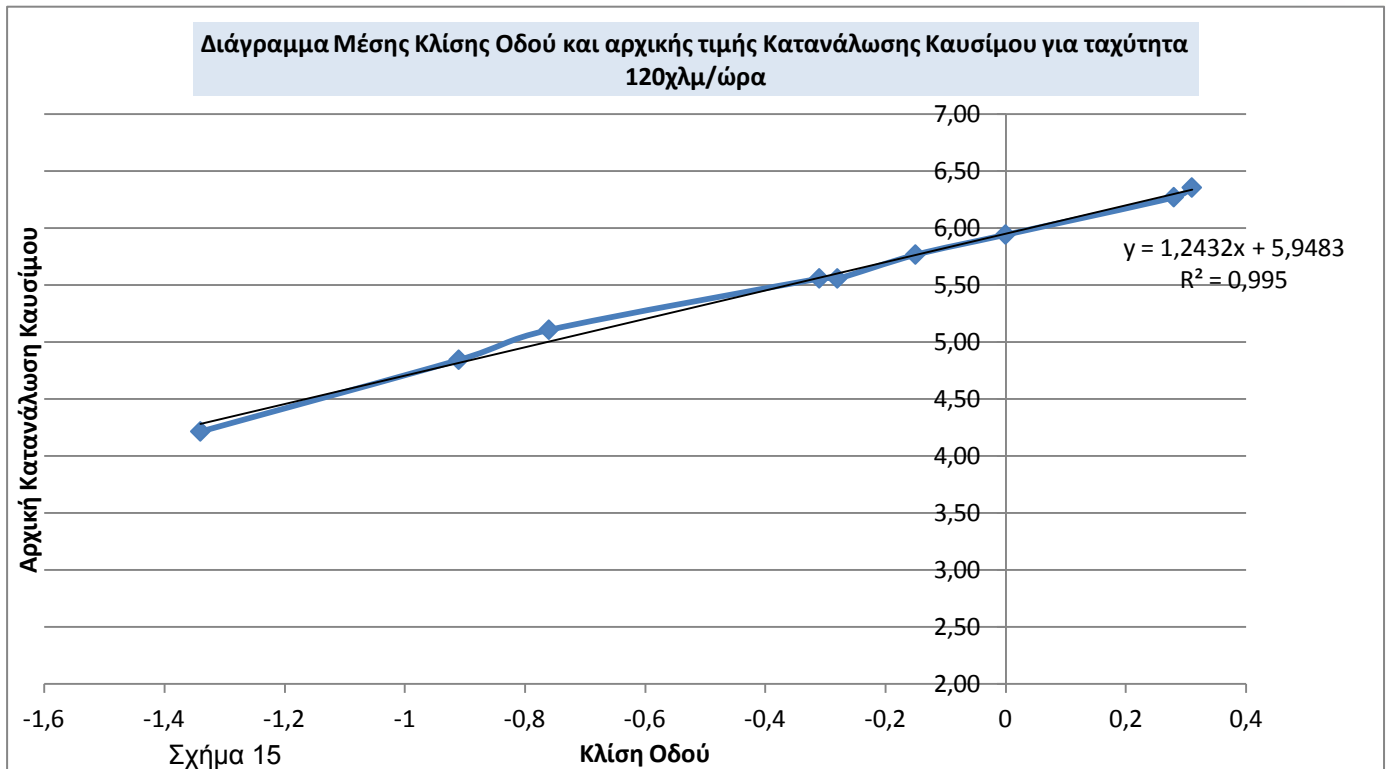
$$y = 0,06 * (V - 120) + (\text{αρχική τιμή της κατανάλωσης για κάθε εξεταζόμενη μέση κλίση})$$

όπου, V: η ταχύτητα μελέτης από 120χλμ/ώρα-140χλμ/ώρα

Για κάθε εξεταζόμενη μέση κλίση η αρχική τιμή κατανάλωσης καυσίμου για ταχύτητα 120 χλμ/ώρα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα(πίνακας 7) και η συνάρτηση που περιγράφει τη σχέση αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα του σχήματος 15:

Πίνακας 7									
Μέση Κλίση	-1,34	-0,91	-0,76	-0,31	-0,28	-0,15	0	0,28	0,31
Αρχική Κατανάλωση Καυσίμου	4,22	4,84	5,11	5,56	5,56	5,77	5,94	6,27	6,35





Όπως προκύπτει η συνάρτηση που περιγράφει την παραπάνω σχέση είναι

$$y' = 1,24 * s + 5,95 \quad , \text{ όπου } s \text{ η μέση κατά μήκος κλίση}$$

Οπότε η τελική συνάρτηση που συνδέει την κατανάλωση καυσίμου με την ταχύτητα και τη μέση κατά μήκος κλίση είναι

$$y = 0,06 * (V - 120) + 1,24 * s + 5,95$$

όπου V: ταχύτητα κίνησης

s: μέση κλίση (επί τις εκατό, %)





4.2 Αποτελέσματα σύγκρισης κατανάλωσης καυσίμων Prius- Peugeot σε σχέση με τη μέση κατά μήκος κλίση της οδού.

