

Διερεύνηση της Σχέσης Ταχύτητας Διαδρομής - Κυκλοφοριακών Παραμέτρων σε Υπεραστικές Οδούς Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας

Ι. ΓΚΟΛΙΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Α. ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π. - Συγκοινωνιολόγος

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η συμπεριφορά των οδηγών στις ελληνικές υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, μέσω της συσχέτισης της ταχύτητας που αναπτύσσουν αυτοί με κυκλοφοριακές παραμέτρους. Από την ανάλυση των μετρήσεων προέκυψε πως τα γραμμικά μοντέλα προβλέπουν ικανοποιητικά τη μέση ταχύτητα. Οι παράμετροι, που εμφανίστηκαν να έχουν μειωτική επίδραση στη μέση ταχύτητα των δύο ρευμάτων, είναι το ποσοστό των βαρέων οχημάτων, ο φόρτος των ελαφρών οχημάτων και η κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Η ύπαρξη καμπύλου τμήματος στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα αποδείχθηκε σημαντική, αφού διαπιστώθηκε σαφής διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των οδηγών στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας. Σε σύγκριση που έγινε διαπιστώθηκε σχετική διαφοροποίηση στα όρια καθορισμού του επιπέδου εξυπηρέτησης από τις αντίστοιχες τιμές που προτείνει το Εγχειρίδιο Κυκλοφοριακής Ικανότητας των Η.Π.Α. (H.C.M.).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι υπεραστικές οδοί δύο λωρίδων αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι του εθνικού οδικού δικτύου κάθε χώρας, ιδιαίτερα της Ελλάδας. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα για ποικίλες δραστηριότητες και εντοπίζονται σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές. Η διατήρηση της ποιότητας εξυπηρέτησης στις οδούς αυτές σε υψηλά επίπεδα μπορεί να πραγματοποιηθεί αφ' ενός με τη διατήρηση της ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται σε αυτές σε επιθυμητές τιμές και αφ' ετέρου με την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών καθυστερήσεων.

Καθοριστικό, βέβαια, παράγοντα σχεδιασμού αποτελεί και η εξασφάλιση ικανοποιητικών επιπέδων ασφαλείας, που επιτυγχάνεται μόνο με την αναλυτική διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών. Η διερεύνηση αυτή είναι δυνατό να γίνει με την ανάλυση της ταχύτητας που αναπτύσσουν οι οδηγοί και, ειδικότερα, με τη συσχέτιση της ταχύτητας είτε με διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί σωστός σχεδιασμός της οδού, είτε με κυκλοφοριακές παραμέτρους, ώστε να εντοπιστούν εκείνοι

οι παράγοντες που δυσχεραίνουν τις συνθήκες λειτουργίας της οδού και υποβαθμίζουν το επίπεδο εξυπηρέτησής της.

Οι περισσότερες μελέτες (αμερικανικές - βρετανικές) προσεγγίζουν τη σχέση ταχύτητας - κυκλοφοριακών παραμέτρων με τη βοήθεια τεχνικών προσομοίωσης ή μοντέλων παλινδρόμησης γραμμικής μορφής. Σε αυτές τις μελέτες έχουν επιλεγεί ως εξαρτημένες μεταβλητές είτε η μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων και των δύο κατευθύνσεων είτε η μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων ανά κατεύθυνση. Στην τελευταία περίπτωση, εξετάζεται η ταχύτητα του ρεύματος με το μεγαλύτερο παρατηρούμενο φόρτο [9], [3], [5]. Εκτός από την άμεση συσχέτιση της μέσης ταχύτητας με το συνολικό φόρτο, έχει διερευνηθεί η επίδραση της κάθε κατηγορίας οχημάτων ξεχωριστά στην ταχύτητα και η επιρροή του φόρτου του αντίθετου ρεύματος στις λειτουργίες του κυρίου ρεύματος.

Όλες οι μελέτες συμφωνούν πως τα βαρέα οχήματα (φορτηγά, οχήματα αναψυχής και λεωφορεία) επηρεάζουν σημαντικές λειτουργίες σε οδούς δύο λωρίδων. Οι ενέργειες των υπόλοιπων οχημάτων, όπως π.χ. οι ελιγμοί τους κατά την προσπέραση αργών οχημάτων, μπορούν να εμποδιστούν από την παρουσία βαρέων οχημάτων που κατά κανόνα κινούνται με χαμηλές ταχύτητες, λόγω του αυξημένου μήκους και βάρους τους σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνουν τα υπόλοιπα οχήματα την ταχύτητά τους, να δημιουργούνται επιπρόσθετες καθυστερήσεις και να μειώνονται η ποιότητα ροής και η στάθμη εξυπηρέτησης της οδού [2], [4]. Μάλιστα, σε σχετική μελέτη στο Οντάριο έχει διαπιστωθεί με τη χρήση πολλαπλών γραμμικών παλινδρόμησης πως τα φορτηγά οχήματα και τα οχήματα αναψυχής είναι 1,8 φορές και 1,5 φορές αντίστοιχα πιο πιθανό να είναι επικεφαλής φαλαγγών οχημάτων (platoon leaders) και παράγουν 23% περισσότερα οχήματα σε «ουρά» από ό,τι τα επιβατικά οχήματα [3]. Με δεδομένο

ότι οι επικεφαλής φαλαγγών οχημάτων αποδέχονται κατά 52% λιγότερο τις ευκαιρίες για προσπέραση από το όχημα που τους ακολουθεί, είναι προφανές ότι τα βαρέα οχήματα προξενούν πρόσθετες καθυστερήσεις στα υπόλοιπα οχήματα [4], [8].

Η επίδραση των βαρέων οχημάτων δεν είναι τόσο σημαντική για επίπεδα εδάφη. Μάλιστα, οι Taylor, Miller και Orden [3] ισχυρίζονται πως το ποσοστό των βαρέων οχημάτων στο συνολικό φόρτο δεν έχει διαπιστωμένη επίδραση στην ταχύτητα για κλίσεις μικρότερες από 3%.

Εξάλλου, σε οδούς δύο λωρίδων ο φόρτος του αντίθετου ρεύματος επηρεάζει, όπως είναι φυσικό, σημαντικές λειτουργίες. Η αποδοχή ή μη μιας ευκαιρίας για προσπέραση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του φόρτου του αντίθετου ρεύματος, αφού για την προσπέραση απαιτείται και η χρήση της λωρίδας του αντίθετου ρεύματος. Η πιθανότητα πραγματοποίησης μιας προσπέρασης εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος όσο και από το μήκος ορατότητας [2], [8]. Τα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών σχετικά με την επίδραση του φόρτου του αντίθετου ρεύματος παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, δίνοντας επιπλέον ερεθίσματα για πλήρη διερεύνηση της σχέσης φόρτου του αντίθετου ρεύματος - ταχύτητας ανά κατεύθυνση.

Σε άλλη χαρακτηριστική μελέτη [4] όπου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές προσομοίωσης, διαπιστώθηκε ότι μείωση του μήκους ορατότητας για προσπέραση οδηγεί σε μείωση της τιμής της μέσης ταχύτητας, ενώ η συνδυασμένη επίδραση της κλίσης και της παρουσίας βαρέων οχημάτων είναι σημαντική στην τιμή της μέσης ταχύτητας. Η ύπαρξη καμπύλου τμήματος μεγάλης ακτίνας στο εσωτερικό των εξεταζόμενων τμημάτων, η παρουσία βαρέων οχημάτων σε ποσοστό της τάξης του 14% και η παρατηρούμενη ποικιλία στους κυκλοφοριακούς φόρτους δεν είχαν αξιόλογη επίδραση στην τιμή της μέσης ταχύτητας, για μηδενική κατά μήκος κλίση [7].

