

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ  
ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΥ  
ΔΙΑΜΕΣΟΥ  
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ  
ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

Β. Ψαριανός  
Αν. Καθηγητής

Σ. Μαυρομάτης  
Δρ. Μηχανικός

Αθήνα 2002

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<b>Εισαγωγή</b>	1
<b>1.</b>	<b>Προτεινόμενη Προσέγγιση της Δυναμικής και Κινηματικής Διαξονικών Οχημάτων</b>	9
1.1	Μοντέλα Προσομοίωσης του Οχήματος.....	9
1.2	Παραδοχές.....	11
1.3	Σύστημα Αναφοράς.....	12
1.4	Εξισώσεις Κίνησης Διαξονικού Οχήματος (επιβατηγό).....	13
1.4.1	Εξισώσεις επιταχυνόμενης κίνησης.....	13
1.4.2	Εξισώσεις επιβραδυνόμενης κίνησης.....	16
1.4.3	Μοντέλο τετράτροχου.....	17
1.5	Εξισώσεις Κίνησης Διαξονικού Φορτηγού Οχήματος.....	18
1.6	Εισαγωγή Ιπποδύναμης Οχήματος στις Εξισώσεις Κίνησης.....	19
1.7	Μεθοδολογία Προσδιορισμού Μεταβολής της Ταχύτητας Λόγω Γεωμετρίας του Οδικού Δικτύου.....	19
1.8	Επιβεβαίωση του Μοντέλου Προσδιορισμού Μεταβολής της Ταχύτητας Διαξονικού Οχήματος.....	22
1.9	Μεθοδολογία Προσδιορισμού Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας.....	22
<b>2.</b>	<b>Διερεύνηση Ασφάλειας στην Κίνηση Επιβατηγού Οχήματος</b>	24
2.1	Γενικά.....	24
2.2	Έλεγχος της Επάρκειας των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ στον Προσδιορισμό της Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας.....	25
<b>3.</b>	<b>Διερεύνηση Ασφάλειας στην Κίνηση Διαξονικού Φορτηγού</b>	28
3.1	Γενικά.....	28
3.2	Έλεγχος της Επάρκειας των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ στον Προσδιορισμό της Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας Διαξονικών Φορτηγών.....	29
<b>4.</b>	<b>Διερεύνηση Λειτουργικότητας Οδού σε Αυξημένες Κλίσεις</b>	35
4.1	Γενικά.....	35
4.2	Μεταβολή στην Ταχύτητα Διαξονικών Φορτηγών.....	35
4.2.1	Μεταβολή στην ταχύτητα αφόρτων διαξονικών φορτηγών.....	36
4.2.2	Μεταβολή στην ταχύτητα φορτωμένων διαξονικών φορτηγών.....	38
4.3	Εφαρμογή του Μοντέλου στην Αξιολόγηση της Λειτουργικότητας μιας Τρισδιάστατης Χάραξης.....	39
	<b>Βιβλιογραφία</b>	43
<b>Π<sub>A</sub></b>	<b>Συμβολισμοί</b>	46

## 1. Εισαγωγή

Το κύριο μέλημα στο σχεδιασμό ενός οδικού έργου εκτός από τους οικονομικούς, λειτουργικούς, περιβαλλοντικούς και αισθητικούς περιορισμούς, είναι η ασφάλεια των κινούμενων οχημάτων σε αυτό. Δυστυχώς, η καθημερινή πρακτική διαψεύδει αυτήν την προφανή απαίτηση, δεδομένου ότι τα ατυχήματα αποτελούν πλέον ένα σύννηθες φαινόμενο.

Αναφορικά με ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των τροχαίων ατυχημάτων, διάφορες έρευνες που έγιναν έδειξαν ότι οι οδοί δύο λωρίδων κυκλοφορίας κατέχουν τα υψηλότερα ποσοστά εμφάνισης ατυχημάτων από οποιοδήποτε άλλη κατηγορία οδού και ότι ο συνολικός αριθμός των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων στις παραπάνω κατηγορίες οδών, αγγίζει ποσοστό μεταξύ του 60% και 70% σε μετρήσεις που έλαβαν χώρα σε Ευρώπη και Αμερική [1]. Ταυτόχρονα διαπιστώθηκε ότι τουλάχιστον τα μισά θανατηφόρα τροχαία ατυχήματα, ή στην καλύτερη περίπτωση ένα ποσοστό 30% αυτών λαμβάνουν χώρα σε καμπύλα οδικά τμήματα, κυρίως λόγω του ότι η ταχύτητα των οχημάτων την χρονική στιγμή της σύγκρουσης υπερβαίνει την κρίσιμη ταχύτητα της καμπύλης, με αποτέλεσμα την απώλεια ελέγχου εκ μέρους των οδηγών.

Σύμφωνα με τους Brinkman et al. (1984) [2], οι οδοί δύο λωρίδων κυκλοφορίας παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους δείκτες ατυχημάτων ειδικότερα στις περιπτώσεις εμπλοκής ενός μόνο οχήματος. Ταυτόχρονα, λόγω της διαφοροποίησης στον τύπο των κυκλοφορούντων οχημάτων, οι οδοί δύο λωρίδων κυκλοφορίας παρουσιάζουν και τα υψηλότερα ποσοστά κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Όλες σχεδόν οι περιπτώσεις εκτροπής οχημάτων αντιμετωπίζονται θεωρώντας υπεύθυνο τον ίδιο τον οδηγό ή στην καλύτερη περίπτωση θεωρώντας ότι ευθύνεται η ανεπάρκεια του οδοστρώματος αλλά σπάνια η ανεπάρκεια της γεωμετρίας της οδού.

Οι περισσότεροι κανονισμοί χάραξης οδών [3], [4], [5], [6] έχουν προσεγγίσει εμπειρικά την δυναμική του οχήματος απλοποιώντας το πρόβλημα σε μεγάλο βαθμό και ο προσδιορισμός κρίσιμων γεωμετρικών μεγεθών όπως για παράδειγμα η ακτίνα της οριζόντιας και η ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης γίνονται με βάση την συμπεριφορά του οχήματος κατά την πέδηση. Συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός του πρώτου μεγέθους γίνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ισχυρό απόθεμα πρόσφυσης (90% περίπου της μέγιστης επιτρεπόμενης) στην επιτόχια διεύθυνση, διαθέσιμη σε περίπτωση πέδησης ή ανεπιθύμητων ελιγμών. Αντίστοιχα, ο προσδιορισμός του δεύτερου μεγέθους προϋποθέτει τον προσδιορισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας μέχρι πλήρους στάσης.

Ένα άλλο επίσης ισχυρό μειονέκτημα των ίδιων κανονισμών είναι ότι στον προσδιορισμό των κρίσιμων γεωμετρικών μεγεθών αγνοείται η δυναμική των

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

βαρέων οχημάτων δεδομένου ότι σαν όχημα σχεδιασμού θεωρείται το επιβατηγό όχημα.

Στην οδοποιία σήμερα η υφιστάμενη προσέγγιση της δυναμικής του οχήματος εμπεριέχει τις εξής απλοποιήσεις :

- το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο (σημειακή μάζα), με αποτέλεσμα παράμετροι όπως τύπος οχήματος, μάζα, θέση κέντρου βάρους αγνοούνται ενώ επίσης δεν υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ κινητήριου και μη κινητήριου άξονα
- η κίνηση του οχήματος εξετάζεται ανεξάρτητα στην επιτροχία και στην εγκάρσια στην τροχιά διεύθυνση και δεν περιλαμβάνονται οι περιορισμοί εκείνοι με τους οποίους οι συνιστώσες της εξ'επαφής δύναμης αλληλοδεσμεύονται.

Έτσι, κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλη τροχιά, στην εγκάρσια διεύθυνση η φυγόκεντρος δύναμη εξισορροπείται από την συνιστώσα του βάρους του και την αναπτυσσόμενη πρόσφυση μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος λαμβάνοντας όμως ποσοστό της μέγιστης. Από την ισορροπία αυτή προσδιορίζεται και η ελάχιστη οριζόντια ακτίνα. Η απλοποίηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα οι προσδιορισθείσες ελάχιστες ακτίνες να είναι ανεξάρτητες :

- της μηκοτομής της οδού
- των δυναμικών χαρακτηριστικών του οχήματος
- της πραγματικής απαίτησης σε εγκάρσια πρόσφυση του οχήματος ως προς το οδόστρωμα δεδομένου ότι το ποσοστό της μέγιστης που χρησιμοποιείται έχει προκύψει εμπειρικά

Στους Ελληνικούς κανονισμούς χάραξης οδών ΟΜΟΕ-Χ 95 [6], επιχειρείται ποσοτική αξιολόγηση της σχέσης που συνδέει την μελέτη οδού με στοιχεία που αφορούν τη δυναμική κίνησης των οχημάτων καθώς και την πρόκληση ατυχημάτων, η οποία εκφράζεται με τη μορφή τριών Κριτηρίων Ασφαλείας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας ΙΙΙ ελέγχεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ της απαιτούμενης πρόσφυσης του οδοστρώματος και της διατιθέμενης σε συνάρτηση με την αναμενόμενη ταχύτητα των οχημάτων σε καμπύλα οδικά τμήματα. Η συσχέτιση αυτή στην ουσία αξιοποιεί την υφιστάμενη προσέγγιση της δυναμικής του οχήματος αλλά δεν παύει να δεσμεύεται από τις παραπάνω απλοποιήσεις.

Μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση της πραγματικότητας επιχειρήθηκε από τους MacAdam et al. [7], οι οποίοι προσομοίωσαν την κίνηση του οχήματος με δίτροχο το οποίο είχε μήκος αλλά όχι πλάτος. Παρόλο που οι εγκάρσιες συνιστώσες της εξ'επαφής δύναμης (μεταξύ τροχών και οδοστρώματος) δεν είναι ίσες, οι συντελεστές εγκάρσιας πρόσφυσης είναι ίσοι μεταξύ τους και με το συντελεστή του μοντέλου του υλικού σημείου.

Στη συνέχεια ο Κονταράτος [8] ανέπτυξε την μορφή του εμπλουτισμένου δίτροχου το οποίο διαφέρει από το προηγούμενο μοντέλο στο ότι το κέντρο μάζας του βρίσκεται σε ύψος  $h$  από την επιφάνεια του εδάφους και στο ότι γίνεται διάκριση μεταξύ κινητήριων και μη κινητήριων τροχών του μοντέλου.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσομοίωση του οχήματος με τετράτροχο είναι η πιο ρεαλιστική προσέγγιση δεδομένου ότι κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλη, δεν διαφέρουν μόνο οι εξ'επαφής δυνάμεις στον κινητήριο και μη κινητήριο άξονα αλλά και οι εξ'επαφής δυνάμεις στους τροχούς του ίδιου άξονα λόγω της ύπαρξης μεταβολής στην κατανομή φορτίου.

Μοντέλα τετράτροχου χρησιμοποιούν κυρίως οι κατασκευαστές οχημάτων όπου η ύπαρξη περισσότερων βαθμών ελευθερίας επιτρέπει την εξέταση όχι μόνο της εγκάρσιας στην κίνηση διεύθυνση αλλά και των κάθετων στον άξονα ταλαντώσεων. Τα μοντέλα αυτά αν και προσδιορίζουν με ακριβή τρόπο τις κατανομές των δυνάμεων, υστερούν στην προσαρμογή του μοντέλου πάνω στην πραγματική επιφάνεια κίνησης όπου συνυπάρχουν διαφορετικά γεωμετρικά στοιχεία (οριζόντια ακτίνα, κλίση, επίκλιση). Αυτό συμβαίνει διότι οι κατασκευαστές οχημάτων προσανατολίζονται κυρίως στον προσδιορισμό οριακών τιμών αντοχής των προτεινόμενων μοντέλων οχημάτων (πχ. μέγιστη ταχύτητα ή μέγιστη κλίση ανάβασης).

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η διατύπωση σχέσεων που αλληλοδεσμεύουν τα στοιχεία χάραξης (οριζόντια ακτίνα και κλίση στη μηκοτομή) καθώς και η διερεύνηση της ασφάλειας και λειτουργικότητας που παρέχουν οι σημερινοί κανονισμοί χάραξης οδών μέσω της εξέτασης της κίνησης τόσο επιβατηγών οχημάτων όσο και διαξονικών φορτηγών.

Τρεις είναι οι καθοριστικοί παράγοντες επιρροής της ασφάλειας μιας οδού :

- η γεωμετρία του
- το όχημα κίνησης σε αυτό
- ο χρήστης

Μεταξύ των παραγόντων αυτών υπάρχει σχέση αλληλεξάρτησης και προκειμένου ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός κυκλοφοριακού έργου να θεωρηθεί επιτυχής, απαιτείται η επιτυχής σύμπραξη και των τριών. Ενώ όμως η γεωμετρία ενός οδικού δικτύου αλλά και το όχημα κίνησης σε αυτό είναι μεταβλητές προβλέψιμες στις οποίες η παρέμβαση τουλάχιστον σε εμπειρικό επίπεδο δύναται να δώσει θετικά αποτελέσματα, η συμπεριφορά του χρήστη (οδηγού) είναι απρόβλεπτη και μόνο ως στοχαστική μεταβλητή μπορεί να προσομοιωθεί. Ως εκ τούτου η μελέτη της επιβάλλει την συνδρομή και άλλων επιστημών (πχ. της ψυχολογίας).

Η παρούσα μελέτη όσον αφορά στην εξαγωγή κρίσιμων μεγεθών που προέρχονται τόσο από το οδικό περιβάλλον όσο και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, περιορίζεται στην ανάλυση και μελέτη των δύο πρώτων μεταβλητών και κατά συνέπεια η επιρροή στην ασφάλεια ενός οδικού τμήματος λόγω της συμπεριφοράς του οδηγού σε αυτό θεωρείται βέλτιστη. Τα επί μέρους σημεία της αλληλεπίδρασης όχημα – οδός που εξετάστηκαν περιγράφονται στις υποπαραγράφους που ακολουθούν.

- Η προσομοίωση του οχήματος που προτείνεται μέσα από την ανάλυση των επόμενων κεφαλαίων αφορά τετράτροχο δεδομένου ότι το μοντέλο του εμπλουτισμένου δίτροχου [8] διευρύνεται με την επιρροή της μεταβολής στην κατανομή φορτίου κατά την κίνηση σε καμπύλη τροχιά, η

οποία λαμβάνει χώρα στην εγκάρσια διεύθυνση. Η συσχέτιση των δύο μοντέλων στην περίπτωση οριζόντιας καμπύλης στην οριζοντιογραφία και σταθερής κλίσης στην μηκοτομή (που αποτελεί και τον πιο κρίσιμο συνδυασμό [8]), έδειξε ότι το μοντέλο του τετράτροχου υπερτερεί έναντι αυτού του εμπλουτισμένου δίτροχου αφού όπως αποδεικνύεται από σχετική έρευνα [16] η επιρροή της μεταβολής στην κατανομή φορτίου είναι καθοριστική.