Τα οχήματα κινήθηκαν ταυτόχρονα στη διαδρομή μελέτης, εκτελώντας ένα κύκλο διαδρομής για κάθε ταχύτητα μελέτης. Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η κατανάλωση καυσίμου για τις ταχύτητες κίνησης 110χλμ/ώρα, 120χλμ/ώρα, 130 χλμ/ώρα και 140χλμ/ώρα.

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων ακολούθησε η επεξεργασία τους στο πρόγραμμα excel.

4.2.1 Διαδρομή Λαμία-Βόλος (P1-P5)

Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία της εξεταζόμενης διαδρομής (P1-P5)

Πίνακας 8		P1	P2	P3	P4	P5
		P1	P1-P2	P1-P3	P1-P4	P1-P5
	Χ.Θ.	266,30	274,00	277,20	280,50	291,25
	Υψόμετρο	136,50	33,50	36,80	28,60	59,00
	Απόσταση		7,70	3,20	3,30	10,75
	Απόσταση		7,70	10,90	14,20	24,95
	Κλίση		-1,34	0,10	-0,25	0,28
	Μέση κλίση		-1,34	-0,91	-0,76	-0,31
	Μεταβολή κλίσης			1,44	-0,35	0,53

Στον πίνακα 9,10 παρουσιάζονται τα επεξεργασμένα στοιχεία κατανάλωσης των οχημάτων Prius και Peugeot αντίστοιχα

Πίνακας 9	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt/100km)				Μέση Κατανάλωση (lt/km)			
		Prius	Peugeot	Prius	Peugeot	Prius	Peugeot	Prius	Peugeot
	110	3,20	3,70	4,00	4,50	0,032	0,037	0,040	0,045
	120	3,60	4,20	4,50	5,10	0,036	0,042	0,045	0,051
	130	4,00	4,60	4,90	5,50	0,040	0,046	0,049	0,055
	140	4,70	5,30	5,60	6,10	0,047	0,053	0,056	0,061
	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt)				Κατανάλωση ανα τμήμα (lt)			
	110	0,246	0,403	0,568	1,123	0,246	0,157	0,165	0,555
	120	0,277	0,458	0,639	1,272	0,277	0,181	0,181	0,633
	130	0,308	0,501	0,696	1,372	0,308	0,193	0,194	0,676
	140	0,362	0,578	0,795	1,522	0,362	0,216	0,218	0,727