Επιπλέον, από σημαντική έρευνα που έγινε στην Ινδονησία [5] προέκυψε τόσο από την ανάλυση των μετρήσεων στο οδικό δίκτυο της περιοχής όσο και από την εφαρμογή μοντέλου προσομοίωσης ότι η συνδυασμένη επίδραση των γεωμετρικών - κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών στην ταχύτητα ελεύθερης ροής ήταν σημαντική. Μάλιστα, από την προσομοίωση, που πραγματοποιήθηκε σε επίπεδα εδάφη, αποδείχθηκε ότι η κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση (50/50, 60/40 κ.τ.λ.) είχε μικρή επίδραση στη μέση ταχύτητα των ελαφρών οχημάτων.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μια πρώτη προσέγγιση της σχέσης μέσης ταχύτητας - κυκλοφοριακών παραμέτρων με τη βοήθεια εξισώσεων πολλαπλής παλινδρόμησης γραμμικής μορφής, ώστε να εντοπιστεί η επιρροή κάθε μεταβλητής μέσα από μαθηματικές σχέσεις. Η εργασία αυτή απο-

τελεί συνέχεια προηγούμενης έρευνας, στα στοιχεία της οποίας στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό [10].

Ως πιθανές παράμετροι, που ενδεχομένως επηρεάζουν τη μέση ταχύτητα διαδρομής, εξετάζονται η κάθε κατηγορία οχήματος ξεχωριστά και ο φόρτος του αντίθετου ρεύματος. Επιπλέον, γίνεται μια πρώτη προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής της κατανομής της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στη μέση ταχύτητα και των δύο ρευμάτων. Αν και το Εγχειρίδιο Κυκλοφοριακής Ικανότητας των Η.Π.Α. (H.C.M.) [2] λαμβάνει υπόψη την επίδραση της παραμέτρου αυτής στην κυκλοφοριακή ικανότητα - για κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, π.χ. 60/40, θεωρεί μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας κατά 5,36%, ενώ για 30/70 η αντίστοιχη μείωση γίνεται 17,86% - εντούτοις, δεν υπάρχει κάποια εξακριβωμένη επίδρασή της στη μέση ταχύτητα.

Επειδή το οδικό τμήμα, που επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, περιλαμβάνει καμπύλο τμήμα, γίνεται ξεχωριστή θεώρηση των δύο ρευμάτων, ώστε να εντοπιστεί πιθανή διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των οδηγών στα δύο ρεύματα κυκλοφορίας.

Επιπλέον, πραγματοποιείται σύγκριση ανάμεσα στα όρια καθορισμού της στάθμης εξυπηρέτησης που προκύπτουν από την παρούσα εργασία και στα αντίστοιχα όρια που εισηγείται το H.C.M. για οδούς με παρόμοια χαρακτηριστικά, ώστε να γίνει μια πρώτη προσαρμογή τους στα ελληνικά δεδομένα.

2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Για την πλήρη κατανόηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων ακολουθούν οι συμβολισμοί των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην τελική επεξεργασία:

- V_M (χλμ./ώρα): η μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις.
- V_{EO} (χλμ./ώρα): η μέση ταχύτητα των ελαφρών οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις.
- $V_{EΣ}$ (χλμ./ώρα): η μέση ταχύτητα του εσωτερικού ρεύματος στην περιοχή του καμπύλου τμήματος.
- $V_{EΞ}$ (χλμ./ώρα): η μέση ταχύτητα του εξωτερικού ρεύματος στην περιοχή του καμπύλου τμήματος.
- Q_{EO} (οχ./15λεπτά): ο συνολικός αριθμός ελαφρών οχημάτων και στις δύο κατευθύνσεις.
- $\%Q_{BO}$: το συνολικό ποσοστό των βαρέων οχημάτων.
- $\%Q_{BO}^{EΣ}$: το ποσοστό των βαρέων οχημάτων στο εσωτερικό ρεύμα.
- $\%Q_{BO}^{EΞ}$: το ποσοστό των βαρέων οχημάτων στο εξωτερικό ρεύμα.
- $(1 - Q_{EΣ}/Q_{EΞ})^2$: παράμετρος που εκφράζει την κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Στην έκφραση αυτή με $Q_{EΣ}$ (οχ./15λεπτά) συμβολίζεται ο φόρτος κυκλοφορίας του εσωτερικού ρεύματος και $Q_{EΞ}$ (οχ./15λεπτά) ο

φόρτος του εξωτερικού ρεύματος. Η μορφή της παραμέτρου εξασφαλίζει ότι για ισοκατανομή της κυκλοφορίας η παράμετρος μηδενίζεται. Βασική προϋπόθεση της εφαρμογής αυτής της έκφρασης είναι ο φόρτος στο εξωτερικό ρεύμα να μην είναι μηδενικός.

- Q_{OL} (οχ./15λεπτά): ο συνολικός φόρτος των δύο ρευμάτων.
- Q_{OL}' (ΜΕΑ/15λεπτά): ο συνολικός φόρτος εκφρασμένος σε Μ.Ε.Α.
- $\%Q_{DEL}$: το συνολικό ποσοστό χρόνου καθυστέρησης.
- R^2 : ο συντελεστής συσχέτισης της εξίσωσης παλινδρόμησης.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για να μελετηθεί η επίδραση των κυκλοφοριακών παραμέτρων στις λειτουργίες οδών δύο λωρίδων, πραγματοποιήθηκαν επιλεγμένες μετρήσεις σε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα οδού δύο λωρίδων κυκλοφορίας του υπεραστικού δικτύου.

Το οδικό τμήμα, που επιλέχθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, βρίσκεται στο 4^ο χιλιόμετρο της λεωφόρου Μαρκοπούλου στην Ανατολική Αττική και έχει συνολικό μήκος 630 μέτρα. Στην περιοχή του τμήματος το έδαφος είναι επίπεδο, το πλάτος λωρίδας κανονικό, ενώ στο τμήμα περιλαμβάνεται και καμπύλο τμήμα με ακτίνα καμπυλότητας της τάξης των 400 μέτρων που, όπως εκτιμήθηκε, αποτελεί περίπου το 30% του συνολικού μήκους του τμήματος. Τόσο στο εσωτερικό όσο και σε σημαντικό μήκος εκατέρωθεν του οδικού τμήματος δεν υπάρχουν ισόπεδες διασταυρώσεις ή άλλα στοιχεία του άμεσου περιβάλλοντος που να παρεμποδίζουν την ελεύθερη ανάπτυξη ταχυτήτων.

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε καλές καιρικές συνθήκες και με τέτοιο τρόπο, ώστε το τελικό δείγμα να είναι αμερόληπτο και αντιπροσωπευτικό. Η συλλογή των στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δύο κινηματογραφικών μηχανών, οι οποίες τοποθετήθηκαν στα δύο άκρα του εξεταζόμενου οδικού τμήματος.