- Σύμφωνα με τους υφιστάμενους κανονισμούς της οδοποιίας, η ταχύτητα μελέτης αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο φάσμα κλίσεων. Στην ανάλυση των επόμενων κεφαλαίων εισάγεται η έννοια της διατιθέμενης ιπποδύναμης του οχήματος (δηλαδή εκείνο το ποσοστό ιπποδύναμης το οποίο συνεπάγεται την οδήγηση του οχήματος σε συνθήκες οριακής ολίσθησης) και αποδεικνύεται ότι ο περιορισμός της κλίσης σε ένα μέγιστο όριο ως προς την ταχύτητα μελέτης, πέρα από ομοιογένεια στην κυκλοφοριακή ροή, είναι επιβεβλημένος για την ασφάλεια των οχημάτων (ακόμα και των επιβατηγών) κατά την κίνησή τους σε καμπύλη τροχιά. Επιπλέον αποδεικνύεται ότι η επιλογή της κατά μήκος κλίσης δεσμεύεται από πρόσθετους περιορισμούς δεδομένου ότι ορισμένοι τύποι οχημάτων δεν δύνανται να διατηρήσουν την ταχύτητα μελέτης σταθερή.
- Το κριτήριο κίνησης ενός οχήματος με ασφάλεια επαληθεύεται όταν δεν παρατηρείται ολίσθηση τόσο στην διαμήκη όσο και στην εγκάρσια διεύθυνση της τροχιάς του και όταν το όχημα κινείται με την καθοριστική ταχύτητα που έχει επιλεγεί στην μελέτη. Στην εργασία αυτή προσδιορίζεται ποια είναι αυτή η τιμή της μέγιστης επιτρεπόμενης σταθερής ταχύτητας (η οποία ορίζεται ως *ταχύτητα ασφαλείας* και προφανώς αναφέρεται σε μηδενική επιτάχυνση) για πλήθος συνδυασμών ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας και κλίσης.

Κατά συνέπεια, η συσχέτιση των τιμών ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών που προκύπτουν από την προσδιορισθείσα αυτή ταχύτητα (ταχύτητα ασφαλείας) με τα αντίστοιχα μεγέθη που αφορούν στην ταχύτητα μελέτης και υιοθετούνται από τους υφιστάμενους κανονισμούς χάραξης οδών, οδηγεί μοιραία στην εξαίρεση των κρίσιμων συνδυασμών που προκύπτουν. Πρέπει να τονισθεί ότι τα μεγέθη αυτά, πέρα από γεωμετρικές τιμές, αφορούν τόσο σε τιμές διαθέσιμης πρόσφυσης οδοστρώματος όσο και στις συνθήκες φόρτωσης των ίδιων των οχημάτων (φορτηγά).

- Κατά την μελέτη του επιπέδου εξυπηρέτησης ενός οδικού τμήματος ως προς την μηκοτομή του, χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος προσδιορισμού της μεταβολής της ταχύτητας με το διανυόμενο διάστημα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η διερεύνηση της κίνησης οποιουδήποτε οχήματος σχεδιασμού σε οποιοδήποτε συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης. Δεδομένου ότι η γεωμετρία ενός οδικού δικτύου αλλά και το όχημα κίνησης σε αυτό είναι μεταβλητές προβλέψιμες στις οποίες η παρέμβαση τουλάχιστον σε εμπειρικό επίπεδο δύναται να δώσει θετικά αποτελέσματα ενώ η συμπεριφορά του χρήστη (οδηγού) είναι απρόβλεπτη, και μόνο ως στοχαστική μεταβλητή μπορεί να προσομοιωθεί, διερευνήθηκε επιπλέον μια αυθαίρετη τιμή εκμετάλλευσης της διαθέσιμης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

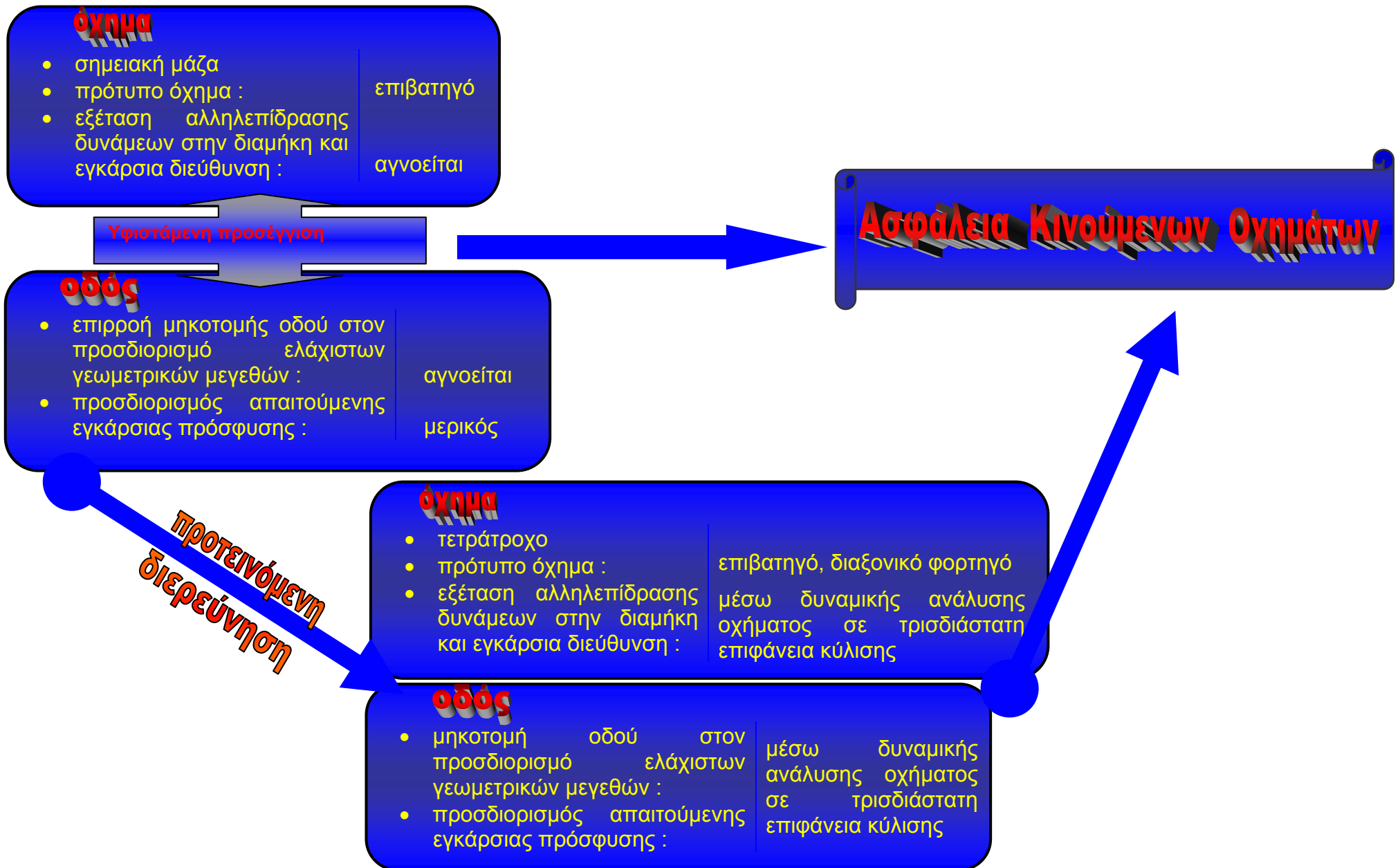
---

ιπποδύναμης του οχήματος (με άλλα λόγια ένας συντελεστής ασφαλείας για την αποφυγή κρίσιμων καταστάσεων) και η οποία εκφράζεται σαν ποσοστό επί της βέλτιστης ( $effic=80\%$ ). Το ποσοστό αυτό, [αλλά και η πλήρης εκμετάλλευση της διαθέσιμης ιπποδύναμης ( $effic=100\%$ )], μετά την επίλυση της προκύπτουσας διαφορικής εξίσωσης, χρησιμοποιήθηκε στον προσδιορισμό της μεταβολής της ταχύτητας με το διανυόμενο διάστημα κατά την διερεύνηση της κίνησης των υπό εξέταση οχημάτων σε συνδυασμούς οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης. Το κύριο πλεονέκτημα της υπόψη μεθοδολογίας είναι ότι τίθεται εκ των προτέρων γνωστό το πραγματικό επίπεδο εξυπηρέτησής μιας οδού συμβάλλοντας αποφασιστικά με τον τρόπο αυτό στην βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής.

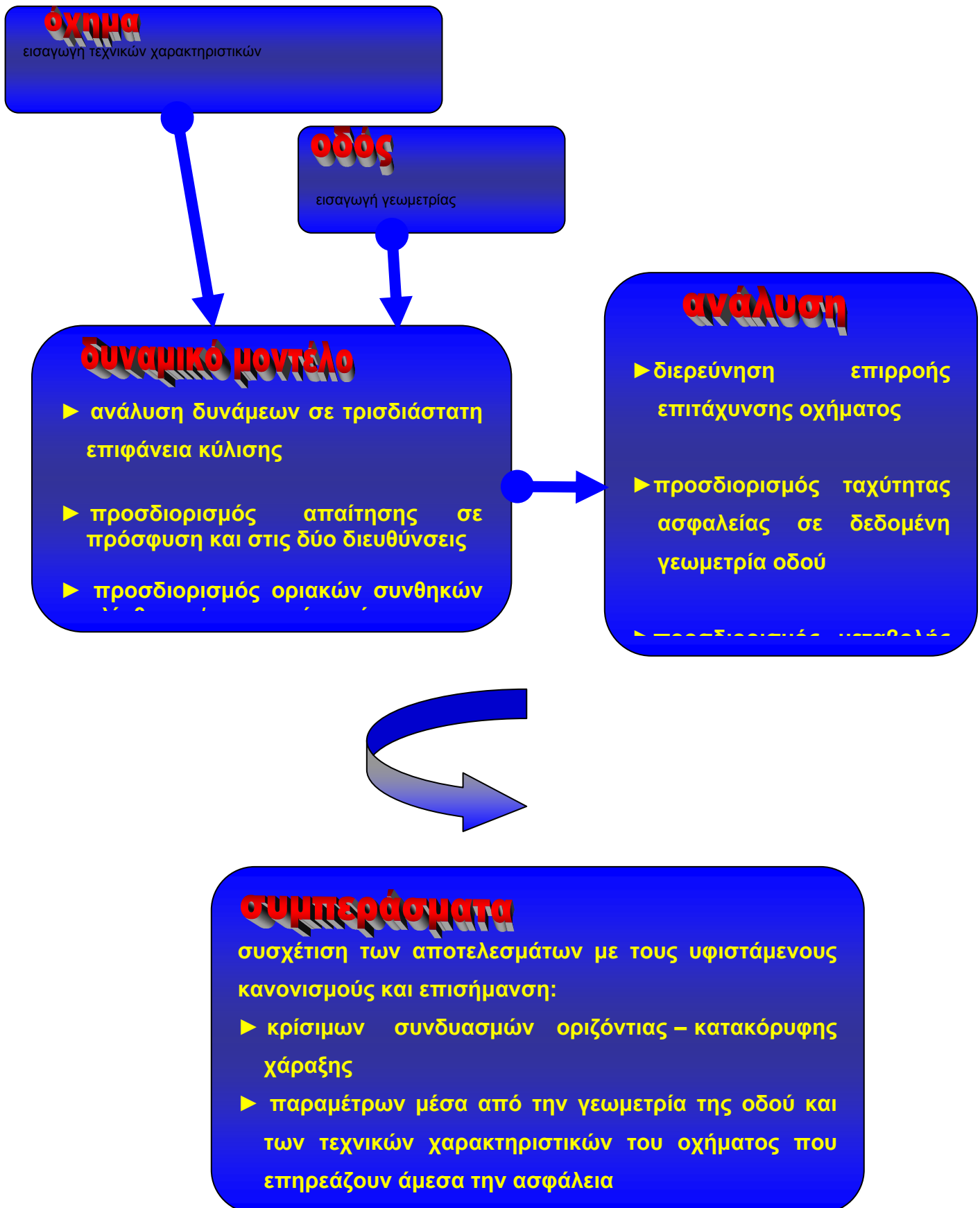
Μέσα από το διάγραμμα ροής του Σχήματος 1 που ακολουθεί φαίνεται η προτεινόμενη διερεύνηση που θα αναπτυχθεί στα κεφάλαια που ακολουθούν, ενώ η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί παρατίθεται στο Σχήμα 2.







Σχήμα 1. Προτεινόμενη διερεύνηση.



Σχήμα 2. Μεθοδολογία της παρούσας μελέτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

#### 1.1 Μοντέλα Προσομοίωσης του Οχήματος

Στην κλασσική οδοποιία το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο και έχει ένα βαθμό ελευθερίας. Στην εγκάρσια διεύθυνση ασκείται η φυγόκεντρος δύναμη που εξισορροπείται από την συνιστώσα του βάρους λόγω επίκλισης και την εγκάρσια τριβή. Έτσι η δύναμη εγκάρσιας πρόσφυσης έχει μέτρο:

$$S = \frac{V^2}{R} - ge \quad (1.1)$$

όπου :

S : εγκάρσια δύναμη (N)

V : ταχύτητα (m/sec)

R : οριζόντια ακτίνα (m)

g : επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec<sup>2</sup>)

e : επίκλιση (%/%)

Αν και η εγκυρότητα του μοντέλου που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση προβλημάτισε στο παρελθόν αρκετούς μελετητές, [9], [10] εντούτοις τουλάχιστον ως τα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας, η έρευνα δεν είχε προχωρήσει στο βαθμό που να καθιστά την εισαγωγή της κατά μήκος κλίσης αναγκαία στον προσδιορισμό της ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών.

Οι Macadam et al. (1985) [7] πρώτοι προσομοίωσαν το εξεταζόμενο όχημα σαν δίτροχο το οποίο είχε μήκος όχι όμως πλάτος. Και πάλι ο βαθμός ελευθερίας ήταν ένα και παρότι οι δυνάμεις εγκάρσιας στατικής τριβής δεν ήταν ίσες μεταξύ τους, οι συντελεστές τους στον εμπρόσθιο και οπίσθιο τροχό θεωρήθηκαν ισοδύναμοι με αυτόν του υλικού σημείου.

Ο Κονταράτος (1990) [8], λαμβάνοντας υπόψη του τις προαναφερθείσες απλοποιήσεις ανέπτυξε το μοντέλο του εμπλουτισμένου δίτροχου όπου μελέτησε το όχημα σε όλες τις διευθύνσεις, συμπεριέλαβε τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν σε αυτό, συμπεριέλαβε στο μοντέλο του δίτροχου το γεγονός ότι το κέντρο βάρους του βρίσκεται σε ύψος h από την επιφάνεια κύλισης και έκανε διάκριση μεταξύ κινητήριου - μη κινητήριου τροχού, με αποτέλεσμα να προκύψουν διαφορετικοί συντελεστές εγκάρσιας στατικής τριβής και διαφορετικές επιτρόχιες δυνάμεις. Μελέτησε στη συνέχεια την κίνηση του οχήματος υπό την επίδραση προωθητικής ροπής (driving mode) - σε αντίθεση με την κλασσική οδοποιία- και συνδυάζοντας τα στοιχεία της μηκοτομής με αυτά της οριζοντιογραφίας κατέληξε στον υπολογισμό ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών. Έδειξε έτσι ότι οι κανονισμοί χάραξης οδικών δικτύων άλλοτε υποσχεδιάζουν και άλλοτε υπερσχεδιάζουν.