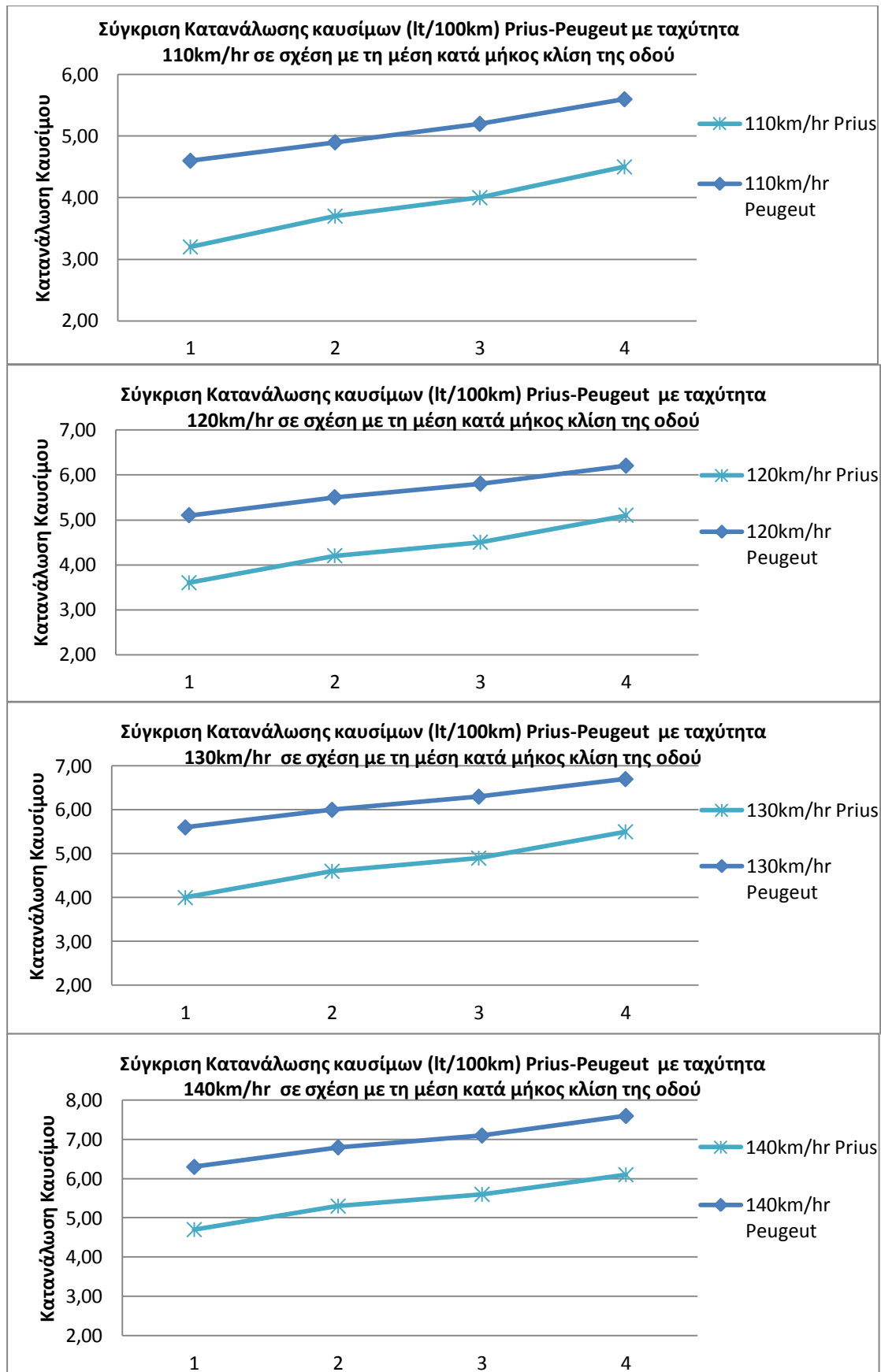


	Ταχύτητα	Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/km)				Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/100km)			
	110	0,032	0,049	0,050	0,052	3,20	4,90	4,99	5,16
	120	0,036	0,056	0,055	0,059	3,60	5,64	5,49	5,89
	130	0,040	0,060	0,059	0,063	4,00	6,04	5,89	6,29
	140	0,047	0,067	0,066	0,068	4,70	6,74	6,59	6,76

Πίνακας 10	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt/100km)				Μέση Κατανάλωση (lt/km)			
Peugeot	110	4,60	4,90	5,20	5,60	0,046	0,049	0,052	0,056
	120	5,10	5,50	5,80	6,20	0,051	0,055	0,058	0,062
	130	5,60	6,00	6,30	6,70	0,056	0,060	0,063	0,067
	140	6,30	6,80	7,10	7,60	0,063	0,068	0,071	0,076
	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt)				Κατανάλωση ανα τμήμα (lt)			
	110	0,354	0,534	0,738	1,397	0,354	0,180	0,204	0,659
	120	0,393	0,600	0,824	1,547	0,393	0,207	0,224	0,723
	130	0,431	0,654	0,895	1,672	0,431	0,223	0,241	0,777
	140	0,485	0,741	1,008	1,896	0,485	0,256	0,267	0,888
	Ταχύτητα	Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/km)				Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/100km)			
	110	0,046	0,056	0,062	0,061	4,60	5,62	6,19	6,13
	120	0,051	0,065	0,068	0,067	5,10	6,46	6,79	6,73
	130	0,056	0,070	0,073	0,072	5,60	6,96	7,29	7,23
	140	0,063	0,080	0,081	0,083	6,30	8,00	8,09	8,26

Στα διαγράμματα που ακολουθούν στο σχήμα 16, παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου, των οχημάτων για κάθε ταχύτητα μελέτης ξεχωριστά (110χλμ/ώρα, 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα, 140χλμ/ώρα). Η κατανάλωση του Peugeot είναι μεγαλύτερη από αυτή του Prius κατά 1,5(lt/100km) περίπου, για κάθε ταχύτητα μελέτης.