Τα βασικά στοιχεία, που μετρήθηκαν και καταγράφηκαν, είναι ο φόρτος των οχημάτων, η μέση ταχύτητα διαδρομής και ο τύπος του κάθε οχήματος. Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας κάθε οχήματος βασίστηκε στη μέτρηση του χρόνου διαδρομής του, δηλαδή στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να διανύσει το κάθε όχημα το οδικό τμήμα. Ο χρόνος αυτός προκύπτει εύκολα από τη διαφορά των διαδοχικών χρόνων διέλευσης του κάθε οχήματος μπροστά από κάθε κάμερα. Στο θεωρούμενο οδικό τμήμα δεν υπάρχει δυνατότητα εισόδου - εξόδου από αυτό. Επομένως, το σύνολο των οχημάτων, που εισέρχονται στο οδικό τμήμα, εξέρχεται στη συνέχεια από αυτό. Η καταγραφή των στοιχείων έγινε με τη βοήθεια συσκευής video που είχε τη δυνατότητα μέτρησης πραγματικού χρόνου με ακρίβεια δευτερολέπτου.

Όλα τα στοιχεία, που προέκυψαν από τις μετρήσεις και την καταγραφή των στοιχείων, ομαδοποιήθηκαν σε διάφορα χρονικά διαστήματα, ώστε να προσδιοριστεί το πιο κατάλληλο μέγεθος διαστήματος για την ανάλυση. Τελικά επιλέχθηκε η ομαδοποίηση των στοιχείων να γίνει σε διαστήματα 15 λεπτών και τα οχήματα συμπεριλήφθηκαν σε κάθε 15λεπτο με βάση το χρόνο εισόδου τους στο οδικό τμήμα.

Κατά την ανάλυση και την καταγραφή των στοιχείων τα οχήματα χωρίστηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες: (α) ελαφρά οχήματα (επιβατικά οχήματα, ημιφορτηγά) με ποσοστά που κυμαίνονται από 77% έως 95% της συνολικής κυκλοφορίας και μέση τιμή 89% περίπου, (β) βαρέα οχήματα (φορτηγά, λεωφορεία, οχήματα αναψυχής) με ποσοστά κυμαινόμενα από 3% έως 21% της συνολικής κυκλοφορίας και μέση τιμή 9% περίπου και (γ) δίκυκλα οχήματα (μηχανές, ποδήλατα) με ποσοστά από 1% έως 5% της συνολικής κυκλοφορίας και μέση τιμή 3% περίπου. Ο συνολικός φόρτος κυμαίνεται από 680οχ./ώρα έως 1220 οχ./ώρα, είναι δηλαδή σημαντικά μικρότερος από την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού.

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΟΡΦΗΣ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

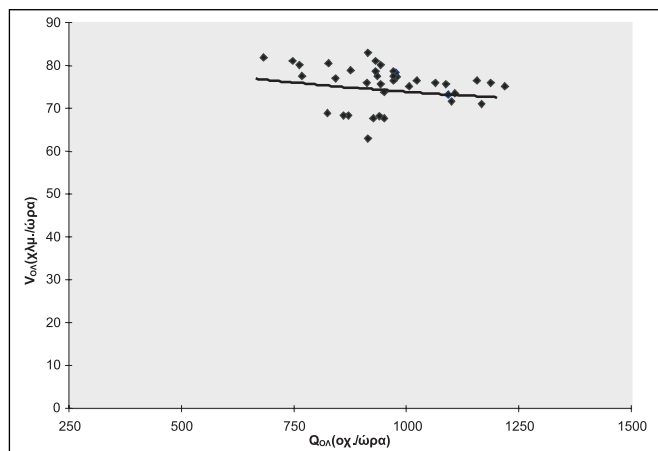
Με βάση τις ομαδοποιήσεις σε φόρτους 15 λεπτών, αρχικά έγινε μια πρώτη άμεση συσχέτιση της μέσης ταχύτητας (V_M χλμ./ώρα) των δύο κατευθύνσεων με το συνολικό φόρτο (Q_{OL} οχ./ώρα), ώστε να αποκτηθεί μια πρώτη εικόνα της σχέσεως ταχύτητας - φόρτου. Η γραφική απεικόνιση της σχέσεως μέσης ταχύτητας - συνολικού φόρτου παρουσιάζεται στο διάγραμμα 1. Από τη μορφή του διαγράμματος προκύπτει ότι, αν και η γενική μορφή του συμφωνεί με τη μορφή που προτείνουν προηγούμενες μελέτες [1], [2], η διασπορά των σημείων είναι τέτοια, που δεν επιτρέπει τη δημιουργία αξιόπιστων σχέσεων που να την περιγράφουν.

Έτσι, επιχειρήθηκε στη συνέχεια η συσχέτιση της ταχύτητας με επιμέρους κυκλοφοριακές παράμετρους, όπως με το ποσοστό των βαρέων οχημάτων και με την κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Η συσχέτιση των εξεταζόμενων μεγεθών βασίστηκε στη μέθοδο της παλινδρόμησης. Το πρότυπο της πρόβλεψης, που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της σχέσης των δεδομένων, είναι γραμμικό, επειδή σε όλες τις προηγούμενες έρευνες στο ίδιο αντικείμενο έχει δειχθεί ότι μια τέτοια προσέγγιση περιγράφει ικανοποιητικά τη σχέση ταχύτητας - κυκλοφοριακών παραμέτρων. Αυτό έχει τη μορφή:

$$Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + \dots + B_N * X_N$$

όπου:

- Y: η εξαρτημένη μεταβλητή.



Διάγραμμα 1: Σχέση μέσης ταχύτητας - συνολικού φόρτου.
Figure 1: Speed - flow data and a possible curve shape.

- X_1, X_2, \dots, X_N : οι ανεξάρτητες μεταβλητές.
- $B_0, B_1, B_2, \dots, B_N$: οι προσδιοριστέες παράμετροι που καλούνται συντελεστές μερικής παλινδρόμησης [6].

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται ως εξαρτημένες μεταβλητές η μέση ταχύτητα των ελαφρών οχημάτων (V_{EO}), των βαρέων οχημάτων (V_{BO}) και του συνόλου των οχημάτων ($V_{OΛ}$) και στις δύο κατευθύνσεις. Επίσης, γίνεται προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης ταχύτητας ανά κατεύθυνση ($V_{ΕΣ} - V_{ΕΞ}$) - φόρτων, ώστε να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα της επίδρασης των παραμέτρων σε κάθε έκφραση της ταχύτητας.

Η εξέταση της μέσης ταχύτητας και για τις δύο κατευθύνσεις μαζί έγινε, ώστε αρχικά να διερευνηθεί η σχέση της με το συνολικό φόρτο και στη συνέχεια να προσδιοριστεί μέσα από εξισώσεις η επιρροή σε αυτή των εξεταζόμενων κυκλοφοριακών παραμέτρων. Η ταχύτητα ανά κατεύθυνση επιλέχθηκε για να μελετηθεί κυρίως η σχέση της με τον φόρτο της ίδιας αλλά και της αντίθετης κατεύθυνσης. Η εξέταση της μέσης ταχύτητας διαδρομής και των δύο ρευμάτων κυκλοφορίας και όχι μόνο της κύριας κατεύθυνσης έγινε, ώστε να εντοπιστεί πιθανή διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των οδηγών στο εσωτερικό και το εξωτερικό ρεύμα του καμπύλου τμήματος που περιλαμβάνεται στο θεωρούμενο οδικό τμήμα.