Η παραπάνω έρευνα, αν και έδειξε ότι η εισαγωγή της κατά μήκος κλίσης δημιουργεί περιορισμούς στον προσδιορισμό διαφόρων μεγεθών σχεδιασμού (πχ. ταχύτητα, οριζόντια ακτίνα), αλλά και αντίστροφα, εντούτοις προέκυψαν τρία επιπρόσθετα ζητήματα προς διερεύνηση :

- Η ταχύτητα μελέτης ενός οδικού δικτύου ορίζει συγκεκριμένο φάσμα κλίσεων σύμφωνα με τους κανονισμούς της οδοποιίας (πχ. ΟΜΟΕ-Χ 2001). Ποια οχήματα όμως αφορά αυτή η επιλογή; Μήπως πρέπει να εισαχθεί πρόσθετος περιορισμός στην επιλογή της κλίσης δεδομένου ότι κάποια οχήματα ίσως να μην δύνανται να διατηρήσουν την ταχύτητα μελέτης σταθερή; Και αν ναι η οριζοντιογραφία ενός οδικού τμήματος σε ποιο βαθμό επηρεάζει αυτήν την επιλογή;
- Η τροχοπέδηση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί κρίσιμο ελιγμό ως προς την ασφάλεια. Κατά πόσο όμως η επιρροή της είναι κρίσιμη στον προσδιορισμό ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών και από ποια τιμή κατά μήκος κλίσης είναι απαραίτητη ώστε η ταχύτητα του οχήματος να διατηρείται σταθερή;
- Η μεταβολή κατανομής φορτίου, η οποία λαμβάνει χώρα λόγω της αλληλεπίδρασης της φυγοκέντρου με την εγκάρσια δύναμη πρόσφυσης, και η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να ξεπεράσει το 50% του φορτίου ανάληψης του τροχού, [11], [12] δημιουργεί κρίσιμες καταστάσεις κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλη τροχιά;

Ο στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επιρροής τόσο της κατά μήκος κλίσης όσο και των δυναμικών χαρακτηριστικών των διαξονικών οχημάτων στην ασφάλεια κίνησης τους. Για το σκοπό αυτό θα εξετασθεί η κίνηση χαρακτηριστικών τύπων διαξονικών οχημάτων τόσο κατά την εξάσκηση προωθητικής ροπής, όσο και κατά την τροχοπέδησή τους σε τρισδιάστατη επιφάνεια κύλισης. Η μελέτη της κίνησης θα γίνει σε όλους τους τροχούς (κινητήριους - μη κινητήριους αλλά και εσωτερικούς – εξωτερικούς) αφού θα ληφθεί υπόψη και η μετατόπιση φορτίου λόγω των αναρτήσεων.

Στα εδάφια που ακολουθούν και μέσα από τις εξισώσεις που διέπουν την κίνηση των διαξονικών οχημάτων θα αναπτυχθούν μεθοδολογίες προσδιορισμού της μέγιστης σταθερής ταχύτητας (ταχύτητα ασφαλείας) και της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας.

Στην πρώτη περίπτωση θα διερευνηθεί επιπλέον η μεταβολή της ταχύτητας με βάση την διατιθέμενη ιπποδύναμη του οχήματος σε δεδομένη γεωμετρία και πρόσφυση οδοστρώματος.

Ο προσδιορισμός της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας περιλαμβάνει συσχέτιση με τις υφιστάμενες τιμές των κανονισμών καθώς και διερεύνηση των μεταβλητών εκείνων που αυξάνουν την τιμή της υποβαθμίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια.

## 1.2 Παραδοχές

Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η διατύπωση σχέσεων που αλληλοδεσμεύουν την επιλογή των στοιχείων χάραξης σε μια θεωρητική τρισδιάστατη επιφάνεια. Προκειμένου όμως να είναι δυνατή η συσχέτιση μεταξύ των υφιστάμενων γεωμετρικών μεγεθών και αυτών που θα προκύψουν από την ανάλυση που θα ακολουθήσει, επιβάλλεται τα δεύτερα να έχουν τη μορφή τιμών σχεδιασμού. Ως εκ τούτου το όχημα θα εξεταστεί σε συνθήκες οριακής ολίσθησης με προσδιορισμό των συνθηκών ολίσθησης στον πρώτο τροχό. Η υιοθέτηση και περαιτέρω επεξεργασία των τιμών ολίσθησης του πρώτου τροχού δεν σημαίνει αναγκαστικά και καταστρατήγηση της ασφάλειας στην κίνησή του, αλλά τη μετάβαση σε μια ασταθή κατάσταση η οποία προφανώς είναι ανεπιθύμητη.

Επιπλέον, τυχαίες μικρομετακινήσεις του οχήματος λόγω ανωμαλιών του οδοστρώματος, αν και η επιρροή τους σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αξιοσημείωτη [13], δεν ενδιαφέρουν.

Το ενδιαφέρον αυτής της εργασίας επικεντρώνεται στο σύστημα όχημα - οδός. Κατά συνέπεια αστάθειες στην κίνηση λόγω της προσπάθειας του οδηγού να ακολουθήσει την προδιαγραφόμενη τροχιά δεν θα ληφθούν υπόψη.

Το όχημα θεωρείται στερεό σώμα, άκαμπτο, χωρίς κατακόρυφες παραμορφώσεις, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξέταση της κίνησής του σαν σύνολο κάτω από την επίδραση των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν σε αυτό.

Η ανάπτυξη σχέσεων που αφορούν στην μεταβολή της κατανομής φορτίου θα γίνει με την θεώρηση ότι ο άξονας ανατροπής είναι παράλληλος με την επιφάνεια του οδοστρώματος για τα φορτηγά οχήματα και ότι η προωθητική και επιβραδυντική δύναμη ανά άξονα ισοκατανέμεται στους αντίστοιχους τροχούς (γεγονός που δεν απέχει από την πραγματικότητα).

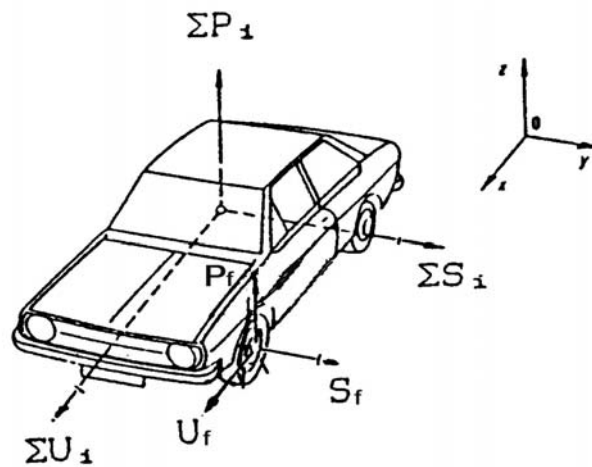
Στις εξισώσεις κίνησης που θα ακολουθήσουν, η προσαύξηση της μάζας λόγω της αδράνειας των περιστρεφόμενων τμημάτων του οχήματος, η οποία κυμαίνεται κοντά 7% [14], λόγω του μικρού μεγέθους της δεν ελήφθη υπόψη.

Από τις παραπάνω παραδοχές προκύπτει ότι για την συγκεκριμένη εργασία το δυναμικό μοντέλο κίνησης εξετάζεται σε τροχιά σταθερής οριζόντιας ακτίνας, κλίσης και επίκλισης, στην οποία διερευνάται η συμβατότητα των στοιχείων χάραξης.

### 1.3 Σύστημα Αναφοράς

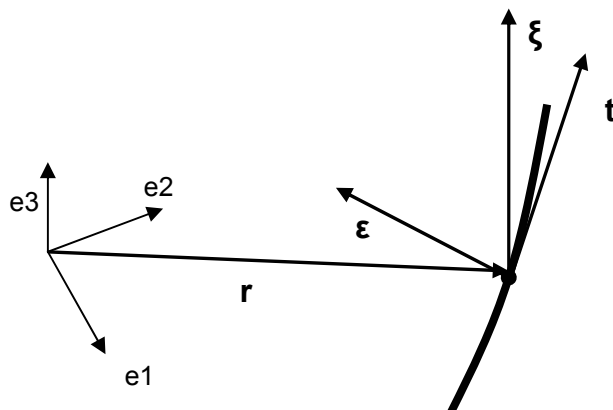
Σαν σύστημα αναφοράς επιλέχθηκε το κινούμενο όχημα (Σχήμα 1.1). Το όχημα όπως αναφέρθηκε παραπάνω εξαναγκάζεται να κινηθεί πάνω στον άξονα του οδοστρώματος.

Η επιφάνεια αυτή περιγράφεται μαθηματικά ως μια ευθειογενής τρισδιάστατη επιφάνεια που ανήκει στις κωνικές επιφάνειες της οποίας οδηγός είναι ο άξονας της οδού [15]. Δημιουργείται από την κίνηση ενός συνοδεύοντος τρισκελούς, το οποίο ορίζει μια ορθοκανονική βάση και αποτελείται από τα διανύσματα  $\underline{t}$ ,  $\underline{\varepsilon}$ ,  $\underline{\xi}$  ( $\underline{t}$ : εφαπτόμενο στον οδηγό της επιφάνειας κύλισης,  $\underline{\varepsilon}$ : γενέτειρα της επιφάνειας και  $\underline{\xi}$ : κάθετο στην επιφάνεια κύλισης) (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.1. Σύστημα αξόνων [8].

Πάνω σε αυτό το σύστημα αναφοράς αναλύονται όλες οι εξωτερικές δυνάμεις αφού υποστούν τις απαραίτητες στροφές. Αυτές περιλαμβάνουν την κατά μήκος κλίση  $s$ , την επίκλιση  $e$  και την γωνία πλαγιοδρόμησης του οχήματος  $\beta$  [11].



Σχήμα 1.2. Το συνοδεύον τρισκελές μιας τριδιάστατης καμπύλης.

Η διεύθυνση της φυγόκεντρης δύναμης θεωρήθηκε παράλληλη με το οριζόντιο επίπεδο γεγονός που αγγίζει την πραγματικότητα, αφού στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι της τάξης ολίγων μοιρών ως προς το οριζόντιο επίπεδο, εξαιρουμένης εκείνης της περίπτωσης κατά την οποία η αρχική κλίση της κατακόρυφης καμπύλης διαφέρει από την τελική περισσότερο από 10% [15]. Η περίπτωση όμως αυτή πρέπει να θεωρείται κατά κανόνα οριακή.

## 1.4 Εξισώσεις Κίνησης Διαξονικού Οχήματος (επιβατηγό)

### 1.4.1 Εξισώσεις επιταχυνόμενης κίνησης

Στα Σχήματα (1.3), (1.4) και (1.5) φαίνονται οι εξωτερικές δυνάμεις που δρουν σε διαξονικό όχημα στα επίπεδα (X-Z), (X-Y) και (Z-Y) αντίστοιχα. Από τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο συγκεκριμένο τύπο οχήματος υπολογίζονται οι εξ'επαφής δυνάμεις οδοστρώματος – ελαστικού και στις τρεις διευθύνσεις [16]. Έτσι προκύπτουν οι σχέσεις :

$$m \frac{dv}{dt} = \sum U_i - \sum S_i \theta_i + \frac{mV^2}{R} \beta - mgs - A_d \quad (1.2)$$

$$m \frac{dv}{dt} \beta = \sum S_i + \sum U_i \theta_i - \frac{mV^2}{R} + mge \quad (1.3)$$

$$\sum P_i = mg + \frac{mV^2}{R} e - A_N \quad (1.4)$$

όπου :

$m$  : μάζα του οχήματος (kg)

$U_i$  : επιτρόχια πρόσφυση (i άξονας) (N)

$S_i$  : εγκάρσια δύναμη (N)

$P_i$  : δύναμη που αναλαμβάνει ο τροχός (i άξονας) (N)

$\theta_i$  : γωνία απόκλισης της διεύθυνσης των τροχών ως προς το διαμήκη άξονα (rad)

$V$  : ταχύτητα οχήματος (m/sec)

$R$  : ακτίνα οριζόντιου κυκλικού τόξου (m)

$\beta$  : γωνία πλαγιοδρόμησης οχήματος (rad)

$g$  : επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81m/sec<sup>2</sup>)

$s$  : κατά μήκος κλίση οδοστρώματος (%/100)

$A_d$  : αεροδυναμική αντίσταση (N)

$e$  : επίκλιση οδοστρώματος (%/100)

$A_N$  : δυναμική άνωση (N)

Οι κάθετες συνιστώσες της εξ'επαφής δύναμης είναι :

$$P_r = mg \left( \frac{l_f}{L} + \frac{hs}{L} \right) + m \frac{dv}{dt} \frac{h}{L} + m \frac{V^2 (e l_f - \beta h)}{RL} - A_N \frac{l_f}{L} + A_d \frac{h_d}{L} \quad (1.5)$$

$$P_f = mg \left( \frac{l_r}{L} - \frac{hs}{L} \right) - m \frac{dv}{dt} \frac{h}{L} + m \frac{V^2 (e l_r + \beta h)}{RL} - A_N \frac{l_r}{L} - A_d \frac{h_d}{L} \quad (1.6)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Οι εγκάρσιες συνιστώσες της στατικής τριβής ανά άξονα και για εμπροσθοκίνητο όχημα είναι :

$$S_r = \frac{m\left(\frac{V^2}{R} - ge + \frac{dv}{dt} \frac{l_r}{R}\right) l_f 2C_{ar}}{2C_{ar}L + \frac{dv}{dt} l_f m} \quad (1.7)$$

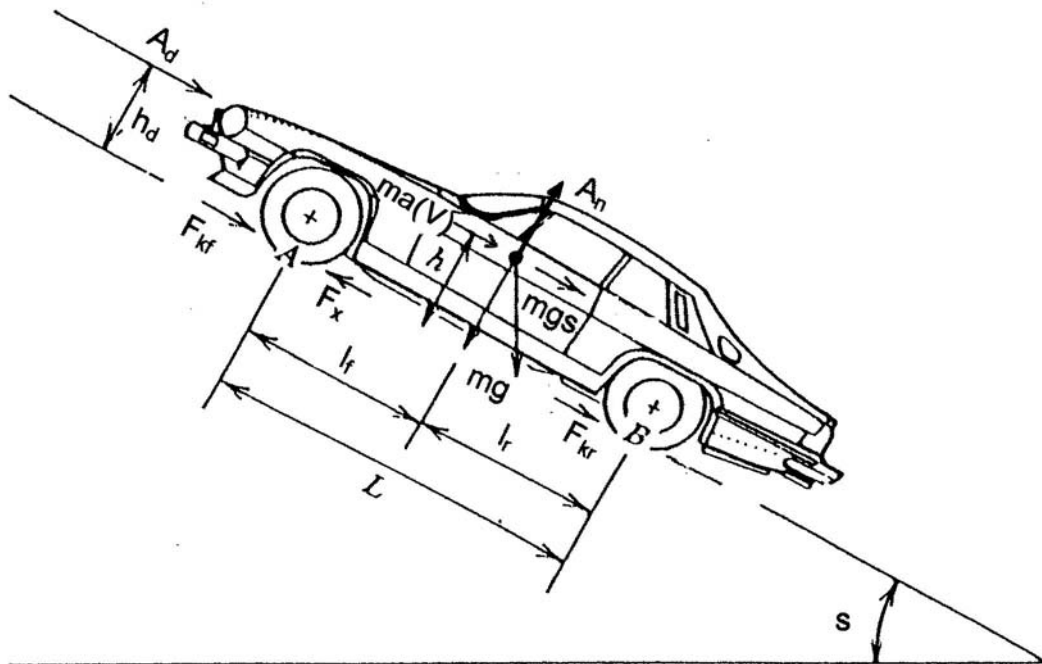
$$S_f = \frac{C_{af} \left[ -\left(B^2 + \frac{C}{2C_{af}} + 1\right) + \sqrt{\left(B^2 + \frac{C}{2C_{af}} + 1\right)^2 - 4\left(\frac{B}{C_{af}}(CB - A)\right)} \right]}{2B} \quad (1.8)$$