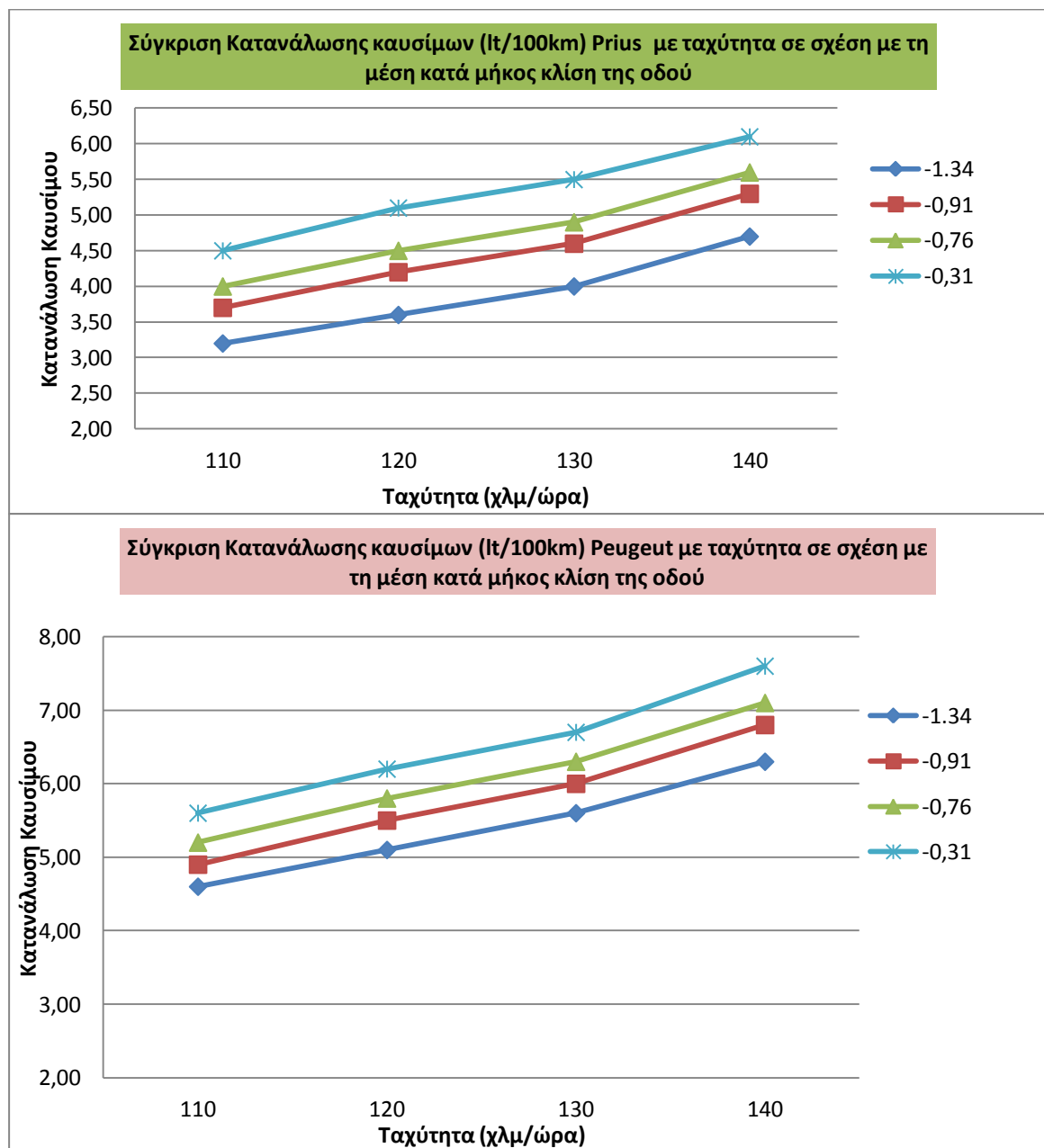


Σχήμα 16





Στα διαγράμματα του σχήματος 17 παρουσιάζεται το προφίλ της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα για κάθε εξεταζόμενη κλίση, αρχικά για το Prius και το Peugeot αντίστοιχα



Σχήμα 17

Όπως φαίνεται από τα επεξεργασμένα στοιχεία των παραπάνω πινάκων (9,10) αλλά και από το προφίλ της κατανάλωσης στα παραπάνω διαγράμματα τα δύο οχήματα παρουσιάζουν παραπλήσια συμπεριφορά. Η μεταβολή της κατανάλωσης για κάθε εξεταζόμενη κλίση είναι σχεδόν η ίδια, καθώς και η μεταβολή της κατανάλωσης λόγω της αύξησης της ταχύτητας μελέτης είναι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, 1,5 lt/100km.