Εκτός από τη διερεύνηση της σχέσεως μέσης ταχύτητας-φόρτου, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της καθυστέρησης των οχημάτων που προκαλείται στο θεωρούμενο οδικό τμήμα. Υπενθυμίζεται ότι τα οχήματα θεωρούνται πως καθυστερούν, όταν κινούνται πίσω από τον επικεφαλής "φάλαγγας" οχημάτων με ταχύτητες μικρότερες από τις επιθυμητές τους και με χρονικούς διαχωρισμούς μικρότερους από ένα καθορισμένο όριο. Ως μέτρο υπολογισμού της προκαλούμενης καθυστέρησης των οχημάτων χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό

του χρόνου καθυστέρησης ($\%Q_{DEL}$), δηλαδή το ποσοστό των οχημάτων που μετακινούνται με χρονικούς διαχωρισμούς μικρότερους από 5 δευτερόλεπτα (H.C.M. 1985), με την παραδοχή ότι τα οχήματα αυτά κινούνται αναγκαστικά με μικρό χρονικό διαχωρισμό πίσω από τα προπορευόμενα οχήματα, επειδή δεν μπορούν να προσπεράσουν.

5. ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Για τη μόρφωση των τελικών σχέσεων παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκαν το στατιστικό πρόγραμμα SPSS [7] και η διαδικασία της γραμμικής παλινδρόμησης, ώστε να εξασφαλιστεί η εισαγωγή στις τελικές εξισώσεις των στατιστικά σημαντικών μεταβλητών σύμφωνα με τα κριτήρια εισαγωγής - απομάκρυνσης του προγράμματος.

Η επιλογή των τελικών εξισώσεων για την περιγραφή της σχέσεως ταχύτητας - φόρτων έγινε έτσι, ώστε να εξασφαλίζονται αυτές υψηλή τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 και να παρέχουν συμπεράσματα που να μην έρχονται σε αντίθεση με τις επικρατούσες αντιλήψεις και τη λογική. Οι τελικές εξισώσεις, που προέκυψαν για κάθε τύπο ταχύτητας που εξετάστηκε, καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης R^2 δίνονται στον πίνακα 1.

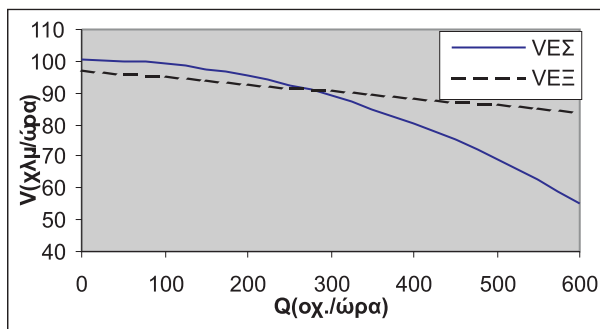
Από τη σχέση (5.1) διαφαίνεται πως η μεταβολή της μέσης ταχύτητας όλων των οχημάτων εξηγείται κατά 84% περίπου από το ποσοστό των βαρέων οχημάτων, την κατανομή ανά κατεύθυνση και το συνολικό αριθμό των ελαφρών οχημάτων.

Αύξηση π.χ. του ποσοστού των βαρέων οχημάτων ($\%Q_{BO}$) κατά 5% σε μία ώρα οδηγεί σε μείωση της μέσης ταχύτητας όλων των οχημάτων κατά 5,60 χλμ./ώρα, μείωση που αντιστοιχεί σε αύξηση των ελαφρών οχημάτων περίπου κατά 320 οχ./ώρα για σταθερό ποσοστό βαρέων οχημάτων. Από τη σχέση (5.2) προκύπτει πως η μέση ταχύτητα των ελαφρών οχημάτων εξηγείται κατά 82% περίπου από τις ίδιες παραμέτρους, από τις οποίες εξηγείται και η μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων. Σε αντιστοιχία με τη σχέση (5.1), μια αύξηση π.χ. του ποσοστού των βαρέων οχημάτων ($\%Q_{BO}$) κατά 5% μειώνει την ταχύτητα V_{EO} κατά 5,72 χλμ./ώρα.

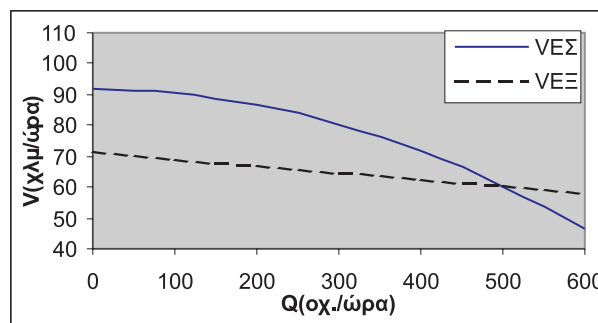
Από τις δύο σχέσεις προκύπτει πως η επίδραση της κατανομής της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση δεν είναι τόσο σημαντική στη μέση ταχύτητα. Από τη σχέση (5.1) π.χ., για ισοκατανομή της κυκλοφορίας δεν παρατηρείται μείωση στη μέση ταχύτητα, όπως άλλωστε αναμενόταν. Για $Q_{ΕΣ}/Q_{ΕΞ}=40/60 (=0,67)$ παρατηρείται μείωση της ταχύτητας μόλις κατά 0,95 χλμ./ώρα, ενώ για $Q_{ΕΣ}/Q_{ΕΞ}=30/70 (=0,43)$ η μείωση γίνεται 2,78 χλμ./ώρα. Σημειώνεται ότι η επίδραση της μεταβλητής αυτής είναι πιο σημαντική για $Q_{ΕΣ}>Q_{ΕΞ}$. Για παράδειγμα, για $Q_{ΕΣ}/Q_{ΕΞ}=60/40 (=1,5)$ η μείωση, που

Πίνακας 1: Εξισώσεις πολλαπλής παλινδρόμησης γραμμικής μορφής.
Table 1: Multiple linear regression equations.

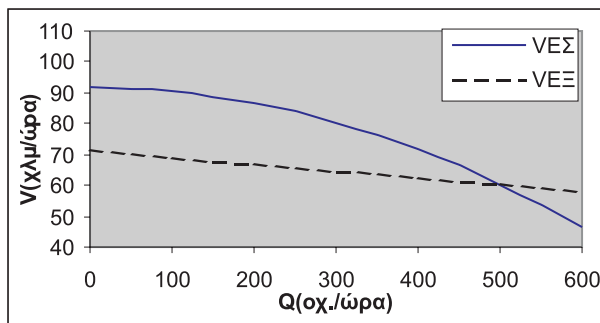
ΕΞΙΣΩΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R ²
$V_M = 100,394 - 8,516(1 - Q_{E\Sigma}/Q_{E\Xi})^2 - 1,121(\%Q_{BO}) - 0,068Q_{EO}$	R ² =0,844 (5.1)
$V_{EO} = 102,457 - 8,509(1 - Q_{E\Sigma}/Q_{E\Xi})^2 - 1,144(\%Q_{BO}) - 0,072Q_{EO}$	R ² =0,818 (5.2)
$V_{E\Sigma} = 100,341 - 0,002Q_{E\Sigma}^2 - 0,437(\%Q_{BO}^{E\Sigma})$	R ² =0,571 (5.3)
$V_{E\Xi} = 97,393 - 0,088Q_{E\Xi} - 1,297(\%Q_{BO}^{E\Xi})$	R ² =0,588 (5.4)
$\%Q_{DEL} = 0,393 + 4,015Q_{OA}$	R ² =0,703 (5.5)
$\%Q_{DEL} = 0,685 + 3,429Q_{OA}$	R ² =0,641 (5.6)



Διάγραμμα 2: Σχέση ταχύτητας - φόρτου (ανά κατεύθυνση). %Q_{BO}=0.
Figure 2: Speed - flow curve for each direction. %Q_{BO}=0.



