

# ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΙΚΥΚΛΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΤΗΡΙΕΣ

**Εμμανουήλ Ν. Μπαρμπουνάκης, Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Ph.D., Ιωάννης Κ. Γκόλιας, Ph.D.**

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

email: m.barbounakis@me.com

## Περίληψη

Ένας μοτοσυκλετιστής καλείται πολλές φορές να επιλέξει μεταξύ του να προσπεράσει ή όχι ένα προπορευόμενο όχημα. Η απόφαση αυτή εξαρτάται από παράγοντες που σπάνια εξετάζονται λόγω των δυσκολιών στην αποτύπωση των πραγματικών τροχιών των μοτοσυκλετιστών, ειδικά σε αστικές αρτηρίες. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προτυποποιήσει την οδηγική συμπεριφορά των μοτοσυκλετιστών και να αναδείξει τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την προσπέραση που οι τελευταίοι πραγματοποιούν σε αστικές αρτηρίες. Οι στατιστικές αναλύσεις εστιάζονται σε δύο κατηγορίες προσπέρασης: α. προσπέραση που γίνεται με ελιγμό αλλαγής λωρίδας (lane changing) και β. προσπέραση που γίνεται χωρίς μεταβολή της ταχύτητας και/ή αλλαγής λωρίδας. Τα δεδομένα για την ανάλυση προέκυψαν από λεπτομερή αποτύπωση της τροχιάς των δικύκλων αυτών ανά 500 msec και συλλέχθηκαν πραγματοποιώντας εγγραφές βίντεο σε συγκεκριμένη διαχωρισμένη αστική αρτηρία της πόλης της Αθήνας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι παράγοντες όπως το είδος του δικύκλου, η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος, οι χωρικοί διαχωρισμοί, η ύπαρξη ενός βαρέος οχήματος παίζουν σημαντικό ρόλο στο αν ο μοτοσυκλετιστής τελικά προσπεράσει το όχημα.

**Λέξεις Κλειδιά:** *μοτοσυκλετες, μοτοποδήλατα, προσπέραση, αστικές αρτηρίες*

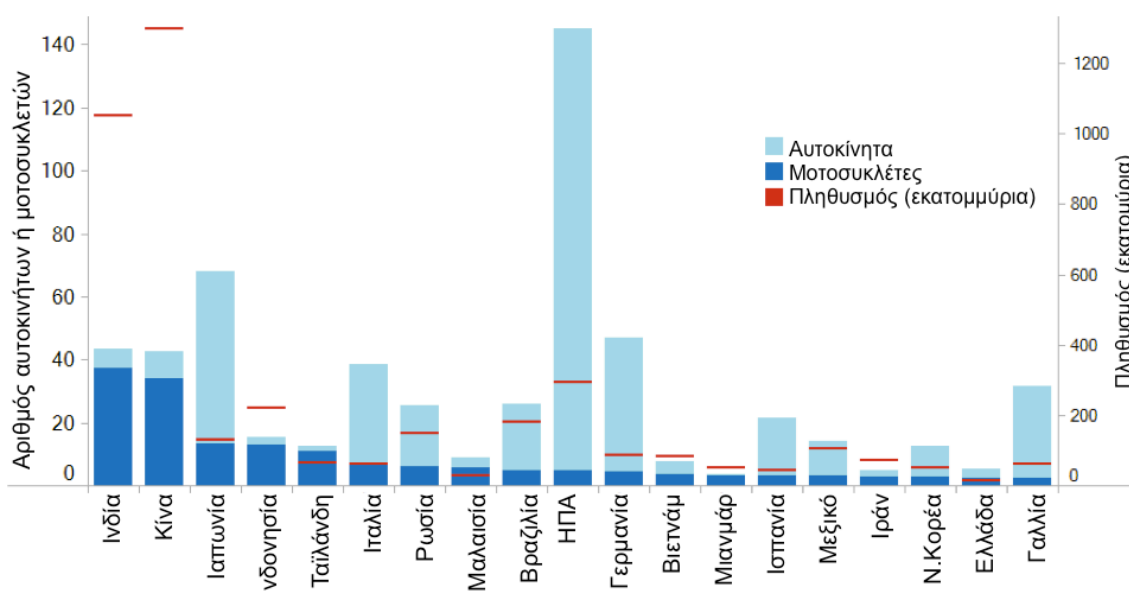
## Abstract

A Powered Two Wheeler (PTW) driver is often faced with the decision to overtake or not the lead vehicle. This decision is dominated by factors that are rarely investigated due to the difficulties in measuring the actual trajectories of PTWs especially in urban arterials. The aim of this paper is to model the overtaking behavior of PTW drivers and reveal the significant factors that may affect overtaking in urban arterials. Statistical analyses are conducted on the basis of detailed PTW trajectory data in 500 msec intervals collected using video recording from urban arterials. Based on the collected data, overtaking attempts are categorized with regards to whether overtaking is associated to a lane changing maneuver (lane changing/overtake) and whether overtaking occurs without speed change and/or lane change (on the fly). Results show that factors such as PTW, as well as the speed of lead vehicle, headways, the existence of a heavy vehicle etc. play an important role on whether the PTW driver will overtake the lead.