4.2.2 Διαδρομή Βόλος-Λαμία (P6-P1)

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά στοιχεία της εξεταζόμενης διαδρομής (P1-P5)

Πίνακας 11		P6	P5	P4	P3	P2	P1
		P5	P5-P4	P5-P3	P5-P2	P5-P1α	P5-P1
	Χ.Θ	291,4	280,65	277,0	274,0	267,0	266,3
	Υψόμετρο	59	28,6	36,8	33,5	128,0	136,5
	Απόσταση		10,75	3,65	3,00	7,00	0,70
	Απόσταση		10,75	14,4	17,40	24,40	25,10
	Κλίση		-0,28	0,22	-0,11	1,35	1,21
	Μέση κλίση		-0,28	-0,15	-0,15	0,28	0,31

Στον πίνακα 12,13 παρουσιάζονται τα επεξεργασμένα στοιχεία κατανάλωσης των οχημάτων Prius και Peugeot αντίστοιχα

Πίνακας 12	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt/100km)					Μέση Κατανάλωση (lt/km)				
Prius	110	4,80	4,90	4,90	5,20	5,30	0,048	0,049	0,049	0,052	0,053
	120	5,30	5,50	5,50	6,00	6,10	0,053	0,055	0,055	0,060	0,061
	130	6,20	6,30	6,30	7,00	7,10	0,062	0,063	0,063	0,070	0,071
	140	6,70	7,00	7,00	7,50	7,60	0,067	0,070	0,070	0,075	0,076
	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt)					Κατανάλωση ανα τμήμα (lt)				
	110	0,516	0,706	0,853	1,269	1,330	0,516	0,190	0,147	0,416	0,061
	120	0,570	0,792	0,957	1,464	1,531	0,570	0,222	0,165	0,507	0,067
	130	0,667	0,907	1,096	1,708	1,782	0,667	0,241	0,189	0,612	0,074
	140	0,720	1,008	1,218	1,830	1,908	0,720	0,288	0,210	0,612	0,078
	Ταχύτητα	Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/km)					Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/100km)				
	110	0,048	0,052	0,049	0,059	0,088	4,800	5,195	4,900	5,946	8,786
	120	0,053	0,061	0,055	0,072	0,096	5,300	6,089	5,500	7,243	9,586
	130	0,062	0,066	0,063	0,087	0,106	6,200	6,595	6,300	8,740	10,586
	140	0,067	0,079	0,070	0,087	0,111	6,700	7,884	7,000	8,743	11,086