Διάγραμμα 4: Σχέση ταχύτητας - φόρτου (ανά κατεύθυνση). %Q_{BO}=20.
Figure 4: Speed - flow curve for each direction. %Q_{BO}=20.



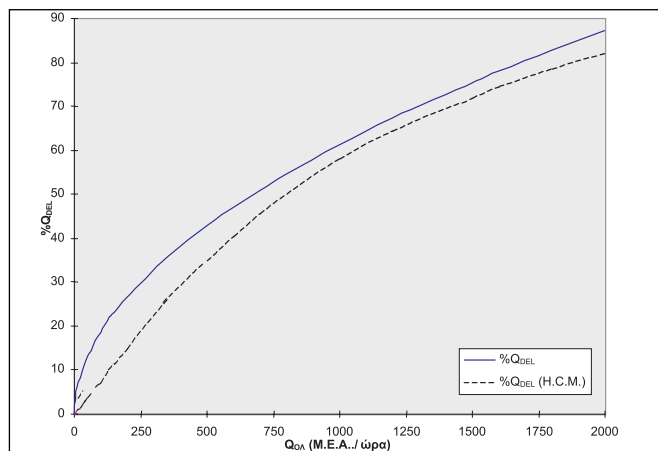
Διάγραμμα 3: Σχέση ταχύτητας - φόρτου (ανά κατεύθυνση). %Q_{BO}=10.
Figure 3: Speed - flow curve for each direction. %Q_{BO}=10.

αντιστοιχεί, είναι 2,13 χλμ./ώρα. Η διαφορετική αυτή επίδραση ίσως οφείλεται στην έλλειψη ορατότητας στην περιοχή του καμπύλου τμήματος, η οποία δυσχεραίνει περισσότερο τις λειτουργίες του εσωτερικού ρεύματος.

Οι σχέσεις (5.3) και (5.4) αναφέρονται στη μεταβολή της ταχύτητας του εσωτερικού και εξωτερικού ρεύματος αντίστοιχα σε σχέση με κυκλοφοριακές παραμέτρους. Από τη σχέση (5.3) προκύπτει ότι η μεταβολή της ταχύτητας στο εσωτερικό ρεύμα εξηγείται κατά 57% περίπου από το τετράγωνο του συνολικού αριθμού των οχημάτων του εσωτερικού ρεύματος ($Q_{E\Sigma}^2$) και από το αντίστοιχο ποσοστό των βαρέων

οχημάτων ($\%Q_{BO}^{E\Sigma}$). Από τη σχέση (5.4) προκύπτει ότι η μεταβολή της ταχύτητας του εξωτερικού ρεύματος (κύρια κατεύθυνση) εξηγείται κατά 59% περίπου από τις ίδιες παραμέτρους που αναφέρονται στο αντίθετο ρεύμα και εξηγείται σχεδόν για το ίδιο ποσοστό. Όπως παρατηρείται από τις σχέσεις (5.3) - (5.4), η μέση ταχύτητα του κάθε ρεύματος εξηγείται μόνο από παραμέτρους του εξεταζόμενου ρεύματος κίνησης των οχημάτων και όχι του αντίθετου. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός ότι στο εξωτερικό ρεύμα η σχέση είναι γραμμική.

Για την καλύτερη σύγκριση της ταχύτητας των δύο ρευμάτων παρουσιάζονται τα συγκριτικά διαγράμματα 2, 3 και 4. Όπως παρατηρείται από αυτά, αν και τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (όπως το πλάτος της λωρίδας και το πλάτος του ερείσματος) έχουν την ίδια τιμή και για τα δύο ρεύματα, η ύπαρξη καμπύλου τμήματος εξηγεί τη διαφορετική συμπεριφορά των οδηγών στα δύο ρεύματα, όπως αυτή εκφράζεται με τη μέση τους ταχύτητα. Στο εσωτερικό ρεύμα κυκλοφορίας, λόγω της μειωμένης ορατότητας που από τη χάραξη έχουν τα οχήματα που κινούνται σε αυτό σε σχέση με το εξωτερικό, η μέση ταχύτητα παρουσιάζεται πιο "ευαίσθητη" στις μεταβολές του φόρτου. Από τη σύγκριση, εξάλλου, των δύο καμπυλών ($V_{E\Sigma} - V_{E\Xi}$) και των σταθερών συντελεστών των εξισώσεων παλινδρόμησης προκύπτει ότι



Διάγραμμα 5: Σχέση ποσοστού χρόνου καθυστέρησης - συνολικού φόρτου.

Figure 5: Percent time delay - two way volume curve.

για χαμηλούς φόρτους στο εσωτερικό ρεύμα υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μεγαλύτερων ταχυτήτων.

Επιπλέον, εύκολα προκύπτει πως η επίδραση των βαρέων οχημάτων είναι καθοριστική όχι μόνο για την τιμή της ταχύτητας του κάθε ρεύματος, αλλά και για τη σχέση των ταχυτήτων των δύο ρευμάτων. Ειδικότερα, αύξηση του ποσοστού των βαρέων οχημάτων οδηγεί σε μετατόπιση του “σημείου τομής” των δύο καμπυλών που εκφράζουν την ταχύτητα των δύο ρευμάτων. Πράγματι, από τα τρία αυτά διαγράμματα προκύπτει πως η αυξημένη παρουσία των βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της τιμής της ταχύτητας του εξωτερικού ρεύματος από αυτή του εσωτερικού.

Οι εξισώσεις (5.5) και (5.6) αναφέρονται στη σχέση μεταξύ του ποσοστού χρόνου καθυστέρησης και του συνολικού φόρτου των δύο ρευμάτων. Παρατηρείται από τη σχέση (5.5) ότι το ποσοστό χρόνου καθυστέρησης εξηγείται κατά 70% περίπου από το συνολικό φόρτο και των δύο κατευθύνσεων (σε οχ./15λεπτο), κάτι που υποδηλώνει την ισχυρή εξάρτησή του με αυτόν. Για την ακριβή σύγκριση με τις τιμές, που εισηγείται το H.C.M., έγινε μετατροπή των φόρτων από οχήματα/ώρα σε M.E.A./ώρα, με βάση τους αντίστοιχους συντελεστές ισοδυναμίας που προτείνει το H.C.M. Η αντίστοιχη εξίσωση που προέκυψε είναι η (5.6).