**Keywords:** *Powered Two-Wheelers, overtaking, motorcycles, mopeds, urban arterials*

# 1. Εισαγωγή

Τα δίκυκλα χρησιμοποιούνται ευρέως στη σύγχρονη κοινωνία σαν ένα γρήγορο και ευέλικτο μέσο μεταφοράς. Οι μοντέρνες μηχανές κίνησης τους παρέχουν υψηλή δύναμη και καλή αναλογία μάζας-ιπποδύναμης. Επιπλέον, λόγω του χαμηλού κόστους τους, όσον αφορά την απόκτηση και όσον αφορά τη συντήρησή του, ενώ το γεγονός ότι στο αστικό περιβάλλον είναι ευκολότερα στο παρκάρισμά τους, κάνουν τα δίκυκλα πιο οικονομικά συμφέροντα σε σχέση με τα ΙΧ. Στην Ελλάδα, και σε άλλες χώρες της Νότιας Ευρώπης, υπάρχει μια έντονη αύξηση στη χρήση των δίκύκλων πράγμα που επηρεάζει το μεταφορικό σύστημα της αστικής περιοχής [1]. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις 20 πρώτες ανά τον κόσμο χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες.



**Σχήμα 1:** Εκατομμύρια αυτοκινήτων (γαλάζιο) και μοτοσυκλετών (σκούρο μπλε) στις πρώτες 20 χώρες με τις περισσότερες μοτοσυκλέτες. Πληθυσμός με κόκκινο. (Πηγή: Wikipedia 2012)

Τα χαρακτηριστικά που τα ξεχωρίζουν είναι η αυξημένη ταχύτητα των μοτοσυκλετών, που σε συνδυασμό με το περιορισμένο τους πλάτος και την αυξημένη ευελιξία τους, μπορούν να τα διαφοροποιήσουν σε οδηγικό στυλ και πρότυπα, δίνοντας του τη δυνατότητα να προσπεράσουν άλλα οχήματα στο δικό τους περιβάλλον. Είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να ερευνηθούν τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά (ταχύτητα, εγκάρσιος και διαμήκης χωρικός διαχωρισμός, κτλ.) που επικρατούν τη στιγμή που ο μοτοσυκλετιστής αποφασίζει να προσπεράσει ένα όχημα ή όχι. Αυτή η συμπεριφορά γίνεται ακόμη πιο ενδιαφέρουσα αν ληφθεί υπόψη ότι το δίκυκλο μπορεί να προσπεράσει με ή χωρίς ένα εγκάρσιο ελιγμό.

Η προσομοίωση αποτελεί ένα σύνθετο εργαλείο για να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο τα δίκυκλα κινούνται σε αστικές περιοχές [2]-[7]. Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να προσομοιώσουν τις τροχιές των δίκύκλων είτε με το διαχωρισμό της μίας (1) λωρίδας σε τρεις (3) υπολωρίδες [5] είτε με πρότυπα Cellular Automata [6]-[7]. Αν και αυτές οι μελέτες μπορούσαν να δείξουν τη διαφορά μεταξύ δίκύκλων και άλλων οχημάτων σε μία ή δύο λωρίδες, δεν ήταν ικανές να περιγράψουν πλήρως το φαινόμενο αφού ο άπειρος αριθμός τροχιών που μπορεί να ακολουθήσει ένα δίκυκλο είναι πολύ δύσκολο να κατηγοριοποιηθεί σε ένα πρότυπο προσομοίωσης. Άλλοι ερευνητές [8],[11]-[14] προχώρησαν σε πραγματικές μετρήσεις γεγονός που τους επέτρεψε να έχουν πιο ακριβή δεδομένα. Ο βασικός σκοπός αυτών των ερευνών παρ' όλ' αυτά ήταν να ασχοληθούν με φόρτους, ταχύτητες, χωρικούς και

χρονικούς διαχωρισμούς, κτλ. χωρίς να δοθεί έμφαση στους παράγοντες που υπεισέρχονται όταν ένας μοτοσυκλετιστής αποφασίζει να προσπεράσει ή όχι, όπως και οι αλληλεπιδράσεις με το υπόλοιπο της κυκλοφορίας.

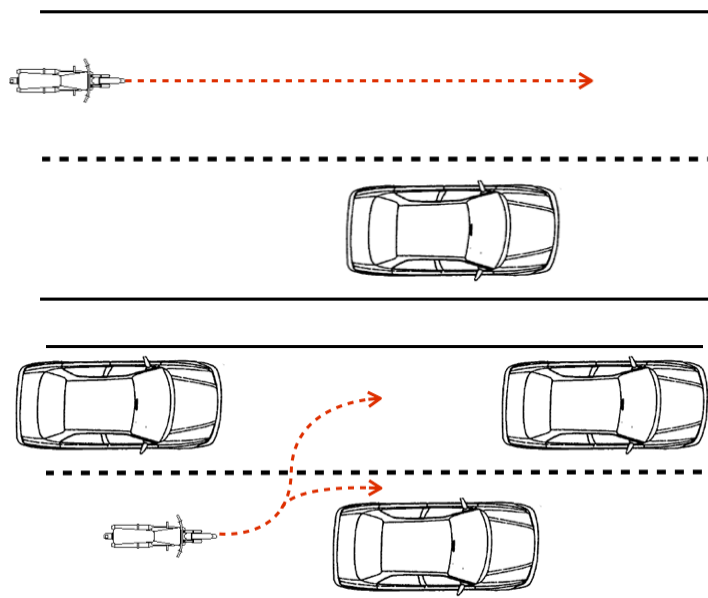
Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να προτυποποιηθεί η οδηγική συμπεριφορά κατά την προσπέραση των δικυκλιστών και να προκύψουν οι σημαντικοί κυκλοφοριακοί παράγοντες, όπως η ταχύτητα και η διαφορά ταχύτητας, χωρικοί διαχωρισμοί, ύπαρξη φαλάγγων, κτλ. που μπορούν να επηρεάσουν την προσπέραση. Τα δεδομένα τροχιών δικύκλων εξάγονται από εγγραφές βίντεο σε συγκεκριμένη αστική αρτηρία στο δρόμο της Αθήνας. Μεταξύ των μεταβλητών που καταγράφονται είναι: ο τύπος του κάθε οχήματος που συμμετέχει στο φαινόμενο, η λωρίδα που κινείται κάθε όχημα, η ταχύτητα του κάθε οχήματος, εγκάρσιες και διαμήκεις αποστάσεις, η ύπαρξη φάλαγγας ή ενός βαρέος οχήματος, η ύπαρξη ενός δεύτερου συνεπιβάτη και η χρήση κράνους από τον δικυκλιστή.