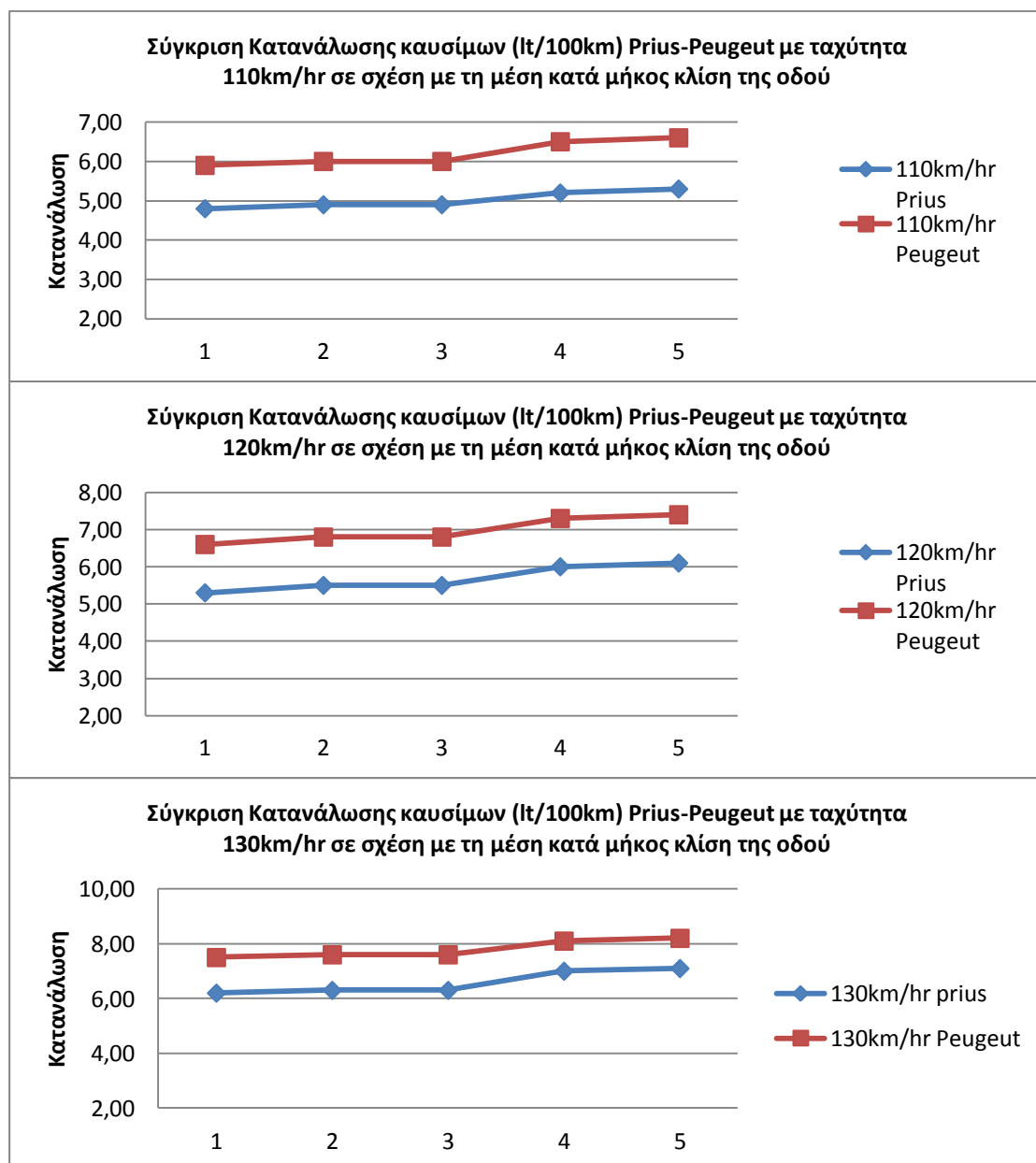
Πίνακας 13	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt/100km)					Μέση Κατανάλωση (lt/km)				
Peugeot	110	5,90	6,00	6,00	6,50	6,60	0,059	0,060	0,060	0,065	0,066
	120	6,60	6,80	6,80	7,30	7,40	0,066	0,068	0,068	0,073	0,074
	130	7,50	7,60	7,60	8,10	8,20	0,075	0,076	0,076	0,081	0,082
	140	8,20	8,30	8,30	8,80	8,90	0,082	0,083	0,083	0,088	0,089
	Ταχύτητα	Μέση Κατανάλωση (lt)					Κατανάλωση ανα τμήμα (lt)				
	110	0,634	0,864	1,044	1,586	1,657	0,634	0,230	0,180	0,542	0,071
	120	0,710	0,979	1,183	1,781	1,857	0,710	0,270	0,204	0,598	0,076
	130	0,806	1,094	1,322	1,976	2,058	0,806	0,288	0,228	0,654	0,082
	140	0,882	1,195	1,444	2,147	2,234	0,882	0,314	0,249	0,703	0,087

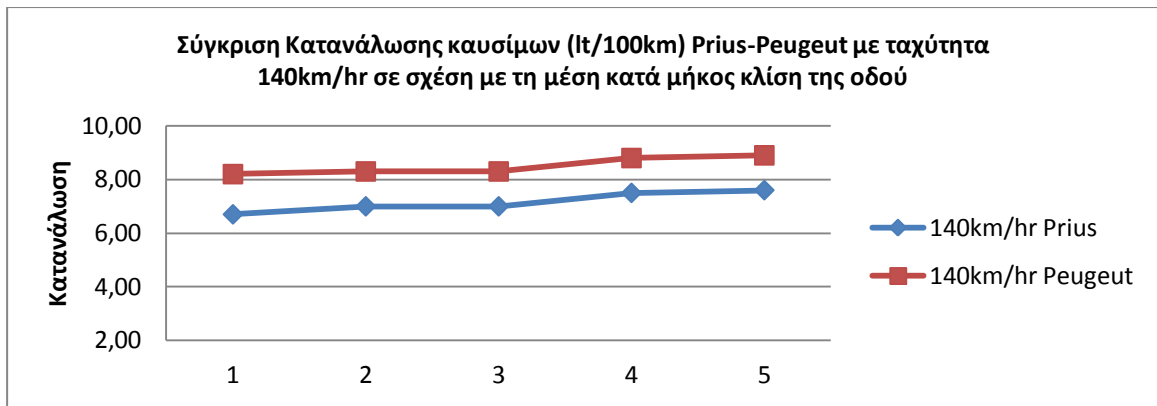




Ταχύτητα	Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/km)					Μέση κατανάλωση ανα τμήμα (lt/100km)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
110	0,059	0,063	0,060	0,077	0,101	5,900	6,295	6,000	7,743	10,086
120	0,066	0,074	0,068	0,085	0,109	6,600	7,389	6,800	8,543	10,886
130	0,075	0,079	0,076	0,093	0,117	7,500	7,895	7,600	9,343	11,686
140	0,082	0,086	0,083	0,100	0,124	8,200	8,595	8,300	10,043	12,386