Η ακριβής μορφή της σχέσης ποσοστού χρόνου καθυστέρησης - συνολικού φόρτου παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5 σε σύγκριση με το αντίστοιχο διάγραμμα που προτείνεται για ιδανικές συνθήκες από το H.C.M. [2]. Από τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων προκύπτει ότι στο οδικό τμήμα που εξετάζεται η προκαλούμενη καθυστέρηση είναι μεγαλύτερη, κάτι που είναι απόλυτα λογικό, αφού το τμήμα αυτό έχει χαρακτηριστικά που αποκλίνουν από αυτά που απαιτούνται για ιδανικές συνθήκες. Σημειώνεται ότι στο διάγραμμα

Πίνακας 2: Σύγκριση ορίων για τον καθορισμό της στάθμης εξυπηρέτησης μεταξύ παρούσας εργασίας - H.C.M.

Table 2: Comparison of LOS Criteria between H.C.M. - traffic data.

Σ.Ε.	2 800*(v/c)	fd	fw	Σ.Ω.Α.	Vi	%Qdel	%Qdel
	(M.E.A./ώρα)				παρούσα εργασία	(H.C.M.)	(H.C.M.)
A	252	0,952	0,81	0,93	181	25,58	≤30
B	588	0,952	0,81	0,93	422	39,34	≤45
C	1008	0,952	0,81	0,93	723	51,84	≤60
D	1680	0,952	0,81	0,93	1205	67,40	≤75
E	2800	0,952	0,93	0,93	2306	94,18	>75

παρατηρείται μεγαλύτερη απόκλιση των δύο καμπυλών στην περιοχή χαμηλών φόρτων, καθώς επίσης και στην περιοχή με φόρτους πάνω από 2.000 M.E.A./ώρα.

Το πεδίο τιμών του συνολικού φόρτου που εξετάστηκε είναι (752 ~ 1284) M.E.A./ώρα. Επομένως, στις περιοχές εκτός του πεδίου τιμών οι μεγαλύτερες αποκλίσεις που παρουσιάστηκαν δεν προέκυψαν από δεδομένες μετρηθείσες τιμές του φόρτου, αλλά από επέκταση της καμπύλης σε όρια εκτός του πεδίου τιμών, όπου η καμπύλη πρέπει να χρησιμοποιείται με επιφύλαξη.

Επειδή το εξεταζόμενο οδικό τμήμα έχει μήκος 630 μέτρα (<800 μέτρα) και κατά μήκος κλίση 0% (<3%), κατατάσσεται στην κατηγορία των γενικευμένων τμημάτων. Επομένως, το ποσοστό χρόνου καθυστέρησης αποτελεί την κύρια παράμετρο καθορισμού της στάθμης εξυπηρέτησης (Σ.Ε.) [1], [2]. Ο ρυθμός ροής εξυπηρέτησης Sfi (M.E.A./ώρα) σε Σ.Ε. i για γενικευμένα τμήματα υπεραστικών οδών δύο λωρίδων δίνεται από τη σχέση [1]:

$$Sfi = 2800*(v/c)_i*fd*fw \quad (5.7)$$

Ισοδύναμα, η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$Vi = [2800*(v/c)_i*fd*fw]*\Sigma.\Omega.A. \quad (5.8)$$

όπου: V_i (M.E.A./ώρα) ο μέγιστος φόρτος για Σ.Ε. i, $(v/c)_i$ ο λόγος του ρυθμού ροής προς την κυκλοφοριακή ικανότητα για Σ.Ε. i, fd συντελεστής προσαρμογής για την κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και fw συντελεστής εξαρτώμενος από το πλάτος της λωρίδας και το πλάτος του ερείσματος.

Εφαρμόζοντας τις τιμές των συντελεστών που προκύπτουν από τους αντίστοιχους πίνακες του H.C.M., υπολογίστηκαν από την εξίσωση (5.8) οι μέγιστοι φόρτοι V_i (σε M.E.A./ώρα) που μπορούν να εξυπηρετηθούν στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα για κάθε στάθμη εξυπηρέτησης. Οι τιμές αυτές δίνονται στον πίνακα 2. Από το διάγραμμα 5, για τις δεδομένες τιμές των φόρτων V_i (M.E.A./ώρα) υπολογίζεται το όριο, πάνω από το οποίο αλλάζει η στάθμη εξυπηρέτησης. Τα αντίστοιχα όρια του ποσοστού χρόνου καθυστέρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 2 μαζί με τα όρια που εισηγεί-

ται το Η.С.М., ώστε να γίνει δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση.

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι οι τιμές της παρούσας εργασίας είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές που προτείνει το Η.С.М., με διαφορά τουλάχιστον 10% σε κάθε Σ.Ε. Ενώ π.χ. η τιμή %Q_{DEL} = 53 κατά το Η.С.М. αντιστοιχεί σε Σ.Ε. C, σύμφωνα με τα δεδομένα της παρούσας εργασίας το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε Σ.Ε. D, δηλαδή σε δυσμενέστερες συνθήκες.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών στις ελληνικές υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας συνολικά. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα οδού δύο λωρίδων, στο οποίο μετρήθηκαν ο κυκλοφοριακός φόρτος και η ταχύτητα διαδρομής για κάθε περίοδο μέτρησης.

Από την ανάλυση των στοιχείων αρχικά επιχειρήθηκε διερεύνηση της σχέσης μέσης ταχύτητας των δύο ρευμάτων και του συνολικού φόρτου. Λόγω της διασποράς των σημείων, που προέκυψαν από την ανάλυση των μετρήσεων, δεν βρέθηκε ικανοποιητική εξίσωση που να περιγράφει σχέση αποκλειστικά μεταξύ της μέσης ταχύτητας και του συνολικού φόρτου, γεγονός που φανερώνει πως η ταχύτητα επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες. Η κατανομή, ωστόσο, των σημείων οδηγεί στο συμπέρασμα πως ακόμα και στις περιοχές χαμηλών φόρτων, όπως στην παρούσα εργασία, παρατηρείται μείωση της μέσης ταχύτητας για αύξηση της τιμής του συνολικού φόρτου και η γενική μορφή του διαγράμματος μέσης ταχύτητας - συνολικού φόρτου συμφωνεί με αυτή που εισηγούνται άλλες μελέτες [1], [2].

Η αδυναμία εύρεσης μιας εξίσωσης, που να περιγράφει με αξιοπιστία τη σχέση μέσης ταχύτητας - συνολικού φόρτου, δημιούργησε την ανάγκη συσχέτισης της ταχύτητας με άλλες παραμέτρους. Από τα πρότυπα, που σχηματίστηκαν με τη χρησιμοποίηση του στατιστικού προγράμματος SPSS, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης είναι ικανά να περιγράψουν με ικανοποιητικό τρόπο τη σχέση ταχύτητας με τις κυκλοφοριακές παραμέτρους σε οδούς δύο λωρίδων.

Ως σημαντικότερες παράμετροι από εκείνες, που εισηχθηκαν στις εξισώσεις κατά την ανάλυση της μέσης ταχύτητας τόσο του συνόλου των οχημάτων όσο και μόνο των ελαφρών οχημάτων στις δύο κατευθύνσεις, αποδείχθηκαν το ποσοστό των βαρέων οχημάτων, ο φόρτος των ελαφρών οχημάτων και η κατανομή της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Η μέση ταχύτητα όλων και εκείνη των ελαφρών οχημάτων εξηγούνται αντίστοιχα κατά 84% και 82% περίπου από τις παραπάνω παραμέτρους.