## 2. Μεθοδολογία

### *Επιλέγοντας τον Αριθμό των Λωρίδων*

Σε αυτή την εργασία, επιλέγεται μία αρτηρία με δύο (2) λωρίδες ανά κατεύθυνση με κεντρική νησίδα με σκοπό να αποφευχθούν σύνθετα φαινόμενα που θα μπορούσαν να προκύψουν από περισσότερες λωρίδες ή μη-διαχωρισμένες αρτηρίες. Επιπλέον, ο τομέας της οδού που θα μελετηθεί, επιλέγεται μακριά από κάποιο σηματοδοτούμενο κόμβο για να μειωθεί η επίδραση της σηματοδότησης στα συλλεγόμενα δεδομένα.

Δύο είναι διαφορετικοί τύποι προσπέρασης που θεωρούνται (Σχήμα 1). Το πρώτο είναι το “On the Fly”, δηλαδή όταν το αντικείμενο δίκυκλο κινείται εξαρχής σε διαφορετική λωρίδα και προσπαθεί να προσπεράσει το όχημα με σταθερή ταχύτητα χωρίς να αλλάξει λωρίδα. Το δεύτερο ονομάζεται “Oblique Maneuver”, δηλαδή όταν το αντικείμενο δίκυκλο καλείται να εκτελέσει ένα εγκάρσιο ελιγμό για να προσπεράσει τελικά το προπορευόμενο όχημα.



Σχήμα 2: Οι δύο κατηγοριοποιημένοι τρόποι προσπέρασης σε μια αρτηρία με δύο (2) λωρίδες. On the Fly (πάνω) και Oblique Maneuver (κάτω)

## Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέγονται μέσω εγγραφής βίντεο από την πραγματική κυκλοφορία. Υπάρχουν συγκεκριμένες προϋποθέσεις για την τοποθέτηση της βιντεοκάμερας όπως η εύρεση ενός μέρους σχετικά ψηλά για την τοποθέτηση του τριπόδου, που να δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης και εγγραφής του προσερχόμενου ρεύματος και με δύο λωρίδες ανά κατεύθυνση και κεντρική νησίδα, χωρίς καμπύλες [16]. Επιλέγεται η πεζογέφυρα Santiago Calatrava στην Λεωφόρο Μεσογείων ύψους περίπου 15 μέτρων πάνω από το οδόστρωμα, αφού ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις που θέσαμε προηγουμένως (Σχήμα 2). Οι εγγραφές βίντεο γίνονται με καλό καιρό, καλή ορατότητα και σε συνθήκες μη συμφορημένης ροής, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την συμπεριφορά προσπέρασης. Δίνεται έμφαση στη βαθμοθέτηση των μετρήσεων που βασίζεται σε τέσσερα (4) σταθερά σημεία που φαίνονται στο βίντεο και τις αποστάσεις μεταξύ τους. Δεδομένου του γεγονότος ότι αυτές οι αποστάσεις είναι ακριβείς (μετρήσεις σε εκατοστά) τα αποτελέσματα των μετρήσεων θεωρούνται επίσης ακριβή.



**Σχήμα 3:** Τοποθέτηση βιντεοκάμερας στην πεζογέφυρα του Calatrava

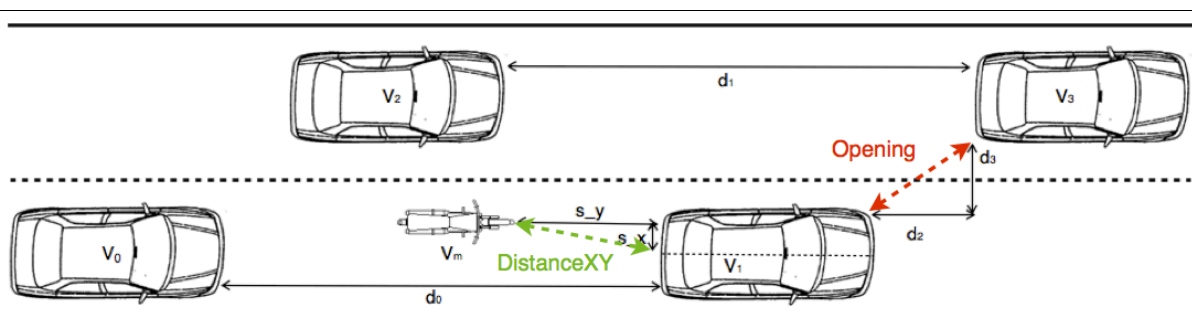
Η συλλογή των δεδομένων γίνεται ακολουθώντας σε σειρά τα παρακάτω βήματα: Αφού γίνει η εγγραφή των βίντεο, οι συντεταγμένες οθόνες μετατρέπονται σε πραγματικές συντεταγμένες χρησιμοποιώντας ένα προβολικό πρότυπο που επιτρέπει να εξαχθεί η τροχιά του δικύκλου [16]. Από τις τροχιές, οι κινηματικές παράμετροι του κάθε οχήματος που φαίνεται στο βίντεο (ταχύτητες και αποστάσεις) υπολογίζονται κάθε 500m sec. Ο πίνακας I αποτυπώνει τις μεταβλητές που υπολογίζονται από τα βίντεο και θα ληφθούν υπόψη στις αναλύσεις που ακολουθούν. Η γραφική αναπαράσταση των μεταβλητών φαίνονται στο Σχήμα 3.