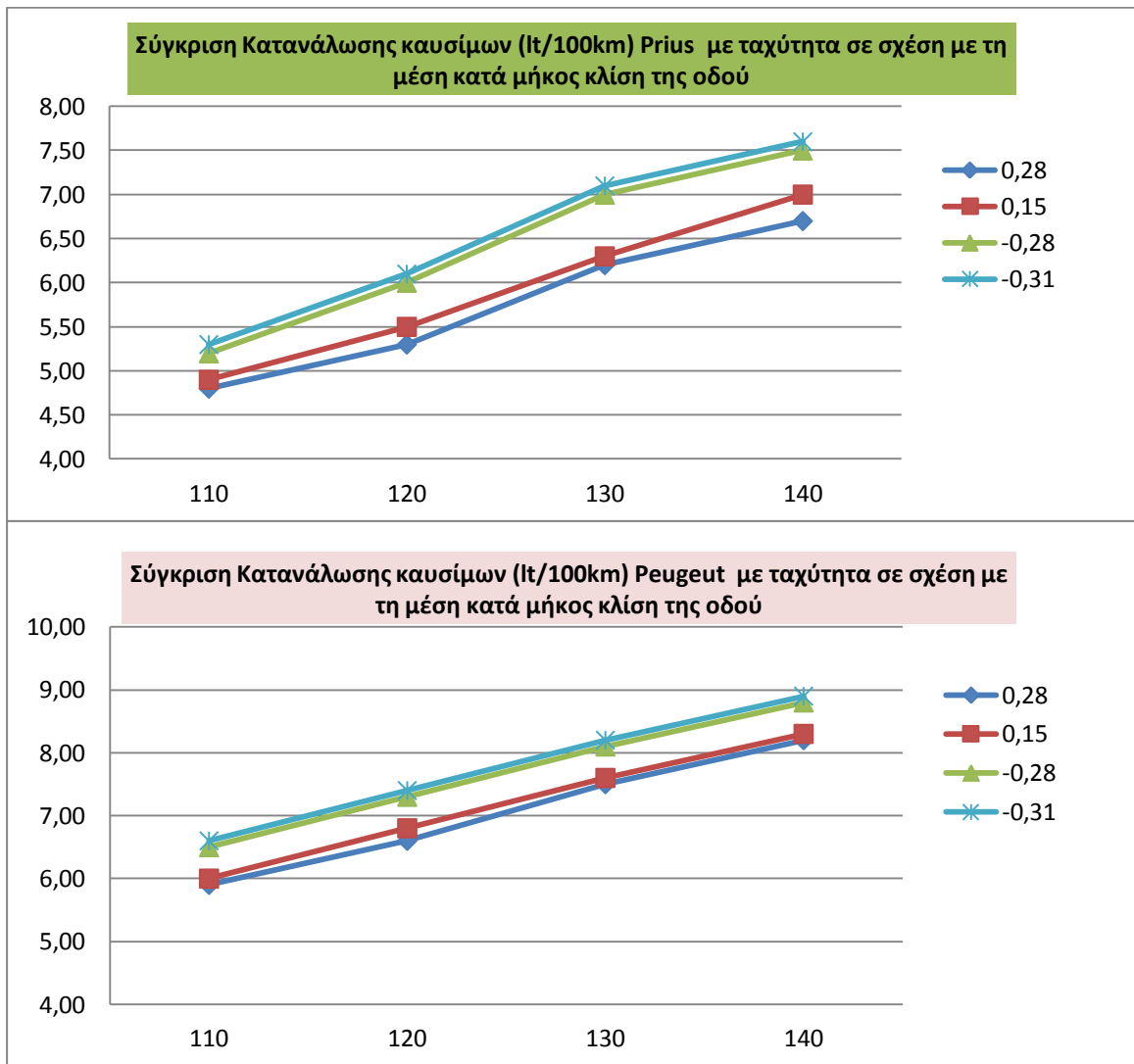
Στα διαγράμματα που ακολουθούν στο σχήμα 18, παρουσιάζεται η σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου, των οχημάτων για κάθε ταχύτητα μελέτης ξεχωριστά (110χλμ/ώρα, 120χλμ/ώρα, 130χλμ/ώρα, 140χλμ/ώρα). Η κατανάλωση του Peugeot είναι μεγαλύτερη από αυτή του Prius κατά 1,3(lt/100km) περίπου, για κάθε ταχύτητα μελέτης.