Μάλιστα, η επιρροή των βαρέων οχημάτων, όπως αυτή εκφράστηκε από τις τελικές εξισώσεις, αποδείχθηκε πολύ σημαντική και το ποσοστό των βαρέων οχημάτων ως μεταβλητή συμπεριελήφθηκε σε όλες τις εξισώσεις που προέκυψαν. Η επίδραση των βαρέων οχημάτων στη συμπεριφορά των οδηγών θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, αν ληφθεί υπόψη ότι το τμήμα που επιλέχθηκε έχει μηδενική κατά μήκος κλίση και πολλές μελέτες [3] εισηγούνται ότι για μηδενικές κατά μήκος κλίσεις η επίδρασή τους στην κυκλοφορία δεν είναι σημαντική.

Αντίθετα, η ανισοκατανομή της κυκλοφορίας στις δύο κατευθύνσεις είχε μεν μειωτική επίδραση στη μέση ταχύτητα, η επίδραση δε αυτή δεν παρουσιάστηκε σημαντική, ίσως επειδή η μείωση, που παρατηρείται στην ταχύτητα του ρεύματος όπου αυξάνεται ο φόρτος, εξισορροπείται περίπου από την αύξηση της ταχύτητας στο ρεύμα όπου μειώνεται ο φόρτος, για σταθερή τιμή του συνολικού φόρτου στις δύο κατευθύνσεις.

Η απουσία μεταβλητής, που να αντιπροσωπεύει τα δίκυκλα οχήματα στις τελικές εξισώσεις, δείχνει πως τα οχήματα αυτά δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οδηγών στις οδούς αυτής της κατηγορίας, γεγονός που επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα άλλων ερευνών [2], [3].

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα, που προέκυψαν από αυτή την έρευνα και είναι φανερό στις σχέσεις και τα διαγράμματα που προηγήθηκαν, είναι ότι η συμπεριφορά των οδηγών εκφρασμένη από τη μέση τους ταχύτητα προέκυψε διαφορετική για κάθε ρεύμα και εξαρτάται σημαντικά από το αν το τμήμα της καμπύλης, στο οποίο κινούνται, είναι εσωτερικό ή εξωτερικό. Η ύπαρξη καμπύλου τμήματος αποδείχθηκε σημαντική, αφού, όπως διαπιστώθηκε, η ταχύτητα των δύο ρευμάτων δεν επηρεάζεται ακριβώς από τις ίδιες παραμέτρους.

Η διαφορά αυτή της συμπεριφοράς εκδηλώνεται με τη διαφορά των μέσων ταχυτήτων που αναπτύσσονται στο εσωτερικό και στο εξωτερικό καμπύλο τμήμα. Στο εσωτερικό τμήμα, αν και οι οδηγοί κινούνται σε τροχιά με μικρότερη ακτίνα, φάνηκε ότι υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης μεγαλύτερων ταχυτήτων από το εξωτερικό, ιδιαίτερα στην περιοχή χαμηλών φόρτων. Η διαπίστωση αυτή μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι οι οδηγοί, που κινούνται στο εσωτερικό τμήμα, σε περίπτωση που χρειάζονται επιπλέον ελιγμούς, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν και την απέναντι λωρίδα κυκλοφορίας, ώστε να κινηθούν σε τροχιές με μεγαλύτερη ακτίνα. Αντίθετα, οι οδηγοί του εξωτερικού ρεύματος, αναπτύσσοντας ταχύτητα, ωθούνται προς το εξωτερικό μέρος της οδού, ώστε να μειώσουν τη φυγόκεντρη δύναμη που δέχονται και η πιθανότητα εκτροπής των οχημάτων αυτών από το οδόστρωμα είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό ωθεί του οδηγούς να οδηγούν πιο συντηρητικά και, επομέ-

νωσ, να επιλέγουν μικρότερες ταχύτητες για τις ίδιες στροφές. Η διαπίστωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον καλύτερο σχεδιασμό των καμπύλων τμημάτων.

Από τα διαγράμματα αλλά και από τις τελικές εξισώσεις που προέκυψαν γίνεται αντιληπτό ότι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας για αύξηση του φόρτου στη λωρίδα κίνησης των οχημάτων παρουσιάζεται μεγαλύτερος στην εσωτερική λωρίδα από την εξωτερική. Αυτό φαίνεται να οφείλεται στο γεγονός ότι για την εξετασθείσα περίπτωση το μήκος ορατότητας στην εσωτερική λωρίδα για την περιοχή του καμπύλου τμήματος είναι γενικά μικρότερο από εκείνο στην εξωτερική. Επομένως, βασικές λειτουργίες των οχημάτων της εσωτερικής λωρίδας εμποδίζονται περισσότερο από αυτές της εξωτερικής.

Η ανάλυση της ταχύτητας της κάθε κατεύθυνσης ξεχωριστά έδειξε πως η συμπεριφορά των οδηγών του κάθε ρεύματος δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τις λειτουργίες του αντίθετου ρεύματος. Η προσπάθεια εισαγωγής μεταβλητών στις τελικές εξισώσεις, που αναφέρονται στο αντίθετο ρεύμα κίνησης των οχημάτων, δεν οδήγησε στην εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων. Το παραπάνω φαίνεται να εξηγείται από το γεγονός ότι τα στοιχεία των μετρήσεων αναφέρονται σε φόρτους μακριά από την περιοχή της κυκλοφοριακής ικανότητας της οδού. Επομένως, η ζήτηση για προσπέραση δεν είναι μεγάλη, ώστε ο αντίθετος φόρτος να εμποδίζει αυτές τις λειτουργίες. Επιπλέον, το γενικά περιορισμένο λόγω χάραξης μήκος ορατότητας στο οδικό τμήμα που εξετάστηκε δυσχεραίνει περισσότερο τις λειτουργίες των οχημάτων, ώστε οι προσπάθειες για προσπέραση να περιορίζονται σημαντικά, ανεξάρτητα από την παρουσία ή μη οχημάτων του αντίθετου ρεύματος.

Σε σύγκριση, που πραγματοποιήθηκε με το Η.Σ.Μ., προέκυψε το συμπέρασμα ότι η σχέση παρατηρούμενης καθυστέρησης και κυκλοφοριακού φόρτου συμφωνεί γενικά με όσα προτείνονται στο Η.Σ.Μ., αλλά η τιμή της μέσης καθυστέρησης που προτείνεται εκεί είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη που βρέθηκε στην παρούσα εργασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γιαννόπουλος Γ.Α., “Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική”, Τόμος 1, Αθήνα, 1986.
2. **Special Report 209: “Highway Capacity Manual”**, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1985.
3. Van Aerde M., Yagar S., “**Capacity, Speed and Platooning Vehicle Equivalents for Two - Lane Rural Highways**”, TRR 971, TRB, National Research Board, Washington, D.C., 1989.
4. John A.D., Kobett D.R., “**Grade effects on traffic flow, stability and capacity**”, TRR 185, National Research Council, Washington, D.C., 1978.
5. Bang, K.L., Carlsson A., Palgunadi, “**Development of speed - flow relationships for Indonesian rural roads using empirical data and simulation**”, TRR 1484, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995.
6. Τζιαφέτας Γ.Ν., “**Εισαγωγικά μαθήματα στατιστικής**”, Αθήνα, 1991.
7. Norusis M.J., “**SPSS/PC+Base Manyal**”, SPSS Inc., Chicago U.S.A., 1988.
8. Rozic P., “**Capacity of two - lane, two - way rural highways: the new approach**” TRR 1365, National Research Council, Washington, D.C., 1992.
9. Botha N.L., Sullivan E.C., Zeng X., “**Level of service of two lane rural highways with low design speeds**”. TRR 1457, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995.
10. Αναστασόπουλος Α., “**Διερεύνηση της σχέσης ταχύτητας διαδρομής - κυκλοφοριακών παραμέτρων σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας**”, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, 1997.