Ο Πίνακας I περιλαμβάνει επίσης τρεις συμπληρωματικές μεταβλητές που υπολογίζονται από τα συλλεχθέντα δεδομένα και βοηθούν στο να περιγραφεί καλύτερα η οδηγική συμπεριφορά του δικύκλου και της κίνησής του μέσα στην κυκλοφορία. Η πρώτη συμπληρωματική μεταβλητή είναι η διαφορά ταχύτητας του αντικείμενου δικύκλου με το προπορευόμενο όχημα (Diff), η δεύτερη είναι η απόσταση μεταξύ του αντικείμενου δικύκλου και του οχήματος 1 (Distance XY) και η τρίτη είναι το άνοιγμα που υπάρχει μπροστά από προπορευόμενο όχημα 1 (Opening).

### Πίνακας I: Περιγραφή των ανεξάρτητων μεταβλητών

Μεταβλητή	Περιγραφή
lane	Δεξιά ή Αριστερή λωρίδα στην οποία κινείται το δίκυκλο
Veh_TypeM	Τύπος του Δικύκλου (μοτοποδήλατο ή μοτοσυκλέτα)

Vm:	Ταχύτητα του Αντικείμενου Δικύκλου PTW's Speed (km/hr)
Veh_Type1	Τύπος του Οχήματος που προσπερνάται (μοτοποδήλατο, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_RL	Δεξιά ή Αριστερή λωρίδα που κινείται το όχημα που προσπερνάται (0/1)
V1	Ταχύτητα του Οχήματος 1 (km/hr)
Veh_Type0	Τύπος του Οχήματος 0 (μοτοποδήλατο, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_Type2	Τύπος του Οχήματος 2 (μοτοποδήλατο, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
Veh_Type3	Τύπος του Οχήματος 3 (μοτοποδήλατο, μοτοσυκλέτα, αυτοκίνητο, φορτηγό)
d0	Απόσταση μεταξύ Οχήματος 0 και 1 (m)
d1	Απόσταση μεταξύ Οχήματος 2 και 3 (m)
d2	Διαμήκης Απόσταση μεταξύ Οχήματος 1 και 3 (m)
d3	Εγκάρσια Απόσταση μεταξύ Οχήματος 1 και 3 (m)
s_x	Εγκάρσια απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος που προσπερνάται (m)
s_y	Διαμήκης απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος που προσπερνάται (m)
V2	Ταχύτητα του Οχήματος 2 (km/hr)
V3	Ταχύτητα του Οχήματος 3 (km/hr)
Diff	Διαφορά ταχύτητας μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του Οχήματος 1, $Diff = Vm - V1$ (km/hr)
DistanceXY	Απόσταση μεταξύ του Αντικείμενου Δικύκλου και του οχήματος 1, $(s_x^2 + s_y^2)^{0.5}$ (m)
Opening	Άνοιγμα μπροστά από το όχημα 1, $Opening = (d_2^2 + d_3^2)^{0.5}$ (m).
platoon	Ύπαρξη φάλαγγας, το αντικείμενο δίκυκλο είναι ο αρχηγός (0/1)
sum_platoon	Σύνολο Δικύκλων που κινούνται στη φάλαγγα
helmet	Ο μοτοσυκλετιστής φοράει κράνος; (0/1)
passenger	Υπάρχει δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο; (0/1)
on_the_fly	Αν η προσπέραση είναι On The Fly παίρνει την τιμή 1, αλλιώς 0.



**Σχήμα 4:** Σκαρίφημα των μεταβλητών που μετρούνται

Ο συνολικός αριθμός των περιπτώσεων που μετρήθηκαν είναι 850. Αυτές κατηγοριοποιούνται σε σχέση με τον τύπο του δίκυκλου και την κατηγορία προσπέρασης όπως φαίνεται στον Πίνακα II και III.