όπου :

$$A = m\left(\frac{V^2}{R} - ge + \frac{dv}{dt} \beta\right) \frac{l_r}{L} \quad (1.9)$$

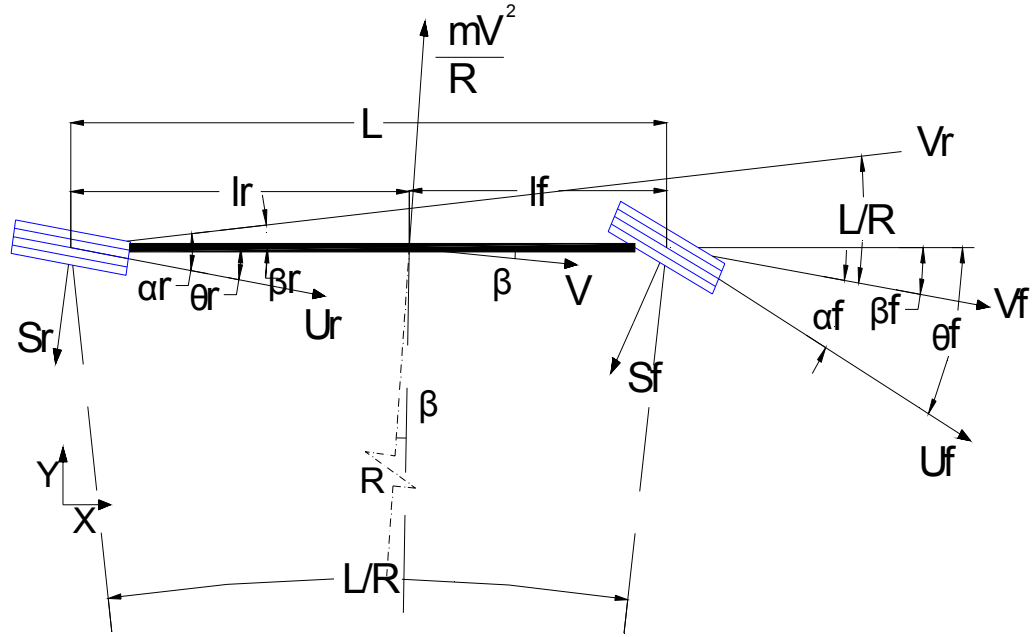
$$B = \frac{L}{R} - \frac{S_r}{2C_{ar}} \quad (1.10)$$

$$C = m \frac{dv}{dt} - m \frac{V^2}{R} \beta + mgs + A_d + F_{kr} \quad (1.11)$$



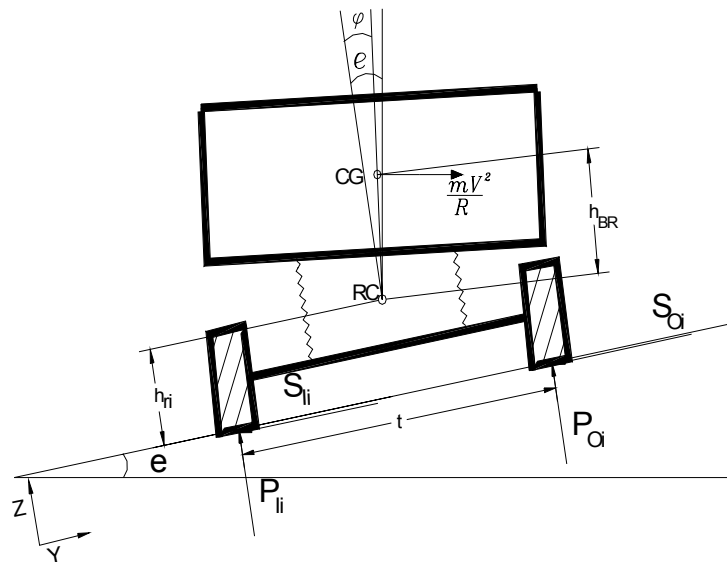
Σχήμα 1.3. Δυνάμεις που ασκούνται σε διαξονικό όχημα κατά την επιτάχυνσή [16].





Σημείωση :  $V_i$  ( $i=f,r$ ) : ταχύτητα στους τροχούς η οποία θεωρείται ίση με την ταχύτητα στο ΚΒ.

Σχήμα 1.4. Δυνάμεις επιτρόχιας και εγκάρσιας στατικής τριβής που αναπτύσσονται κατά την κίνηση οχήματος προσωμοιωμένο με δίδροχο σε καμπύλη κατά την επιτάχυνσή του [16].



Σχήμα 1.5. Γωνία περιστροφής “φ” ενός οχήματος κινούμενο σε καμπύλη [16].

Αντίστοιχα όταν οι οπίσθιοι τροχοί έχουν την κίνηση είναι :

$$S_r = \frac{m\left(\frac{V^2}{R} - ge + \frac{dv}{dt} \frac{l_r}{R}\right) I_f 2C_{ar}}{2C_{ar}L + \frac{dv}{dt} I_f m} \quad (1.12)$$

$$S_f = \frac{2C_{af} \left[ m\left(\frac{V^2}{R} - ge + \frac{dv}{dt} \beta\right) I_r + LF_{kf} \left(\frac{L}{R} - \frac{S_r}{2C_{ar}}\right) \right]}{2C_{af}L - F_{kf}L} \quad (1.13)$$

Ο υπολογισμός της επιτρόχιας πρόσφυσης για εμπροσθοκίνητο όχημα δίνει :

$$U_f = m \frac{dv}{dt} + S_f \theta_f - m \frac{V^2}{R} \beta + mgs + A_d + F_{kr} \quad (1.14)$$

$$U_r = -F_{kr} \quad (1.15)$$

Οι αντίστοιχες εξισώσεις επιτρόχιας πρόσφυσης για οπισθοκίνητο όχημα είναι :

$$U_r = m \frac{dv}{dt} + S_f \theta_f - m \frac{V^2}{R} \beta + mgs + A_d + F_{kf} \quad (1.16)$$

$$U_f = -F_{kf} \quad (1.17)$$

όπου (f : εμπρόσθιος άξονας, r : οπίσθιος άξονας) :

$U_i$  : επιτρόχια πρόσφυση (i άξονας) (N)

$S_i$  : εγκάρσια δύναμη (i άξονας) (N)

$P_i$  : δύναμη που αναλαμβάνει ο τροχός (i άξονας) (N)

m : μάζα του οχήματος (kgr)

$\theta_f$  : γωνία απόκλισης της διεύθυνσης των τροχών ως προς το διαμήκη άξονα (rad)

L : μήκος μεταξόνιου οχήματος (m)

V : ταχύτητα οχήματος (m/sec)

R : ακτίνα οριζόντιου κυκλικού τόξου (m)

$\beta$  : γωνία πλαγιοδρόμησης οχήματος (rad)

g : επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81m/sec<sup>2</sup>)

s : κατά μήκος κλίση οδοστρώματος (%/100)

e : επίκλιση οδοστρώματος (%/100)

$A_d$  : αεροδυναμική αντίσταση (N)

$A_N$  : δυναμική άνωση (N)

$F_{ki}$  : Δύναμη αντίστασης κύλισης εμπρόσθιου τροχού (i άξονας) (N)

$C_{ai}$  : συντελεστής ακαμψίας ελαστικού (i άξονας) (kp/rad)

$l_f$  : απόσταση εμπρόσθιου άξονα από το κέντρο βάρους οχήματος (m)

$l_r$  : απόσταση οπίσθιου άξονα από το κέντρο βάρους οχήματος (m)

h : ύψος του κέντρου βάρους της ολικής μάζας του οχήματος (m)

$h_d$  : ύψος κέντρου πλοήγησης οχήματος (m)

### 1.4.2 Εξισώσεις επιβραδυνόμενης κίνησης

Οι εξισώσεις για επιβραδυνόμενη κίνηση στα επίπεδα (X-Z), (X-Y) και (Z-Y) είναι αντίστοιχου τύπου [16] και έχουν αναπτυχθεί με βάση την θεώρηση ότι προκειμένου να αποφευχθεί ακινητοποίηση των τροχών του οπίσθιου άξονα

(κρίσιμη περίπτωση) η σχέση εμπρόσθιας – οπίσθιας τροχοπέδησης είναι 70-30 ( $U_f/U_r=70/30$ ) [17].

### 1.4.3 Μοντέλο τετράτροχου

Σύμφωνα με τις παραδοχές που έχουν αναφερθεί, λαμβανομένης υπόψη την μεταβολή στην κατανομή του φορτίου, οι τιμές των συνιστωσών  $P$ ,  $S$  και  $U$  είναι [16] :

$$P_{ro} = P_r + \Delta P_r \quad (1.30)$$

$$P_{ri} = P_r - \Delta P_r \quad (1.31)$$

$$P_{fo} = P_f + \Delta P_f \quad (1.32)$$

$$P_{fi} = P_f - \Delta P_f \quad (1.33)$$

$$S_{ro} = .5S_r [1 + (1+c)e_v + ce_v^2] \quad (1.34)$$

$$S_{ri} = .5S_r [1 - (1+c)e_v + ce_v^2] \quad (1.35)$$

$$S_{fo} = .5S_f [1 + (1+c)e_v + ce_v^2] \quad (1.36)$$

$$S_{fi} = .5S_f [1 - (1+c)e_v + ce_v^2] \quad (1.37)$$

όπου :

$P_i$  : το φορτίο ανάληψης του  $i$  άξονα ( $i=f, r$ ) πριν την μετατόπιση φορτίου (N)

$P_{ij}$ : το φορτίο ανάληψης στον  $j$  τροχό ( $j=o/i$ ) του  $i$  ( $i=f/r$ ) άξονα μετά την μετατόπιση φορτίου (N)

$S_i$  : η πλευρική δύναμη στον  $i$  άξονα ( $i=f, r$ ) πριν την μετατόπιση φορτίου (N)

$S_{ij}$ : η πλευρική δύναμη στον  $j$  τροχό ( $j=o/i$ ) του  $i$  ( $i=f/r$ ) άξονα μετά την μετατόπιση φορτίου (N)

$c$  : -0,333 (τυπική τιμή)

$e_v$  : το ποσοστό μετατόπισης φορτίου  $2\Delta P_i/P_i$

Ο υπολογισμός της επιτρόχιας στατικής τριβής είναι διαφορετικός για την περίπτωση της επιταχυνόμενης και επιβραδυνόμενης κίνησης. Έτσι στην περίπτωση της επιταχυνόμενης κίνησης και για εμπροσθοκίνητο όχημα είναι [16] :

$$U_{fo} = \frac{F_x}{2} - F_{kfo} \quad (1.38)$$

$$U_{fi} = \frac{F_x}{2} - F_{kfi} \quad (1.39)$$

$$U_{ro} = -F_{kro} \quad (1.40)$$

$$U_{ri} = -F_{kri} \quad (1.41)$$

Αντίστοιχα οι εξισώσεις της επιτρόχιας στατικής τριβής για επιταχυνόμενη κίνηση και οπισθοκίνητο όχημα είναι [16] :

$$U_{ro} = \frac{F_x}{2} - F_{kro} \quad (1.42)$$

$$U_{ri} = \frac{F_x}{2} - F_{kri} \quad (1.43)$$

$$U_{fo} = -F_{kfo} \quad (1.44)$$

$$U_{fi} = -F_{kfi} \quad (1.45)$$

όπου :

$$F_{kro} = f_k P_{ro} \quad (1.46)$$

$$F_{kri} = f_k P_{ri} \quad (1.47)$$

$$F_{kfo} = f_k P_{fo} \quad (1.48)$$

$$F_{kfi} = f_k P_{fi} \quad (1.49)$$

Η δύναμη  $F_x$  που φαίνεται στις παραπάνω εξισώσεις και εκφράζει την δύναμη προωθητικής ροπής θα αναλυθεί παρακάτω. Στην περίπτωση επιβραδυνόμενης κίνησης και όταν το ποσοστό διανομής της επιβραδυνόμενης δύναμης είναι 70/30, στον εμπρόσθιο και οπίσθιο άξονα αντίστοιχα είναι [16] :

$$U_{fi} = U_{fo} = .35\left(m\frac{V^2}{R}\beta - mgs - A_d - S_f\theta_f - m\frac{dv}{dt}\right) \quad (1.50)$$

$$U_{ri} = U_{ro} = .15\left(m\frac{V^2}{R}\beta - mgs - A_d - S_f\theta_f - m\frac{dv}{dt}\right) \quad (1.51)$$

όπου :

$U_{ij}$ : η επιτροχία πρόσφυση στον  $j$  τροχό ( $j=o/i$ ) του  $i$  ( $i=f/r$ ) άξονα (N)

$F_{kij}$ : η δύναμη αντίστασης κύλισης στον  $j$  τροχό ( $j=o/i$ ) του  $i$  ( $i=f/r$ ) άξονα (N)

$f_k$  : συντελεστής αντίστασης κύλισης

## 1.5 Εξισώσεις Κίνησης Διαξονικού Φορτηγού Οχήματος

Οι εξισώσεις που διέπουν την κίνηση επιβατηγού οχήματος έχουν εφαρμογή και στην περίπτωση διαξονικού φορτηγού. Η διαφορά έγκειται στο ότι η πλευρική δύναμη στον οπίσθιο άξονα αναφέρεται σε διπλάσιο αριθμό τροχών, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος άξονας φέρει συνήθως τέσσερις τροχούς. Άρα στην περίπτωση των διαξονικών φορτηγών η εξίσωση που εκφράζει την πλευρική τριβή στον οπίσθιο άξονα πριν την μετατόπιση φορτίου παίρνει την μορφή :

$$S_r = 4\alpha_r C_{ar} \quad (1.52)$$

όπου :

$S_r$  : Η πλευρική δύναμη στον οπίσθιο άξονα (N)

$\alpha_r$  : Γωνία πλαγιοδρόμησης των τροχών του οπίσθιου άξονα

$C_{ar}$ : συντελεστής ακαμψίας ελαστικού στον οπίσθιο άξονα (kp/rad)

Όσον αφορά στην κατανομή του φορτίου σε κάθε έναν από τους διπλούς τροχούς, όταν μάλιστα λαμβάνει χώρα η μετατόπιση φορτίου, θεωρήθηκε πως ισοκατανέμεται σε κάθε έναν από αυτούς [16].