Σχήμα 18

Στα διαγράμματα του σχήματος 19 παρουσιάζεται το προφίλ της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την ταχύτητα για κάθε εξεταζόμενη κλίση, για το Prius και το Peugeot αντίστοιχα.



Σχήμα 19





Όπως φαίνεται από τα επεξεργασμένα στοιχεία των παραπάνω πινάκων (12,13) αλλά και από το προφίλ της κατανάλωσης στα παραπάνω διαγράμματα τα δύο οχήματα παρουσιάζουν παραπλήσια συμπεριφορά. Η μεταβολή της κατανάλωσης για κάθε εξεταζόμενη κλίση είναι σχεδόν η ίδια, καθώς και η μεταβολή της κατανάλωσης λόγω της αύξησης της ταχύτητας μελέτης είναι ,όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, 1,3 lt/100km.





5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη εξέτασε την κατανάλωση καυσίμου ενός υβριδικού οχήματος (Toyota Prius) και τη σύγκρινε με αυτή ενός βενζινοκίνητου οχήματος (Peugeot 307cc), στην εθνική οδό Π.Α.Θ.Ε., μεταξύ των πόλεων Λαμίας και Βόλου. Εξετάστηκε ένα συγκεκριμένο τμήμα της διαδρομής και στις δυο κατευθύνσεις έχοντας θέσεις στάθμευσης οχημάτων ως σημεία αναφοράς. Εξετάστηκαν αρχικά τρεις ταχύτητες κίνησης με το όχημα (120, 130, 140km/hr) και στη συνέχεια τέσσερις ταχύτητες κατά τη σύγκριση των οχημάτων (110,120,130,140 km/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 κατά μήκος κλίση της οδού σε κάθε οδικό τμήμα, αλλά και με τη μέση κατά μήκος κλίση της διαδρομής.
- 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 0.5 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.

Ειδικότερα από τη σύγκριση της κατανάλωσης καυσίμου των εξεταζόμενων οχημάτων (Prius-Peugeot) προέκυψε:

- Η κατανάλωση του βενζινοκίνητου (Peugeot) είναι μεγαλύτερη από αυτή του υβριδικού (Prius) κατά 1,3-1,5 (lt/100km) περίπου, για κάθε ταχύτητα μελέτης.
- Για κάθε εξεταζόμενη κλίση τα δύο οχήματα παρουσιάζουν παραπλήσια συμπεριφορά και η μεταβολή της κατανάλωσης είναι σχεδόν η ίδια.

Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι σε υπεραστικές διαδρομές με ήπιες κλίσεις το υβριδικό δεν υπερτερεί σημαντικά του βενζινοκίνητου.

Επίσης επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα της βιβλιογραφίας, ότι η σχέση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της κλίσης της οδού, φαίνεται να είναι γραμμική στο φάσμα που μελετήθηκε (-1,34% έως 0,31%), γεγονός που σημαίνει ότι δεν θα υπήρχε σημαντική διαφορά στην κατανάλωση καυσίμων μεταξύ των εναλλακτικών διαδρομών με διαφορετικό προφίλ κλίσης εντός του εν λόγω φάσματος.





Επίσης 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.

Μελλοντικά, προτείνεται 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.Βιβλιογραφία

- 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
- 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
- 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
- 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
- Boriboonsomsin/Barth., Fuel and CO2 Impacts from Advanced Navigation Systems That Account for Road Grade
- Toyota Prius brochure, available from:
http://brochure.toyota.gr/pdf/PRIUS_Secondary_GR.pdf
- <http://www.ecodriving.gr/>
- <http://www.ecodrive.org/>
- <http://www.allabouthybridcars.com/fuel-efficiency.htm>
- http://www.cres.gr/energy_saving/metafores/metafores_intro.htm
- <http://www.uctc.net/research/papers/UCTC-FR-2010-20.pdf>
- <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=283>
- http://www.moh.gr/nqcontent.cfm?a_id=158
- <http://www.savemorethanfuel.eu/greece/index.htm>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_automobiles#Differing_measuring_regimes