**Πίνακας II: Κατηγοριοποίηση ανά τύπο Δικύκλου**

Τύπος Αντικείμενου Δικύκλου	Επιτυχημένες Προσπεράσεις	Αποτυχημένες Προσπεράσεις	Σύνολο
Μοτοποδήλατο	297	226	523
Μοτοσυκλέτα	229	98	327
Σύνολο	526	324	850

**Πίνακας III: Κατηγοριοποίηση ανά είδος Προσπέρασης**

Είδος Προσπέρασης	Επιτυχημένες Προσπεράσεις	Αποτυχημένες Προσπεράσεις	Σύνολο
On the Fly	283	172	455
Oblique Maneuver	243	152	395
Σύνολο	526	324	850

Μία προκαταρκτική στατιστική ανάλυση που δίνει μία όψη των καταγεγραμμένων συνθηκών κίνησης αποκαλύπτει ότι οι μοτοσυκλετιστές τείνουν να προσπερνούν πιο συχνά σε σχέση με τους οδηγούς μοτοποδηλάτων. Το 92% των Δικυκλιστών χρησιμοποιεί κράνος, ενώ μόνο το 3% από όλες τις περιπτώσεις είχαν δεύτερο αναβάτη στο δίκυκλο. Στην περιοχή μελέτης, η μέση ταχύτητα των δικύκλων κατά την προσπέραση είναι 82 km/h, η μέση ταχύτητα των υπόλοιπων οχημάτων είναι 66km/h και η μέγιστη ταχύτητα που σημειώθηκε στην υπό εξέταση περιοχή ήταν τα 160 km/h.

### 3. Στατιστική Ανάλυση Της Πιθανότητας Προσπέρασης

Αναπτύσσονται πρότυπα λογιστικής παλινδρόμησης για να διαπιστωθεί η σχέση μεταξύ της πιθανότητας προσπέρασης ενός δικύκλου και των κινηματικών χαρακτηριστικών του, όπως επίσης και της αλληλεπίδρασης με την υπόλοιπη κυκλοφορία. Η κατηγορική δυαδική εξαρτημένη μεταβλητή που χρησιμοποιείται είναι η “over” που παίρνει την τιμή 0 αν το αντικείμενο δίκυκλο ολοκληρώσει μια προσπέραση ή 0 διαφορετικά. Πέντε διαφορετικά πρότυπα δημιουργήθηκαν στα οποία περιέχεται ένας διαφορετικός συνδυασμός μεταβλητών, σύμφωνα με την ανάλυση συσχέτισεων.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Από τις συσχέτισεις της εξαρτημένης μεταβλητής και τις διαθέσιμες μετρημένες μεταβλητές, οι πρώτες πέντε με την υψηλότερη συσχέτιση επιλέχθηκαν ως τις βασικές για τις παραμέτρους των αντίστοιχων πέντε προτύπων. Οι μεταβλητές που πήραν τον τίτλο της «βασικής μεταβλητής» ήταν οι Diff, Vm, V1, Opening και DistanceXY. Για καθεμία από αυτές τις βασικές μεταβλητές αναπτύχθηκε ένα διαφορετικό σετ από ανεξάρτητες μεταβλητές που περιελάμβανε κάθε φορά μόνο αυτές που βρέθηκαν ασυσχέτιστες με τη βασική μεταβλητή.

Οι συνδυασμοί που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας περιγράφονται παρακάτω.

- Πρότυπο 1: Diff, s\_y, Opening, passenger και platoon.

- Πρότυπο 2: Vm, Veh\_Type1, DistanceXY, Opening, passenger και platoon.
- Πρότυπο 3: V1, lane, Veh\_Type3, platoon, d2 και helmet
- Πρότυπο 4: Opening, Veh\_TypeM, Veh\_RL, helmet, passenger και s\_y
- Πρότυπο 5: DistanceXY, Veh\_TypeM, Veh\_RL, V3, passenger και platoon

Η αποτελεσματικότητα των προτύπων φαίνεται με τη χρήση των παρακάτω δεικτών [18]:

- Η Αποτελεσματικότητα, το συνολικό ποσοστό των περιπτώσεων που προέβλεψε σωστά το πρότυπο.
- Η Ευαισθησία του προτύπου, δηλαδή πόσες περιπτώσεις από τις συνολικές προσπεράσεις προέβλεψε το πρότυπο.
- Η Ειδικότητα, δηλαδή πόσες περιπτώσεις μη προσπέρασης προέβλεψε το πρότυπο.
- Το Ποσοστό Εσφαλμένων Προβλέψεων Προσπέρασης, δηλαδή πόσο συχνά το πρότυπο δεν προέβλεψε σωστά ότι θα είχαμε προσπέραση.
- Το Ποσοστό Εσφαλμένων Προβλέψεων Αποτυχημένης Προσπέρασης, δηλαδή πόσο συχνά το πρότυπο δεν προέβλεψε σωστά ότι δεν θα είχαμε προσπέραση.

#### Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα από τα 5 διαφορετικά πρότυπα συνοψίζονται στον Πίνακα IV. Το πρώτο πρότυπο παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα, προφανώς λόγω του γεγονότος ότι περιέχει ως βασική μεταβλητή τη Diff, η οποία βρέθηκε υψηλά συσχετισμένη με την εξαρτημένη μεταβλητή. Τα υπόλοιπα πρότυπα επίσης παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά στην Αποτελεσματικότητα και στους άλλους δείκτες τους. Παρόλ' αυτά, αφού τα αποτελέσματα του πρώτου προτύπου είναι καλύτερα, μόνο αυτό θα αναλυθεί περισσότερο.