## 1.6 Εισαγωγή Ιπποδύναμης Οχήματος στις Εξισώσεις Κίνησης

Ο στόχος της παρούσας μελέτης αφορά στον προσδιορισμό κρίσιμων καταστάσεων που προκύπτουν κατά την κίνηση του εκάστοτε εξεταζόμενου οχήματος σε τρισδιάστατη επιφάνεια. Κατά συνέπεια, η κίνηση αυτή πρέπει να μελετηθεί σε συνθήκες μετάδοσης ροπής τέτοιας ώστε το όχημα να βρίσκεται διαρκώς σε οριακή ολίσθηση. Αυτό σημαίνει ότι για την εισαγωγή της ιπποδύναμης του οχήματος στις εξισώσεις κίνησης απαιτείται ένας συντελεστής εκμετάλλευσής της ( $n$ ) δεδομένου ότι στις επιθυμητές συνθήκες κίνησης (οριακή ολίσθηση) δεν είναι εφικτή σε όλες τις περιπτώσεις η εκμετάλλευση του συνόλου (100%) της ονομαστικής ιπποδύναμης του.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο περιορισμός των αγνώστων, η επιτάχυνση του οχήματος εκφράστηκε με μεταβλητές που προκύπτουν από την γεωμετρία της οδού, την πρόσφυση των ελαστικών και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος.

Σύμφωνα με τους νόμους της μηχανικής ισχύει:

$$F_x = 745.6 \frac{P}{V} n \quad (1.53)$$

όπου:

$F_x$  : Δύναμη προωθητικής ροπής στον κινητήριο άξονα (N) ( $F_x = U_i - F_{ki}$ )

$P$  : Διαθέσιμη ιπποδύναμη στον κινητήριο άξονα (hp)

$n$  : Συντελεστής εκμετάλλευσης της ιπποδύναμης (%/100)

$V$  : Ταχύτητα οχήματος (m/sec)

$U_i$  : Επιτροχία πρόσφυση του  $i$  άξονα που έχει την κίνηση (N)

$F_{ki}$  : Δύναμη αντίστασης κύλισης του  $i$  άξονα που έχει την κίνηση (N)

Συσχετίζοντας λοιπόν τις εξισώσεις (1.2) και (1.53), και μετά τις αναγκαίες απλοποιήσεις προέκυψε μια 4ου βαθμού πολυωνυμική έκφραση της επιτάχυνσης, η οποία εμπεριέχει χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του οδικού δικτύου, του οχήματος, αλλά και της αλληλεπίδρασης τροχού-οδοστρώματος [16].

## 1.7 Μεθοδολογία Προσδιορισμού Μεταβολής της Ταχύτητας Λόγω Γεωμετρίας του Οδικού Δικτύου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επιτάχυνση εκφράστηκε ως συνάρτηση χαρακτηριστικών του ίδιου του οχήματος, της γεωμετρίας του οδικού δικτύου καθώς και στοιχείων που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση τροχού-οδοστρώματος.

Η επιτάχυνση ορίζεται :

$$a(v) = \frac{dv}{dt} \quad (1.54)$$

όπου :

$a(v)$  : επιτάχυνση (m/sec<sup>2</sup>)

$v$  : ταχύτητα (m/sec)

$t$  : χρόνος (sec)

Σύμφωνα με τις βασικές εξισώσεις της κινηματικής ισχύει :

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (1.55)$$

όπου :

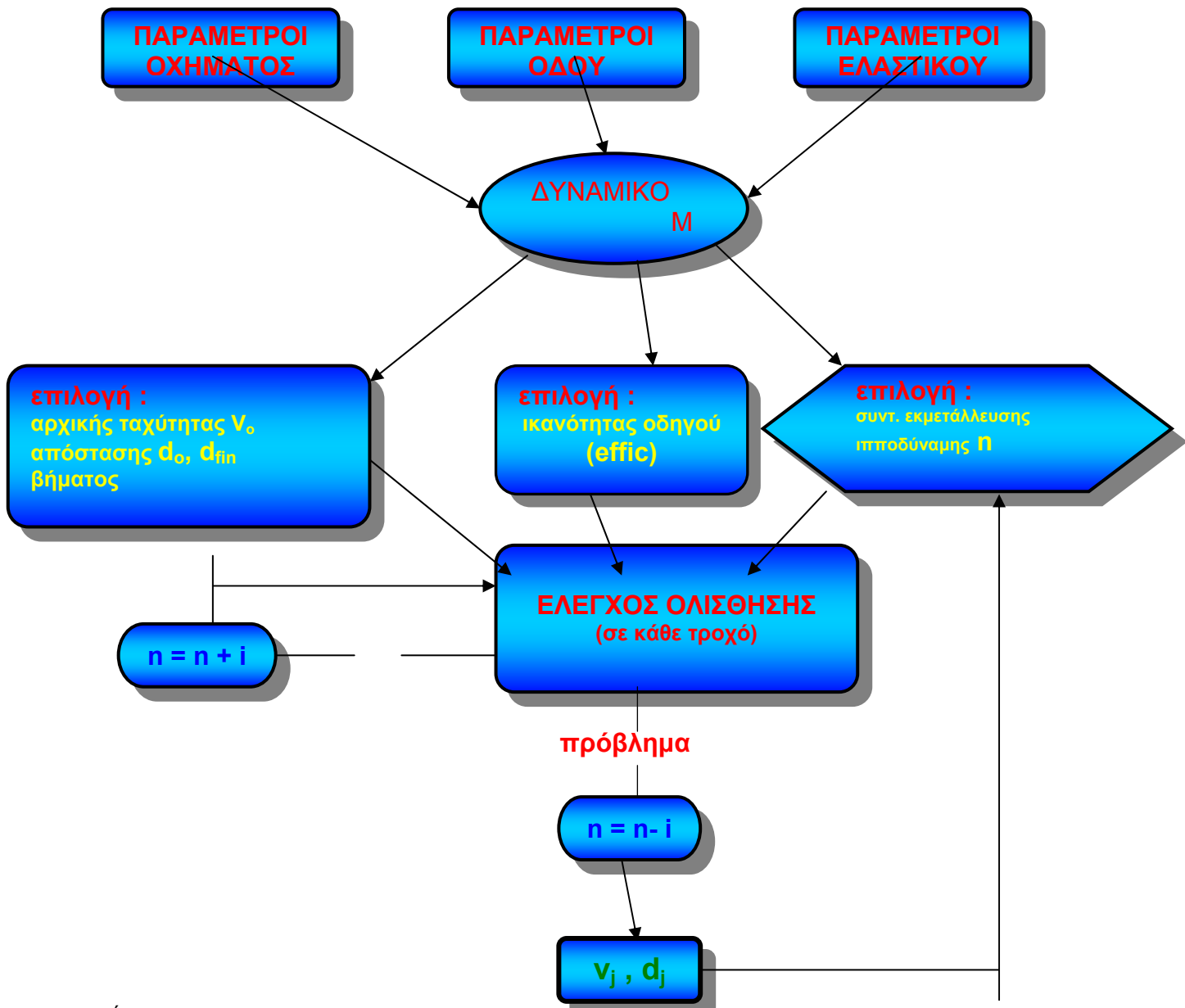
s : διάστημα (m)

t : χρόνος (sec)

Συσχετίζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει μια διαφορική έκφραση της μεταβολής της ταχύτητας συναρτήσει του διαστήματος της μορφής:

$$\frac{dv}{ds} = \frac{a(v)}{v} \quad (1.56)$$

Η λύση της Εξίσωσης (1.56) έγινε με χρήση αριθμητικής ανάλυσης (μέθοδος Runge-Kutta τετραπλής ακρίβειας) [16]. Στο Σχήμα 1.6 φαίνεται το διάγραμμα ροής της μεταβολής της ταχύτητας συναρτήσει του διαστήματος.



όπου:  
 $V_0$  (km/h) : αρχική ταχύτητα  
 $d_0$  (m) : αρχική απόσταση υπολογισμών  
 $d_{fin}$  (m) : τελική απόσταση υπολογισμών  
 βήμα : ακρίβεια υπολογισμών (1m)  
 $i$  (hr) : προσαύξηση του συντελεστή εκμ. ιπποδύναμης (n) για την επίτευξη συνθηκών οριακής ολίσθησης ( $i=0.05hr$ )  
 effic (%) : ικανότητα οδηγού

Σημείωση : Οι τιμές  $v_j$  ,  $d_j$  αναφέρονται σε τιμές ταχύτητας και απόστασης σε συνθήκες οριακής ολίσθησης.

Σχήμα 1.6. Διάγραμμα ροής προσδιορισμού μεταβολής της ταχύτητας.

## 1.8 Επιβεβαίωση του Μοντέλου Προσδιορισμού Μεταβολής της Ταχύτητας Διαξονικού Οχήματος

Ο έλεγχος του ρυθμού μεταβολής της ταχύτητας συναρτήσεως του διαστήματος πραγματοποιήθηκε τόσο για επιβατηγό όχημα όσο και για διαξονικό φορτηγό.

- Διαξονικά φορτηγά

Ο έλεγχος έγινε με χρήση των Αμερικάνικων Κανονισμών AASHTO-94, καθώς και σχετικά πρόσφατων μελετών [18], [19], [20]. Η συσχέτιση μεταξύ του μοντέλου της παρούσας εργασίας και των παραπάνω μελετών έδειξε ισχυρή προσέγγιση όχι μόνο στις τελικές ταχύτητες ανάβασης αλλά και καθόλη τη διάρκεια μεταβολής αυτών [16].

- Επιβατηγά οχήματα

Όσον αφορά στα επιβατηγά οχήματα, ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε με αντίστοιχο μοντέλο του Πανεπιστημίου του Μίτσιγκαν των ΗΠΑ [21] το οποίο αφορά μηχανολογικές εφαρμογές κυρίως (αναρτήσεις, σύστημα πέδησης κλπ.) και για το λόγο αυτό δεν εμπεριέχει την κίνηση οχήματος σε τρισδιάστατη επιφάνεια κύλισης. Η συσχέτιση σε επίπεδο οδόστρωμα και με σταθερό συντελεστή πρόσφυσης με το δυναμικό μοντέλο της παρούσας μελέτης έδωσε και στην περίπτωση αυτή αποκλίσεις μικρής τάξεως [16].

Η παρούσα μελέτη επαληθεύει επίσης μετρήσεις πεδίου που έδειξαν ότι σε οδικά τμήματα δύο λωρίδων κυκλοφορίας με κατά μήκος κλίση έως 5%, η λειτουργική τους ταχύτητα παραμένει πρακτικά ανεπηρέαστη [22].

## 1.9 Μεθοδολογία Προσδιορισμού Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας

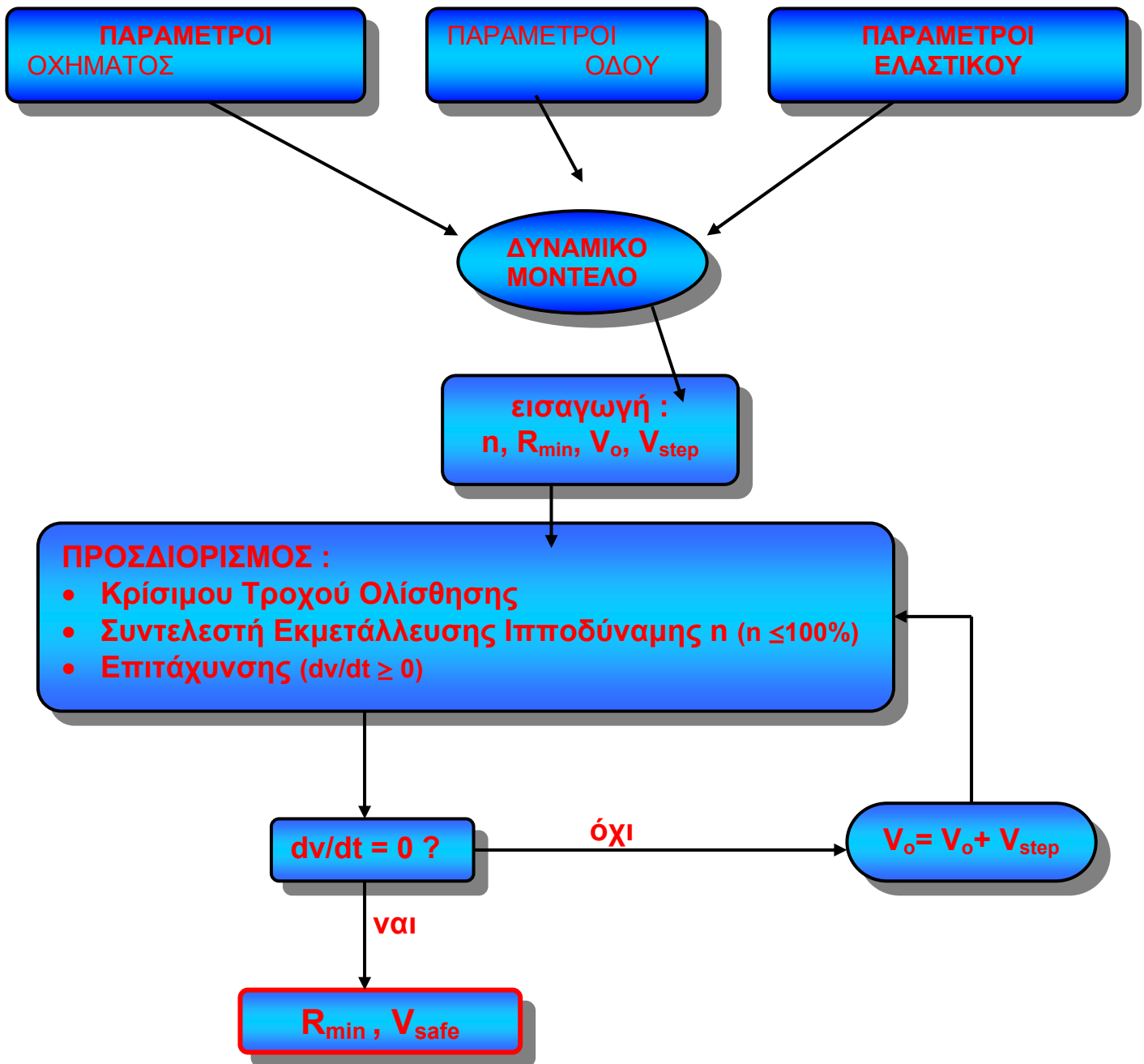
Στην κλασική οδοποιία ο προσδιορισμός της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας γίνεται με την υπόθεση ότι το όχημα διατηρεί σταθερή ταχύτητα η οποία θεωρείται δεδομένη χωρίς να διερευνάται αν το γεγονός αυτό είναι εφικτό ιδιαίτερα όσον αφορά στις αυξημένες κατά μήκος κλίσεις.

Κατά συνέπεια, ο υπολογισμός της  $R_{min}$  προϋποθέτει προηγούμενο προσδιορισμό της μέγιστης σταθερής ταχύτητας (η οποία ορίζεται ως ταχύτητα ασφαλείας)

Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται το διάγραμμα ροής προσδιορισμού της  $R_{min}$  για κίνηση του οχήματος με την ταχύτητα ασφαλείας. Πρέπει να αναφερθεί ότι στο παρακάτω διαγράμματα ροής, δεδομένης της πολυπλοκότητας των εμπλεκόμενων εξισώσεων, ο προσδιορισμός της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας επιτυγχάνεται με διαδοχικές προσεγγίσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι γενικά ο κινητήριος άξονας είναι ο κρίσιμος [8], ο εσωτερικός στην καμπύλη τροχός στις υψηλές ταχύτητες, καθώς και ο εξωτερικός στις χαμηλές γενικά αναμένονται να είναι κρίσιμοι αντίστοιχα (δηλαδή με άλλα λόγια ο τροχός με την μικρότερη ανάληψη φορτίου).