Ι. Γκόλιας,

Πολιτικός μηχανικός, αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Ζωγράφου, 157 73, Αθήνα.

Α. Αναστασόπουλος,

Πολιτικός μηχανικός Ε.Μ.Π. - συγκοινωνιολόγος, Α. Παπάγου 122, Ζωγράφου, 157 72, Αθήνα.

Extended summary

Investigation of the Relationship between Average Travel Speed and Traffic Parameters on Two - Way, Two - Lane Rural Highways

J. GOLIAS

Associate Professor N.T.U.A.

A. ANASTASOPOULOS

Transportation Engineer N.T.U.A.

Abstract

In this paper a correlation between travel speed and specific traffic parameters was performed, in order to spot possible factors which affect the Greek driver's behavior and the operating conditions of two-way, two-lane rural highways. The analysis of the data suggests that linear regression models are suitable for predicting the average speed. The factors that appeared to have a significant effect on the average speed were the proportion of heavy vehicles in the traffic mix and the flow of the light vehicles. The influence of the directional split in traffic operations seems to be of less importance. The presence of a horizontal curve, which is part of the selected test-section, proved to be very important, because there was a remarkable difference between the drivers' behavior in each direction. In addition, the LOS criteria for general terrain segments evaluated in this work are compared with those of other studies. There seems to be a small differentiation between the percent time delay (PTD) boundary values used in 1985 HCM and those estimated in this paper.

Traffic operations on two - lane, two - way highways are unique. Lane - changing and passing are possible only in the absence of oncoming traffic in the opposing lane. Passing demand increases rapidly as traffic volume increases, while passing capacity in the opposing lane declines. Moreover, as volume increases and geometric conditions deteriorate, the ability to pass decreases, resulting in the formation of platoons in the traffic stream. Motorists in these platoons are subject to delay because of the inability to overtake.

The purpose of this study was to analyse the relationship between average travel speed and traffic volume on two - lane, two - way highways. In addition, a correlation of the travel speed and specific traffic parameters was performed, based on a multiple linear regression model. In this way, it is possible to find traffic parameters (such as the proportion of each type of vehicle in the traffic mix) which have an effect on the

quality of service on two lane highways and, on the other hand, to determine the influence of each parameter on traffic performance and on traffic operation.

Therefore, a representative, 630 meters long, test - section of the national road network was defined and traffic data were collected. This test - section is part of Marcopoulou Avenue in the Eastern area of Attica. In this link the terrain is level and it is free of the influence of any intersection.

All days on which measurements were carried out had similar weather conditions, so that the measurements could be comparable. More specifically, all measurements were carried out during sunny days and the roadway was in relatively good condition.

The measurements were carried out using two video cameras that were positioned at the entry and the exit of the test - section. The appropriate data were recorded using a suitable video machine. Using this equipment it was easy to estimate the category to which each vehicle belonged, its individual travel speed - calculated from its individual travel time - as well as the direction that each vehicle was traveling.

The measurement period was divided into 15 - min intervals and the whole analysis was based on this time division. Flows and speeds were analysed separately for each direction and for both directions in total.

The vehicle flow was calculated separately for each vehicle category, i.e. for light vehicles (passenger cars, jeeps); heavy vehicles (trucks, buses, recreational vehicles) and two - wheel vehicles (bicycles, motorcycles).

In order to evaluate the effect of each parameter on average travel speed, regression analysis was performed using of the program SPSS, applying the following regression equation:

$$Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + \dots + B_N * X_N$$

where:

- X_1, X_2, \dots, X_N : the selected independent variables.
- Y : the dependent variable.
- B_0, B_1, \dots, B_N : the regression coefficients.

The dependent variables considered included the average travel speed of all vehicles, average travel speed of light vehicles and the percent time delay value (PTD). In this way, it was possible to examine numerous parameters (such as each vehicle category, directional distribution and opposing flow) that might have a significant effect on every expression of average travel speed and, at the same time, it was possible to make a comparison of the boundary values of LOS criteria that are commonly used in other countries with the prevailing ones in Greek two - lane highways with similar characteristics.

The test - section included a horizontal curve (that constituted about 30% of the whole section) causing visibility problems in this area (there is a no passing zone along about 40% of the whole section). With a view to estimating the possible effects of those restrictions on driving behaviour, it was decided to consider each direction separately and not to examine only the speed in the main direction.

The final equations presented in table 1 and the representative diagrams that were made, lead to some important conclusions, such as:

The average travel speed is not related to the total volume, although there is a remarkable speed reduction with increasing flow, which is shown in figure 1. In contrast, the average travel speed of all vehicles and of light vehicles is strongly related to other specific traffic parameters (equations 5.1, 5.2 - $R^2=84,4$ and $R^2=81,8$ respectively), such as the proportion of heavy vehicles in the traffic mix, the light vehicle flow and the directional split. Moreover, different directional splits seem to have very little impact on average speed, maybe because the speed decrease in the direction with more traffic is compensated for by a speed increase in the other direction.

It is very interesting to notice that the speed reduction caused by the presence of heavy vehicles in the traffic stream seems to be remarkable. This fact does not seem to agree with other studies which suggest that the proportion of heavy vehi-

cles in the total flow does not significantly affect speeds for gradients below 3 percent.

In contrast, two - wheel vehicles do not seem to cause any speed reduction at all.

The analysis of the speed in each direction showed that the drivers' behaviour is not affected by the opposing flow and, consequently, opposing traffic interaction has only a minor effect on average speed of the other stream. Because the collected data refer to low or moderate flows and there is an extended no passing zone inside the test - section, passing demand is low and, therefore, the opposing stream does not significantly affect the other stream's operations.

Perhaps the most important finding of this study is the fact that the drivers' behaviour proved to be different for each direction separately and depended on the lane that vehicles were moving in. More specifically, the influence of the horizontal curve was obvious in the speed of each direction separately. Moreover, cars moving in the internal lane (in the area of the horizontal curve) seem to have the ability to develop higher speeds than the others in the external lane, especially at low to moderate flows (figures 2, 3, 4). This conclusion can be supported by the fact that if drivers in the internal lane need more maneuvers they can use the opposing stream to correct possible driving errors. In contrast, cars moving in the external lane are forced off of the road as their individual speed increases.

In the comparison that was made with H.C.M. it was found that the delay caused inside the test - section, estimated using the PTD value, agrees with the delay suggested by H.C.M. for two - way, two - lane highways with similar characteristics (figure 5). The percent time delay value for both directions is in strong relation to the total traffic volume (equation 5.5). In addition, as it is presented in table 2, the values for PTD at the LOS boundaries estimated in this study seem to be higher than those the 1985 H.C.M. suggests for general terrain segments with similar traffic and roadway conditions.

J. Golias,

Associate professor, National Technical University of Athens, Faculty of Civil Engineering, Department of Transportation Planning and Engineering, Iroon Polytechniou 5, Zografou 157 73 Athens, Greece.

A. Anastasopoulos,

Civil engineer (transportation engineer), Papagou Aven. 122, Zografou 157 72 Athens, Greece.