Η σημαντικότητα των μεταβλητών φαίνεται στον Πίνακα V. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, οι στατιστικά σημαντικές μεταβλητές είναι οι Diff, s\_y και Opening. Φαίνεται ότι αύξηση 1km/h στην διαφορά ταχύτητας Diff θα προκαλούσε αύξηση στην αναλογία πιθανοτήτων (odds= $p(1-p)$  όπου p είναι η πιθανότητα) να αυξηθεί κατά  $e^{0.214}=1.24$  φορές. Ομοίως, φαίνεται ότι 1m αύξηση στην διαμήκη απόσταση και στο άνοιγμα θα προκαλούσε αλλαγή στην αναλογία πιθανοτήτων κατά 0.77 και 1.03 φορές αντίστοιχα.

**Πίνακας IV: Πίνακας Κατάταξης των προτύπων**

	Πρότυπο 1	Πρότυπο 2	Πρότυπο 3	Πρότυπο 4	Πρότυπο 5
Σημαντικές Μεταβλητές	Diff, s_y, Opening, passenger και platoon	Vm, Veh_Type1, DistanceXY, Opening, passenger και platoon	V1, lane, Veh_Type3, platoon, d2, helmet	Opening, Veh_TypeM, Veh_RL, helmet, passenger και s_y	DistanceXY, Veh_TypeM, Veh_RL, V3, passenger και platoon
Αποτελεσματικότητα (%)	87.2	78.1	69.6	73.6	71.2
Ευαισθησία (%)	91.4	86.1	82.9	86.5	85.9
Ειδικότητα (%)	80.2	65.1	48.1	52.8	47.2
Ποσοστό Εσφαλμένων Προβλέψεων Προσπέρασης (%)	11.7	20.0	27.8	25.2	27.4

Ποσοστό Εσφαλμένων Προβλέψεων Αποτυχημένης Προσπέρασης (%)	14.8	25.7	36.6	29.3	32.6
--	------	------	------	------	------

**Πίνακας V: Αποτελέσματα του 1<sup>ου</sup> προτύπου**

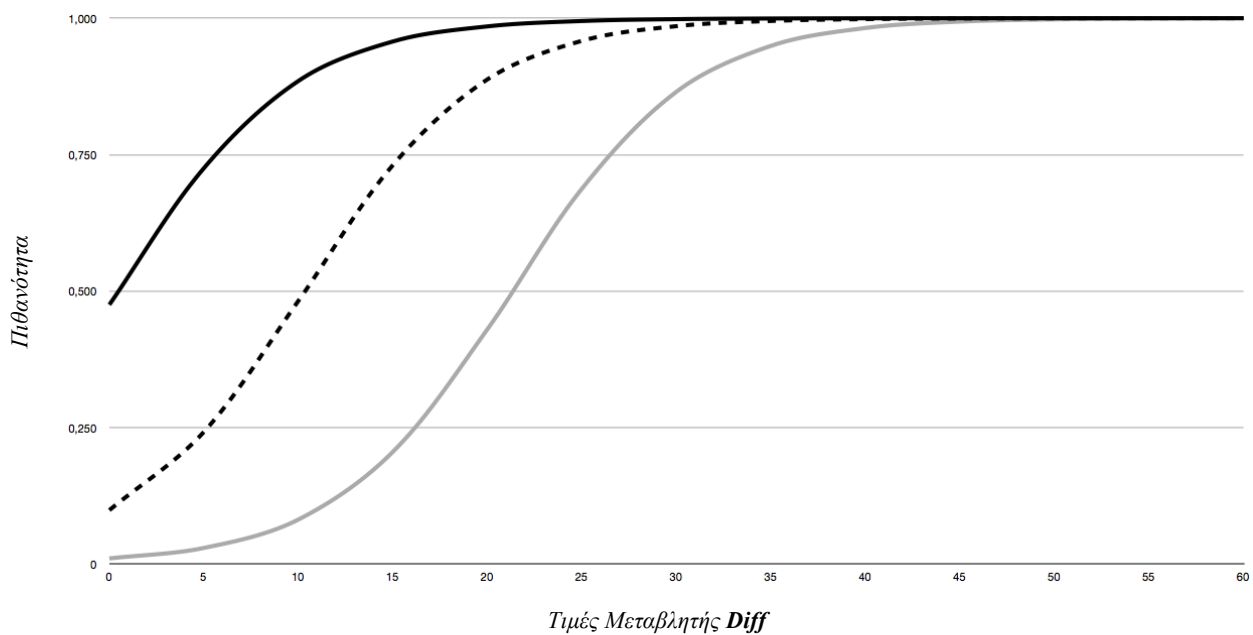
Μεταβλητές	B	S.E.	Wald	df	Sig.
Diff	0.214	0.016	177.698	1	0.000
s_y	-0.268	0.031	74.989	1	0.000
Passenger	-0.645	0.628	1.057	1	0.304
Platoon	-0.154	0.334	0.213	1	0.645
Opening	0.030	0.006	24.168	1	0.000
Constant	-1.112	0.275	16.404	1	0.000

Αν και οι μεταβλητές passenger και platoon δεν είναι στατιστικά σημαντικές, η επιρροή τους στην αλλαγή των odds, δεν είναι καθόλου ασήμαντη. Συγκεκριμένα, αν υπάρχει ένας δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο, τα odds μειώνονται κατά 0.53 φορές και αν το αντικείμενο δίκυκλο ηγείται μιας φάλαγγας τότε τα odds μειώνονται κατά 0.86 φορές. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ένας παραπάνω επιβάτης προσθέτει βάρος στο δίκυκλο, άρα μεταβάλλονται χαρακτηριστικά όπως η επιτάχυνση και η ευελιξία, ενώ και με την ύπαρξη φάλαγγας μειώνεται η ευελιξία και ο διαθέσιμος χώρος για ελιγμούς.