όπου :

$V_o$  (km/h) : αρχική ταχύτητα

$V_{step}$  (km/h) : βήμα υπολογισμών 0.5km/h

$n$  (%) : συντ. εκμετάλλευσης ιπποδύναμης

$R_{min}$  (m) : ελάχιστη οριζόντια ακτίνα

$V_{safe}$  (km/h) : max σταθερή ταχύτητα οχήματος για τη δεδομένη γεωμετρία οδού

Σχήμα 1.7. Διάγραμμα ροής προσδιορισμού  $R_{min}$  -  $V_{safe}$ .

Στα κεφάλαια που έπονται θα εξετασθεί η εφαρμογή του υπόψη μοντέλου:

- στον προσδιορισμό της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας (με χρήση ταχύτητας μελέτης η οποία ελέγχεται ως προς την εφικτότητα της)
- στην αξιολόγηση της λειτουργικότητας οδού ως προς την μεταβολή της ταχύτητας λόγω της μηκοτομής της

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

#### 2.1 Γενικά

Ο έλεγχος της ασφαλούς κίνησης επιβατηγού οχήματος έγινε με τη χρήση του δυσμενέστερου επιβατηγού οχήματος [12] το οποίο προέκυψε από σχετική διερεύνηση [16]. Τα τεχνικά του οχήματος αυτού (τύπος Β) παρατίθενται στον Πίνακα 2.1. Πρέπει να σημειωθεί πως τα χαρακτηριστικά αυτά δεν αναφέρονται γενικά σε υπαρκτό όχημα εκτός ορισμένων περιπτώσεων. Ενδιαφέρον θα ήταν βέβαια η μελέτη αυτή να στηριχθεί εξολοκλήρου σε πραγματικά δεδομένα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά να αντιστοιχούν σε πραγματικό όχημα, διαδικασία όμως που ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Άλλωστε το ευρύ φάσμα των πρότυπων χαρακτηριστικών αρκεί για τη θεωρητική ανάλυση που έπεται.

	B (sedan)
L (m)	2,398
$t_f$ (m)	1,362
$t_r$ (m)	1,324
m (kgr)	1045
$l_f$ (m)	1,031
h (m)	0,610
$K_{\phi f}$ (Nm/rad)	19882
$K_{\phi r}$ (Nm/rad)	9282
$m_{uf}$ (kgr)	80
$m_{ur}$ (kgr)	72
$h_{Rf}$ (m)	0,190
$h_{Rr}$ (m)	0,190
$r_{dyn}$ (m)	0,260
$A_f$ (m <sup>2</sup> )	1,750
$c_N$	0,410
$c_d$	2867.1
$C_{af}$ (kp/rad)	2316.8
$C_{ar}$ (kp/rad)	70
P (hp)	

Πίνακας 2.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά επιβατηγού οχήματος τύπου Β [12].

Σύμφωνα με προηγούμενη έρευνα [8], η ασφάλεια στην κίνηση ενός οχήματος είναι συνάρτηση της απόστασης του κέντρου βάρους του από τον κινητήριο άξονα. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός παρεχόμενης ασφάλειας αυξάνει όσο μειώνεται η απόσταση του κέντρου βάρους από τον κινητήριο άξονα.

## 2.2 Έλεγχος της Επάρκειας των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ στον Προσδιορισμό της Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας

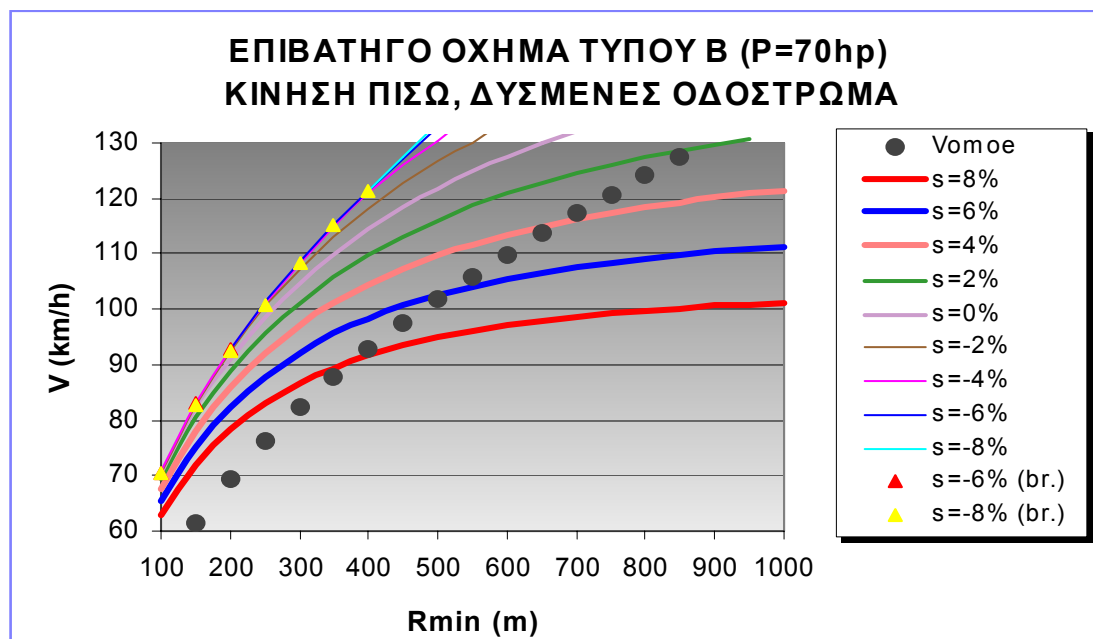
Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο προσδιορισμός της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας κατά ΟΜΟΕ-Χ είναι ανεξάρτητος της μηκοτομής του οδικού δικτύου και βασίζεται στον επιτρεπόμενο συντελεστή εγκάρσιας πρόσφυσης οι τιμές του οποίου έχουν προκύψει εμπειρικά από την εκμετάλλευση του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή επαπτομενικής τριβής.

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας ασφαλείας έδειξε [16] ότι προκειμένου ένα όχημα να κινηθεί με την ίδια  $V_{safe}$ , σε δύο οδικά τμήματα με διαφορετικές τιμές κατά μήκος κλίσης, η μεγαλύτερη τιμή κλίσης απαιτεί από το όχημα να κινηθεί σε μεγαλύτερη οριζόντια ακτίνα. Έτσι λοιπόν τυχόν υποσχεδιασμός κατά ΟΜΟΕ-Χ αναμένεται να σημειωθεί αρχικά τουλάχιστον στις αυξημένες κλίσεις.

Προκειμένου οι τιμές των οριζόντιων ακτινών κατά ΟΜΟΕ-Χ να μπορούν να συσχετισθούν με τις αντίστοιχες του μοντέλου στις αυξημένες κλίσεις, ο προσδιορισμός τους εξήχθη από τις τιμές της ταχύτητας μελέτης σε ορεινά εδάφη, όπου εκεί δύναται να υπάρξουν αυξημένες κλίσεις δεδομένου ότι ο συντελεστής εκμετάλλευσης της εγκάρσιας πρόσφυσης είναι μικρότερος από ότι στα αντίστοιχα πεδινά εδάφη (0.40 έναντι 0.45 αντίστοιχα). Όσον αφορά στις επικλίσεις, προκειμένου η συσχέτιση να συμπεριλάβει την δυσμενή περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη τιμή της ( $e=7\%$ ).

Έτσι για το υπόψη όχημα εντοπίστηκαν τα σημεία στα οποία για δεδομένη ταχύτητα η οριζόντια ακτίνα που προκύπτει από το μοντέλο έχει μεγαλύτερη τιμή από την αντίστοιχη των Ελληνικών κανονισμών χάραξης οδών.

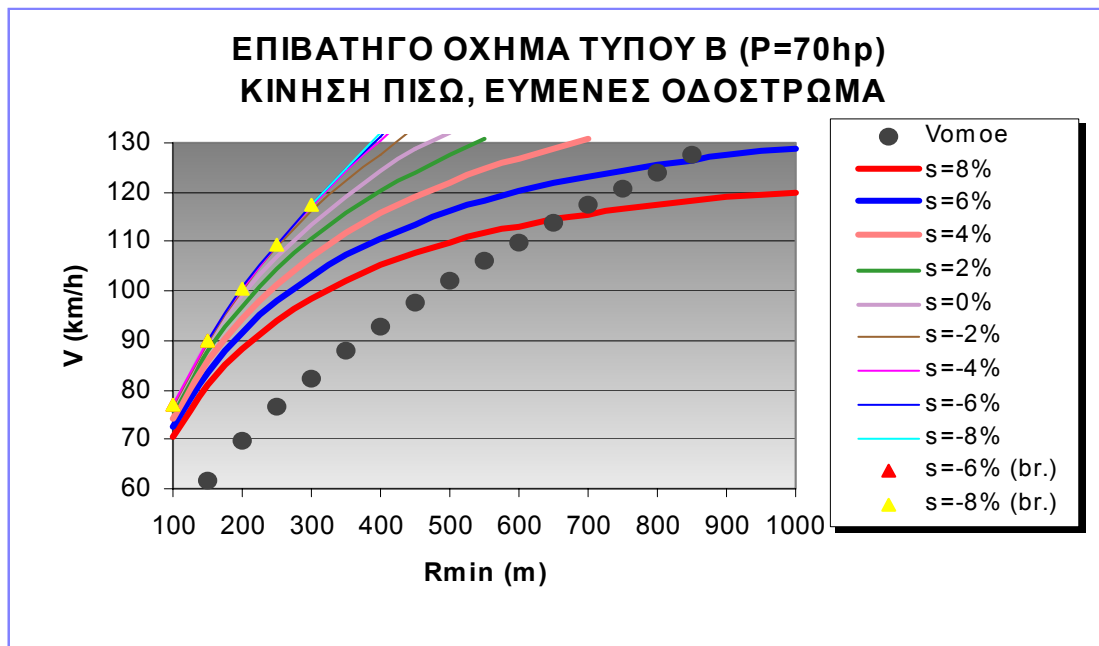
Στα Σχήματα 2.1 και 2.2 φαίνονται τα σημεία υπέρβασης της  $R_{min}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ σε δυσμενές και ευμενές οδόστρωμα αντίστοιχα.



Σχήμα 2.1. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας οχήματος τύπου Β κατά την κίνησή του σε οδόστρωμα δυσμενούς πρόσφυσης.

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 2.1 φαίνεται ότι για τιμές κατά μήκος κλίσης 8% και 6% και ταχύτητες άνω των 90km/h και 103km/h αντίστοιχα, οι κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ δεν εγγυώνται την ασφαλή διέλευση αυτού του τύπου οχήματος. Υπενθυμίζεται ότι οι ΟΜΟΕ-Χ [6], έστω και σε εξαιρετικές περιπτώσεις δέχονται τιμή κλίσης 8% για ταχύτητα μελέτης έως 100km/h. Η διαπίστωση αυτή του υποσχεδιασμού καθίσταται ακόμα πιο δυσμενής αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η υπέρβαση της ταχύτητας μελέτης κατά 10km/h είναι μια αποδεκτή πρακτική.

Δεδομένου όμως ότι οι τιμές σχεδιασμού δεν είναι πάντα οι πιο δυσμενείς (στην περίπτωση αυτή το οδόστρωμα μικρής πρόσφυσης), σύμφωνα με τα Σχήματα 2.1 και 2.2 μια μέση πρόσφυση οδοστρώματος δύναται σε γενικές γραμμές να εξισορροπηθεί από την υπέρβαση κατά 10km/h της ταχύτητας μελέτης. Δηλαδή με άλλα λόγια η περίπτωση της δυσμενούς πρόσφυσης οδοστρώματος σε συνδυασμό με τις τιμές της ταχύτητας μελέτης χωρίς προσαύξηση μπορούν σε ικανοποιητικό βαθμό να προσεγγίσουν τις συνθήκες σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, για 8% κατά μήκος κλίση οι κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ μπορούν να εγγυηθούν την ασφαλή κίνηση του υπόψη οχήματος σε οδούς με επίκλιση 7% και ταχύτητα μελέτης έως τα 90km/h.



Σχήμα 2.2. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας οχήματος τύπου Β κατά την κίνησή του σε οδόστρωμα ευμενούς πρόσφυσης.

Ανάλογη είναι και η διαπίστωση για την περίπτωση κατά μήκος κλίσης 6%. Συγκεκριμένα για αυτήν την τιμή κατά μήκος κλίσης ενώ οι ΟΜΟΕ-Χ σε λοφώδη εδάφη κατ'εξαιρέση δέχονται ως μέγιστη ταχύτητα μελέτης τα 120km/h, η μελέτη αυτή έδειξε ότι το συγκεκριμένο όχημα δεν δύνανται να κινηθεί με ασφάλεια πέρα από τα 103km/h, ταχύτητα η οποία καλύπτει πλήρως τις οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

Κατά συνέπεια, προκειμένου να είναι δυνατή η ασφαλής κίνηση του παραπάνω οχήματος, προτείνεται η αποφυγή του παραπάνω συνδυασμού ταχύτητας – μηκοτομής και όπου κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό η τοποθέτηση κατάλληλης σήμανσης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΥ ΦΟΡΤΗΓΟΥ**

#### **3.1 Γενικά**

Τα φορτηγά οχήματα, λόγω της μεγάλης μεταβολής που παρουσιάζει η ταχύτητά τους με την ανάληψη φορτίου, εξετάστηκαν στις δυο ακραίες συνθήκες φόρτωσης (άδεια – πλήρως φορτωμένα) [16]. Σύμφωνα με την υφιστάμενη πρακτική, καθοριστικό παράγοντα για την συμπεριφορά των φορτηγών αποτελεί ο λόγος του μεικτού βάρους τους προς την ιπποδύναμή τους [5]. Συγκεκριμένα, όσο η τιμή του λόγου αυτού μειώνεται τόσο το όχημα βελτιώνει τη συμπεριφορά του δεδομένου ότι επαυξάνεται με τον τρόπο αυτό η ελκτική δύναμη.

Προκειμένου να καλυφθεί σε ικανοποιητικό βαθμό το φάσμα των διαξονικών φορτηγών, εξετάστηκε η κίνηση δύο οχημάτων με μεικτά βάρη 11t (Volvo FL611) και 19t (Volvo FL7) με αντίστοιχους λόγους μεικτού βάρους-πραγματικής ιπποδύναμης 103kg/KW και 122kg/KW αντίστοιχα. Οι παραπάνω τιμές του λόγου μεικτού βάρους-πραγματικής ιπποδύναμης είναι μάλλον συντηρητικές, αφού μελέτη του 1985 [5] έδειξε ότι σε ένα φορτηγό μεικτού βάρους 19t για παράδειγμα, η μέση τιμή W/hr είναι 79kg/KW. Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί παραθέτονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαξονικών φορτηγών των οποίων η ασφάλεια στην κίνηση εξετάστηκε.

Τα χαρακτηριστικά των οχημάτων αυτών, τουλάχιστον ως προς την διαστασιολόγησή τους, εκπροσωπούν την πραγματικότητα δεδομένου ότι οι τιμές του Πίνακα 3.1 έχουν ληφθεί από δεδομένα συγκεκριμένων μοντέλων οχημάτων. Όσον αφορά στις υπολειπόμενες τιμές για την εφαρμογή των εξισώσεων κίνησης, χρησιμοποιήθηκαν δυσμενείς περιπτώσεις [16].

Προκειμένου να διερευνηθεί η ενδεχόμενη ύπαρξη κρίσιμων καταστάσεων στην ασφάλεια των φορτηγών όσον αφορά τη θέση του κέντρου βάρους καθ' ύψος [23], στις συνθήκες πλήρους φόρτισης, θεωρήθηκε ότι τα υπό εξέταση οχήματα ήταν φορτωμένα μέχρι ύψους 3.50m.

Εφαρμόζοντας και εδώ την αρχή ότι η ασφάλεια στην κίνηση ενός οχήματος είναι συνάρτηση της απόστασης του κέντρου βάρους του από τον κινητήριο άξονα, και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα φορτηγά είναι οπισθοκίνητα, αναμένονται κρίσιμες καταστάσεις στην ασφάλεια αυτών των οχημάτων εκ πρώτης άποψης όταν αυτά είναι αφόρτιστα.

	11t αφόρτωτο	11t φορτωμένο	19t αφόρτωτο	19t φορτωμένο
L (m)	2.800	2.800	3.800	3.800
t <sub>f</sub> (m)	1.752	1.752	2.012	2.012
t <sub>r</sub> (m)	1.628	1.628	1.804	1.804
m (kgr)	3820	11000	5855	19700
l <sub>f</sub> (m)	0.795	1.756	1.226	2.508
h (m)	1.050	1.800	1.200	2.013
K <sub>φf</sub> (Nm/rad)	453711	453711	453711	453711
K <sub>φr</sub> (Nm/rad)	453711	453711	453711	453711
C <sub>af</sub> (kp/rad)	9403.6	14099.7	13634.1	23026.0
C <sub>ar</sub> (kp/rad)	1864.3	11857.8	3247.0	22348.8
m <sub>uf</sub> (kgr)	293	293	425	425
m <sub>ur</sub> (kgr)	196	196	341	341
h <sub>Rf</sub> (m)	0,530	0,530	0,530	0,530
h <sub>Rr</sub> (m)	0,530	0,530	0,530	0,530
r <sub>dyn</sub> (m)	0,450	0,450	0,500	0,500
A <sub>f</sub> (m <sup>2</sup> )	5.702	5.702	6.188	6.188
C <sub>N</sub>	0,360	0,360	0,360	0,360
C <sub>d</sub>	0,900	0,900	0,900	0,900
P (hp)	142.9	142.9	216.2	216.2

Πίνακας 3.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά υπό εξέταση διαξονικών φορτηγών.

### 3.2 Έλεγχος της Επάρκειας των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ στον Προσδιορισμό της Ελάχιστης Οριζόντιας Ακτίνας Διαξονικών Φορτηγών

Τα βήματα προσδιορισμού της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας είναι όμοια με την περίπτωση των επιβατηγών οχημάτων. Σε αντίθεση όμως με την αντίστοιχη ανάλυση του προηγούμενου κεφαλαίου, η παραβίαση των τιμών R<sub>min</sub> κατά ΟΜΟΕ-Χ όσον αφορά τα αφόρτωτα οχήματα χαρακτηρίζεται δραματική.

Συγκεκριμένα και στα δύο εξετασθέντα οχήματα, ακόμα και κατά την κίνησή τους σε ευμενές οδόστρωμα παραβιάζεται η ασφάλεια στην κίνησή τους. Στα Σχήματα 3.1 και 3.2 φαίνονται οι ελάχιστες ακτίνες όπως αυτές προκύπτουν από την κίνηση διαξονικού φορτηγού 11t σε οδόστρωμα με δυσμενή και ευμενή πρόσφυση αντίστοιχα.

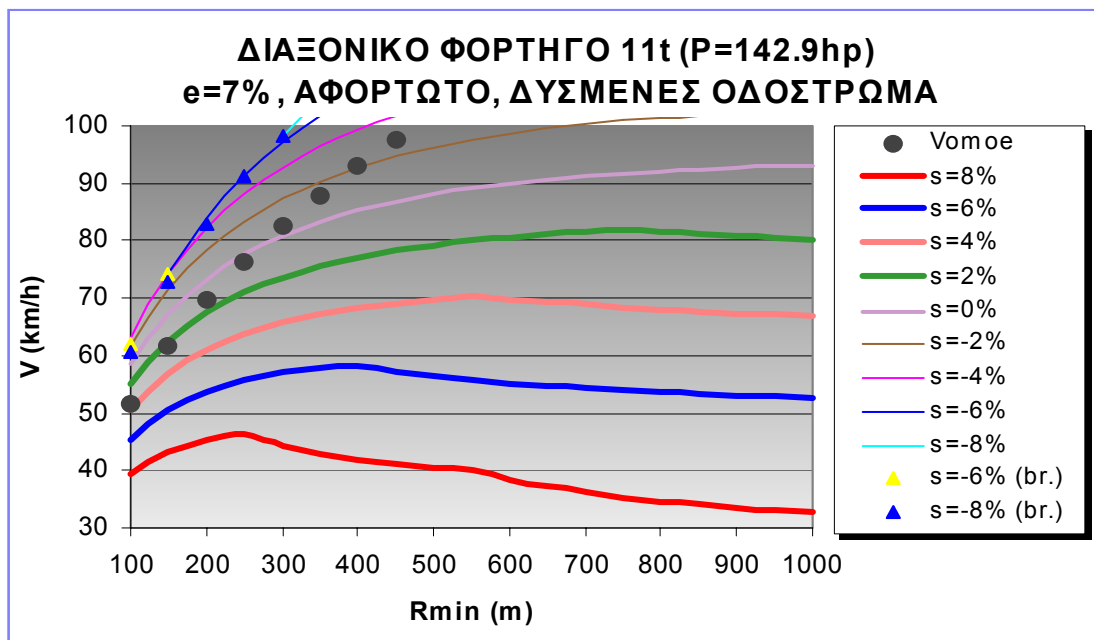
Το μείζον αυτό πρόβλημα δύναται να αντιμετωπισθεί με τους εξής τρόπους:

- Θέσπιση κανονισμών με γνώμονα την ασφαλή κίνηση των φορτηγών οχημάτων (γεγονός που αντίκειται στην οικονομία).
- Τοποθέτηση ορίου ταχύτητας που να αναφέρεται αποκλειστικά στην κίνηση φορτηγών οχημάτων.

Έτσι για παράδειγμα ενώ οι ΟΜΟΕ-Χ για ταχύτητα μελέτης 70km/h προτείνουν οριζόντια ακτίνα 203m, τα Διαγράμματα 3.1 και 3.2 δείχνουν ότι προκειμένου το συγκεκριμένο όχημα να κινηθεί σε αυτήν την οριζοντιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

όταν η κλίση είναι 6%, η επίτευξη της συγκεκριμένης ταχύτητας μελέτης δεν είναι δυνατή ακόμα και στην περίπτωση ευμενούς πρόσφυσης οδοστρώματος, όταν το ζητούμενο είναι η ασφαλής διέλευση του ( $V_{safe(1.45)}=63.3\text{km/h}$  έναντι  $V_{safe(1.10)}=53.6\text{km/h}$  αντίστοιχα). Βέβαια στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση κατά μήκος κλίσης 6% η κίνηση του οχήματος των 11<sup>t</sup> με ταχύτητα 60km/h δεν είναι δυνατή σε οδόστρωμα δυσμενούς πρόσφυσης γεγονός το οποίο δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ο οδηγός δεδομένου ότι δεν κάνει χρήση του 100% της διαθέσιμης ιπποδύναμής του οχήματός του (Σχήμα 3.3). Έτσι η αναγκαιότητα ύπαρξης διαφορετικού ορίου ταχύτητας στα φορηγά και ιδιαίτερα στα αφόρτωτα είναι επιβεβλημένη.

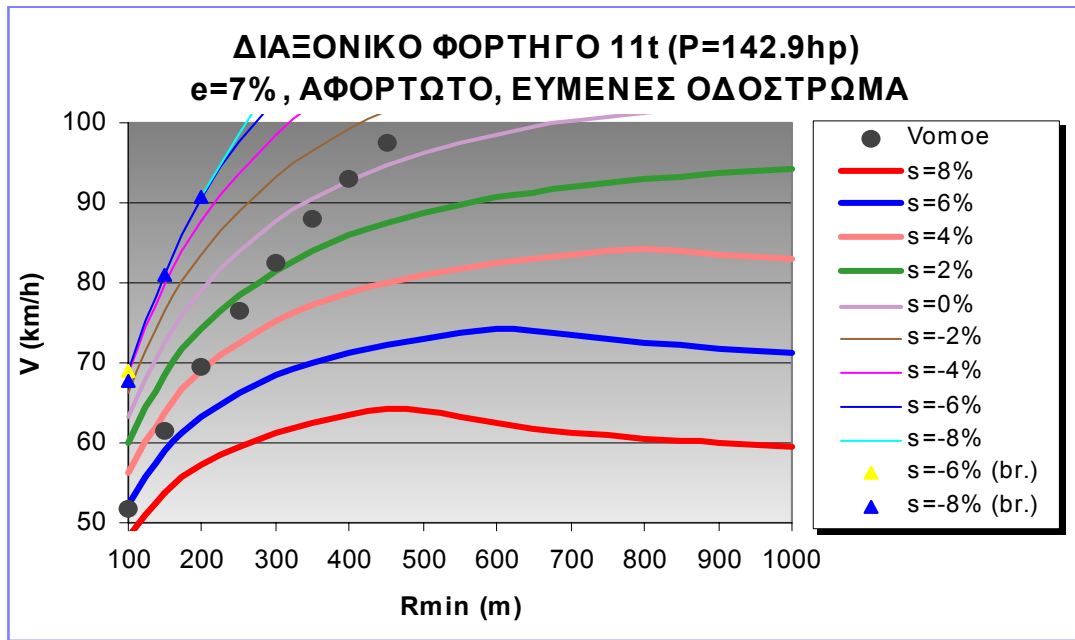


Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορηγών 80km/h.  
(br.): Κίνηση του οχήματος σε συνθήκες πέδησης.

Σχήμα 3.1. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας αφόρτωτου φορηγού 11t ( $f_{Tmax}=1.10f_{Tg}$ ).

Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί η μείωση από ένα σημείο οριζόντιας ακτίνας και πέρα της προσδιορισθείσας  $V_{safe}$  ειδικά στις αυξημένες θετικές κλίσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον μηδενισμό της εγκάρσιας πρόσφυσης σε κάποια τιμή οριζόντιας ακτίνας που συνεπάγεται μεταβολή στην κατανομή φορτίου προς το εσωτερικό της καμπύλης. Φυσικά αυτού του είδους η μεταβολή στην κατανομή φορτίου παρατηρείται πρώτα στις μεγάλες τιμές κατά μήκος κλίσης για την ίδια  $R_{min}$ , αφού σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα στις αυξημένες κλίσεις παρατηρούνται μικρότερα ποσοστά μεταβολής στην κατανομή φορτίου και άρα η κατάσταση ισορροπίας στην εγκάρσια διεύθυνση επιτυγχάνεται πιο γρήγορα.

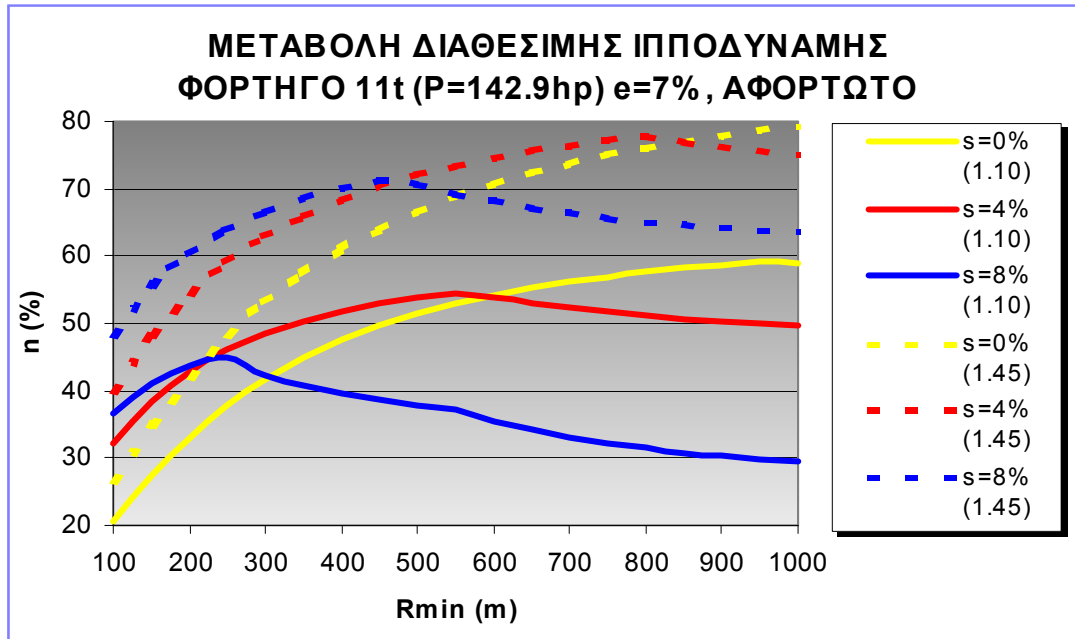




Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορτηγών 80km/h.  
(br.): Κίνηση του οχήματος σε συνθήκες πέδησης.

Σχήμα 3.2. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας αφόρτωτου φορτηγού 11t ( $f_{Tmax}=1.45f_{TG}$ ).

Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ιπποδύναμης σε αφόρτωτο όχημα 11t κατά τον προσδιορισμό της  $R_{min}$  τόσο σε δυσμενές όσο και σε ευμενές οδόστρωμα αντίστοιχα.



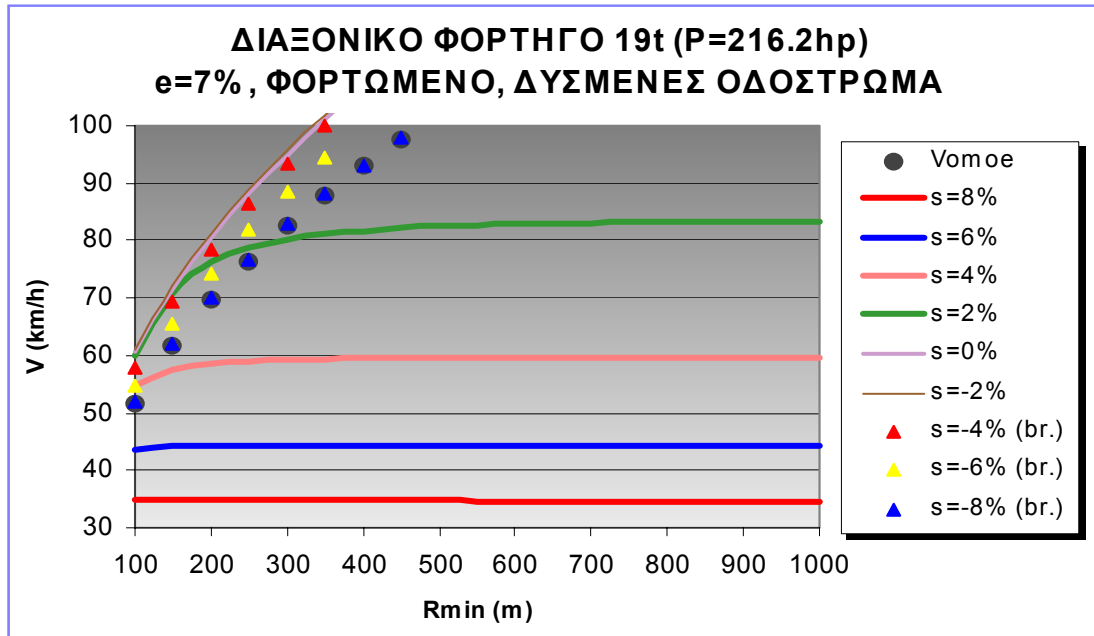
Σχήμα 3.3. Διάγραμμα μεταβολής της διαθέσιμης ιπποδύναμης στον προσδιορισμό της  $R_{min}$  αφόρτωτου φορτηγού 11t.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η εξέταση των φορτωμένων οχημάτων έδειξε ότι σε καμία περίπτωση δεν υπάρχει υποσχεδιασμός εκ μέρους ΟΜΟΕ-Χ δεδομένου ότι η κίνηση αυτού του τύπου των οχημάτων ειδικά στις αυξημένες κλίσεις είναι ανεξάρτητη της οριζοντιογραφίας. Στα Σχήματα 3.4 και 3.5 φαίνεται ο προσδιορισμός της  $R_{min}$  σε φορτωμένο όχημα 19t και στις δύο ακραίες τιμές πρόσφυσης οδοστρώματος.