Για να αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο η διαφορά ταχύτητας Diff μπορεί να επηρεάσει την πιθανότητα προσπέρασης, λαμβάνουμε υπόψη τρεις διαφορετικές περιπτώσεις για εκείνες τις μεταβλητές που παραμένουν σταθερές. Η ευμενής περίπτωση για προσπέραση, όπου όλες οι μεταβλητές παίρνουν την πιο ευμενή τιμή τους· η αντίθετη δυσμενής περίπτωση και η μέση κατάσταση όπου οι μεταβλητές παίρνουν τις πιο συνήθεις τιμές τους. Το Σχήμα 4 δείχνει την πιθανότητα της Προσπέρασης προς τις αλλαγές στη διαφορά ταχύτητας.

Αν ο μοτοσυκλετιστής έχει ένα ευρύ πεδίο τότε υπάρχει μια αυξημένη πιθανότητα να συμβεί προσπέραση (ευμενής περίπτωση). Επιπλέον, η επιρροή ενός δευτέρου συνεπιβάτη και/ή η συμμετοχή σε μια φάλαγγα είναι άλλη μια φορά εμφανής (δυσμενής περίπτωση), όπως και η αύξηση στην απόσταση. Φαίνεται ότι μία διαφορά ταχύτητας περίπου 15km/h είναι αρκετή ώστε ο μοτοσυκλετιστής να προσπεράσει το όχημα που προπορεύεται. Στην ευμενή περίπτωση είναι εμφανές ότι ακόμη και όταν το δίκυκλο κινείται αρχικά με χαμηλότερη ταχύτητα από ότι το προπορευόμενο όχημα, υπάρχει σημαντική πιθανότητα να επιταχύνει και τελικά να το προσπεράσει.





**Σχήμα 5:** Διάγραμμα Πιθανότητας για το 1ο πρότυπο. Η μεταβλητή Diff παίρνει τιμές από 0 έως 60 km/h, Ευμενής (μαύρη) περίπτωση ( $Opening=40, s_{\gamma}=0.70, passenger = 0, platoon, 0$ ), Συνήθης (διακεκομμένη) περίπτωση ( $Opening=20, s_{\gamma}=6.34, passenger = 0, platoon, 0$ ), Δυσμενής (γκρι) περίπτωση ( $Opening=1.0, s_{\gamma}=10, passenger = 1, platoon, 1$ )

#### 4. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία προσπαθεί να προτυποποιήσει την πιθανότητα προσπέρασης ενός δικύκλου σε μία διαχωρισμένη αστική αρτηρία δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση. Οι στατιστικές αναλύσεις σχετικά με την προσπέραση και τα μικροσκοπικά κινηματικά χαρακτηριστικά των δικύκλων, όπως και της αλληλεπίδρασης με τα υπόλοιπα οχήματα, οδήγησαν σε πρότυπα που μπορούν να προβλέψουν αρκετά ικανοποιητικά την πιθανότητα ένα δίκυκλο να επιχειρήσει την προσπέραση ενός προπορευόμενου οχήματος. Λαμβάνονται σχετικά υπόψη: η διαφορά ταχύτητας με αυτό το όχημα, η απόσταση μεταξύ τους, το άνοιγμα μπροστά από το όχημα και το αν στο υπόψη δίκυκλο υπάρχει δεύτερος αναβάτης ή είναι ο αρχηγός μιας φάλαγγας δικύκλων.

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες, όταν ο μοτοσυκλετιστής προσπερνάει το προπορευόμενο όχημα είναι: πρώτον, η διαφορά ταχύτητας μεταξύ μοτοσυκλέτας και προπορευόμενου οχήματος και δεύτερον, η ταχύτητα του αντικείμενου δικύκλου. Η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος δε φαίνεται να είναι στις πρώτες θέσεις σημαντικότητας. Επιπλέον, όπως φαίνεται, μία διαφορά ταχύτητας των 15 km/h μπορεί να θεωρηθεί ως κρίσιμη, αφού η πιθανότητα να προσπεράσει το δίκυκλο είναι περίπου 75%. Όταν η απόσταση των δύο οχημάτων είναι μεγαλύτερη από 10m, τότε δεν είναι πιθανό το δίκυκλο να επιχειρήσει κάποια προσπέραση, ενώ τείνουν να προσπερνούν μοτοποδήλατα, φορτηγά, αυτοκίνητα και έπειτα μοτοσυκλέτες σε σειρά προτίμησης. Τέλος, η πιθανότητα προσπέρασης ενός δικύκλου μειώνεται σημαντικά όταν ένας μοτοσυκλετιστής δεν χρησιμοποιεί κράνος ή όταν ηγείται μιας φάλαγγας δικύκλων ή όταν υπάρχει δεύτερος αναβάτης στο δίκυκλο.

Η συγκεκριμένη έρευνα μπορεί να επεκταθεί σε μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση των διαφορών στη συμπεριφορά μεταξύ των δύο διαφορετικών τύπων δικύκλου. Επιπλέον, μπορεί να επεκταθεί σε άλλους τύπους αστικών αρτηριών (π.χ. τρεις λωρίδες ανά κατεύθυνση, αρτηρίες με κεντρική νησίδα κτλ.). Τέλος, η συμμετοχή παραγόντων όπως η αλληλεπίδραση

με ειδικά οχήματα (λεωφορεία ή ταξί) θα μπορούσε να δώσει ενδιαφέροντα αποτελέσματα σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά των μοτοσυκλετιστών.

Γενικότερα, η παρούσα προσέγγιση θα μπορούσε να αποτελέσει την αρχή μιας μελέτης σχετικά με τον τρόπο που θα επιδρούσε στο αστικό περιβάλλον η αύξηση των δικύκλων σε σχέση με τα ΙΧ και ο σχεδιασμός της κυκλοφορίας βάσει του γεγονότος αυτού. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα, δεδομένου ότι η χώρα μας διαθέτει τον μεγαλύτερο στόλο μοτοσυκλετών στο σύνολο των μηχανοκινούμενων οχημάτων σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Για παράδειγμα, τι θα άλλαζε στην κυκλοφορία στις αστικές αρτηρίες αν δημιουργούνταν ξεχωριστές λωρίδες κίνησης για τα δίκυκλα ή αν ρυθμίζονταν η ροή των δικύκλων επιβάλλοντας διαφορετική ταχύτητα κίνησης σε ΙΧ και δίκυκλα. Τα παραπάνω μέτρα θα επηρέαζαν μια αστική περιοχή όχι μόνο από άποψη λειτουργίας, αλλά και ρύπων ή οικονομικών παραγόντων, λόγω του μειωμένου κόστους αγοράς των δικύκλων αλλά και στη συντήρησή τους. Επιπλέον, θα ήταν δυνατή η βελτιστοποίηση της κίνησης των δικύκλων, με αποτέλεσμα καλύτερου ελέγχου στις εκπομπές ρύπων και αποφυγή κυκλοφοριακών συμφορήσεων έχοντας τα απαραίτητα οφέλη από περιβαλλοντικής και οικονομικής άποψης. Τέλος, θα ήταν δυνατή η βελτιστοποίηση της κίνησης των μοτοσυκλετών, με αποτέλεσμα καλύτερο έλεγχο και μείωση των κυκλοφοριακών συμφορήσεων.

## 5. Αναφορές – Βιβλιογραφία

- [1] Vlahogianni, E. I., Yannis, G., Golias, J. C. Overview of Critical Risk Factors in Power-Two-Wheeler Safety, Accident Analysis and Prevention, 49, 12-22.
- [2] Jian Ping Meng, Shi-qiang Dai, Li-yun Dong, Jie-fang Zhang (2007) “Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles”, Physica A 380 (2007) 470-480
- [3] Dey P. P., Chandra S. and Gangopadhyay S. (2008) “Simulation of Mixed Traffic Flow on Two-Lane Roads”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 134, 361- 369
- [4] Dey P. P. and Chandra S. (2009) “Desired Time Gap and Time Headway in Steady-State Car-Following on Two-Lane Roads”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 135, 687-693
- [5] Meng P.-M., Dai S.-Q., Dong L.-Y., Zhang J.-F. (2007) “Cellular Automaton model for mixed traffic flow with motorcycles”, Physica A 380 (2007) 470-480
- [6] Lan L. W., Chiou Y.-C., Lin Z.-S. and Hsu C.-C. (2009) “A refined cellular automation model to rectify impractical vehicular movement behavior”, Physica A 388, 3917-3930
- [7] Lan L. W., Chiou Y.-C., Lin Z.-S. and Hsu C.-C. (2010) “Cellular automaton simulations for mixed traffic with erratic motorcycles’ behaviours”, Physica A 389, 2077-2089
- [8] Abul-Magd A. Y. (2007) “Modeling highway-traffic headway distributions using superstatistics”, Physical Review E, Vol. 76, 057101-1-057101-4
- [9] Appert-Rolland C. (2009) “Experimental study of short-range interactions in vehicular traffic”, Physical Review E, Vol. 80, 036102-1-036102-5
- [10] Lee T.-C. (2007) “An Agent-Based Model to Simulate Motorcycle Behaviour in Mixed Traffic Flow”, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Membership of Imperial College London, 1-227
- [11] Minh C. C., Sano K. and Matsumoto S. (2010) “Maneuvers of motorcycles in queues at signalized intersections”, Journal of Advanced Transportation, 10.1002, 1-15
- [12] Minh C. C., Sano K. and Matsumoto S. (2005) “The Speed, Flow and Headway Analyses of Motorcycle Traffic”, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 1496-1508

- [13] Neubert L., Santen L., Schadschneider A. and Schreckenberg M. (1999), ‘‘Single-vehicle data of highway traffic: A statistical analysis’’, *Physical Review E*, Vol. 60, Num. 6, 6480-6490.
- [14] T. Oketch (2003) ‘‘Modeled Performance Characteristics of Heterogeneous Traffic Streams Containing Non-Motorized Vehicles’’, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM
- [15] Nikias, V., Vlahogianni, E., Lee, T.-C. & Golias, J. (2012), Determinants of Powered Two-Wheelers Virtual Lane Width in Urban Arterials, presented at the 15<sup>th</sup> International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2012), Anchorage, USA
- [16] Lee T.-C., Polak J.W. and Bell M.G.H. (2008) ‘‘Trajectory Extractor User Manual’’, Version 1.0, 1-15
- [17] Washington S., Karlaftis M., Mannering F. (2010), ‘‘Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Second Edition’’, CRC Press.