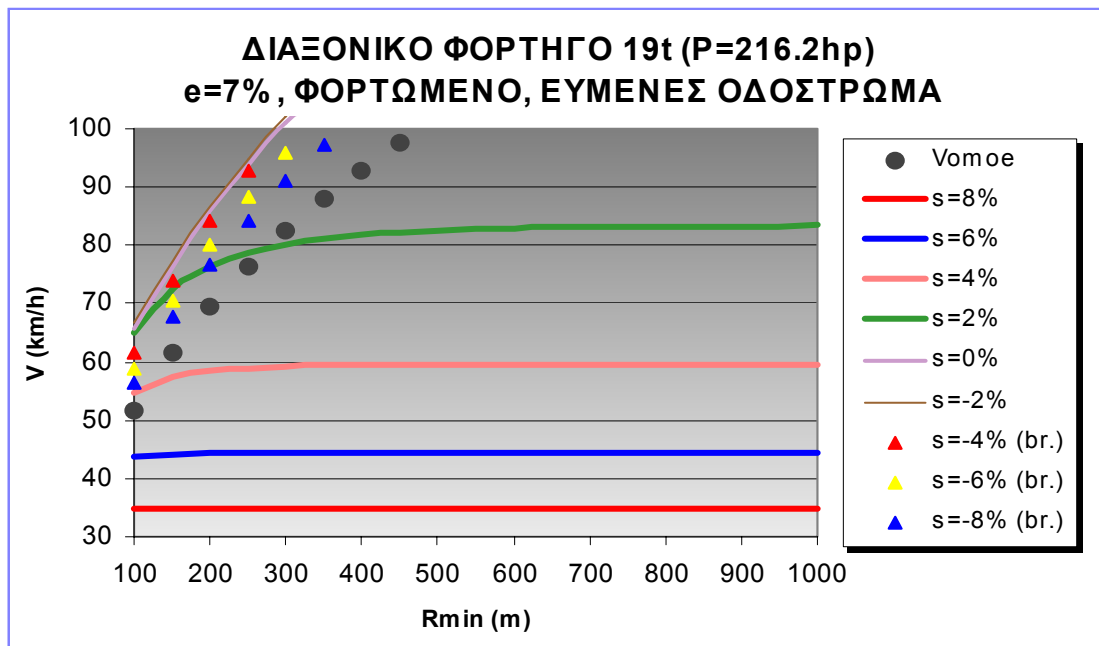
Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα [16], η επιρροή της πρόσφυσης του οδοστρώματος δεν αφορά στις αυξημένες θετικές κλίσεις διότι η αυξημένη απαίτηση ελκτικής δύναμης αναγκάζει το όχημα να κινηθεί με πλήρη εκμετάλλευση της ιπποδύναμής του και στους δύο ακραίους τύπους οδοστρωμάτων. Κατά συνέπεια η όποια διαφοροποίηση μεταξύ των Διαγραμμάτων 3.4 και 3.5 πρέπει να αναζητηθεί στις ήπιες κλίσεις αλλά και στις περιπτώσεις πέδησης του οχήματος.

Στο Σχήμα 3.4, φαίνεται η οριακή επάρκεια των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ στην πέδηση του συγκεκριμένου διαξονικού οχήματος (19<sup>t</sup>) σε κλίση 8%.



Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορτηγών 80km/h.  
(br.): Κίνηση του οχήματος σε συνθήκες πέδησης.

Σχήμα 3.4. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας φορτωμένου φορτηγού 19t ( $f_{Tmax}=1.10f_{Tg}$ ).



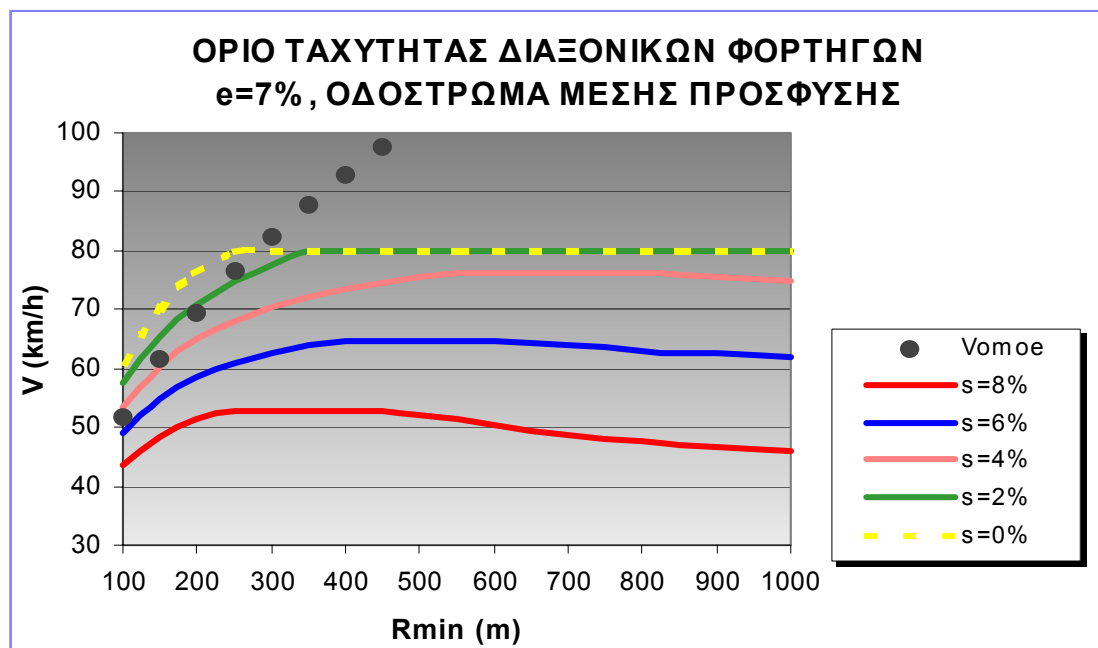
Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορτηγών 80km/h.  
(br.): Κίνηση του οχήματος σε συνθήκες πέδησης.

Σχήμα 3.5. Ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες που αφορούν την ταχύτητα ασφαλείας φορτωμένου φορτηγού 19t ( $f_{Tmax}=1.45f_{Tg}$ ).

Το γενικό συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από την εξέταση των διαξονικών φορτηγών σε ακραίες συνθήκες φόρτωσης, είναι ότι κρίσιμες καταστάσεις εμφανίζονται στα αφόρτιστα οχήματα δεδομένου ότι σε όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις η εκμετάλλευση της ιπποδύναμης των αφόρτωντων οχημάτων δεν αγγίζει το 100%. Μέσα από την συγκεκριμένη μελέτη προτείνεται η τοποθέτηση ορίου ταχύτητας που να αφορά αποκλειστικά την κίνηση των φορτηγών οχημάτων. Μια τέτοια καινοτομία βέβαια για να είναι πλήρης, προϋποθέτει την δυναμική ανάλυση και των υπόλοιπων κυκλοφορούντων φορτηγών οχημάτων.

Στο Διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται το προτεινόμενο όριο ταχύτητας για όλες τις κρίσιμες κλίσεις στις οποίες παραβιάζεται η ασφάλεια στην κίνηση των διαξονικών φορτηγών.

Επειδή ο προσδιορισμός της  $V_{safe}$  [16] έδειξε ότι το όχημα των 11t είναι το δυσμενέστερο από άποψη ασφάλειας (κάτι που άλλωστε ήταν αναμενόμενο από τη δυσμενή θέση του κέντρου βάρους [8]), το Διάγραμμα 3.6 αναφέρεται στο συγκεκριμένο όχημα. Η χρησιμοποιηθείσα τιμή πρόσφυσης του οδοστρώματος προέκυψε από τον μέσο όρο των ακραίων τιμών της.



Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορτηγών 80km/h.

Σχήμα 3.6. Προτεινόμενο όριο ταχύτητας διαξονικών φορτηγών.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι μόνο για κατά μήκος κλίση 0% οι κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ εγγυώνται την ασφάλεια των διαξονικών φορτηγών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΥ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ**

#### **4.1 Γενικά**

Κατά την αξιολόγηση του βαθμού λειτουργικότητας σε μια χάραξη ως προς την επιρροή της κατά μήκος κλίσης, οι υφιστάμενοι κανονισμοί οδικών έργων έχουν προσεγγίσει απλοποιημένα τη δυναμική του οχήματος ενώ αγνοείται η επιρροή της οριζόντιας γεωμετρίας [16].

Ο ακριβέστερος τρόπος προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ζήτημα είναι :

- η δυνατότητα προσδιορισμού της στιγμιαίας ταχύτητας του επιλεχθέντος οχήματος σχεδιασμού σε οποιοδήποτε συνδυασμό χάραξης
- η συγκριτική αξιολόγηση του επιδιωκόμενου βαθμού λειτουργικότητας της οδού με αυτή η οποία προκύπτει μέσα από την προτεινόμενη διερεύνηση

Προφανώς επειδή η διαδικασία διατήρησης της ταχύτητας σχετίζεται άμεσα με την ιπποδύναμη του οχήματος, καταρχήν η έρευνα αυτή αφορά οδήγηση υπό οριακές συνθήκες ολίσθησης όπου είτε αυτή πραγματοποιείται από επαγγελματία οδηγό, είτε η κίνηση του οχήματος προϋποθέτει άριστη γνώση του οδικού δικτύου. Προκειμένου να γίνει μία προσπάθεια αυτή η προσέγγιση -στο βαθμό που είναι εφικτό- να στηριχθεί σε πραγματικές συνθήκες (δεδομένου ότι στην μελέτη αυτή δεν έχει ληφθεί υπόψη ο παράγοντας οδηγός), εξετάστηκε επιπλέον η συμπεριφορά οδηγού του οποίου η ικανότητα ανέρχεται στο αυθαίρετο ποσοστό του 80% της βέλτιστης (n=100%).

Το πρόβλημα της μεταβολής στην ταχύτητα λόγω γεωμετρίας οδού αφορά κυρίως στα βαρέα οχήματα [16]. Για το λόγο αυτό, στα εδάφια που ακολουθούν, επιχειρείται διερεύνηση στην μεταβολή της ταχύτητας μόνο στην περίπτωση των φορτηγών.

#### **4.2 Μεταβολή στην Ταχύτητα Διαξονικών Φορτηγών**

Ενώ τα επιβατηγά οχήματα δύνανται ακόμα και σε αυξημένες κλίσεις να διατηρήσουν την ταχύτητα των 90km/h [16], στα φορτηγά η κατάσταση είναι τελείως διαφορετική. Κατ'αρχήν λόγω της μεγάλης διαφοροποίησης που προκαλείται στις συνθήκες κίνησης από την φόρτωση, αναμένεται να υπάρχουν αντίστοιχες διαφοροποιήσεις και στην τελική ταχύτητα ανάβασης.

Στην μελέτη αυτή, για λόγους πληρότητας εξετάστηκε η κίνηση δύο επιπλέον διαξονικών οχημάτων με ανάλογα τεχνικά χαρακτηριστικά [16].

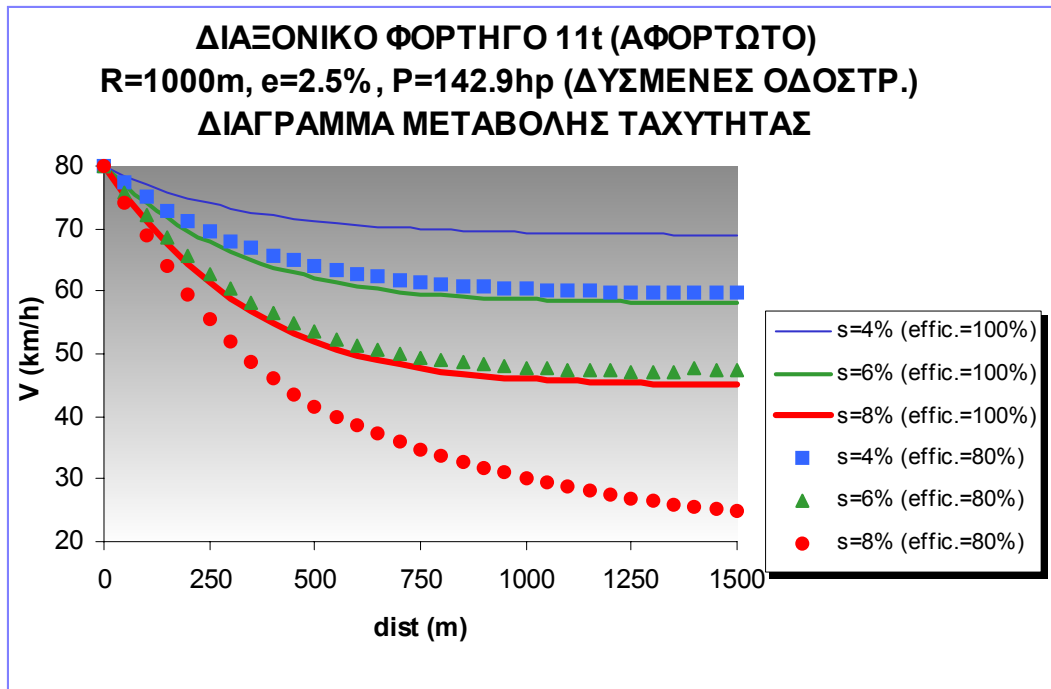
### 4.2.1 Μεταβολή στην ταχύτητα αφόρτων διαξονικών φορτηγών

Ως γνωστό το μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα αφόρτωτα οχήματα είναι ότι το κέντρο βάρους τους είναι μετατοπισμένο προς τον εμπρόσθιο άξονα με αποτέλεσμα η κίνηση ειδικά σε μεγάλες κλίσεις να αναμένεται εξαιρετικά δυσχερής. Σύμφωνα με σχετική μελέτη [16], αναμένεται τα οχήματα με παρόμοια κατανομή φορτίου ανά άξονα να έχουν και την ίδια περίπου συμπεριφορά στην μεταβολή της ταχύτητας (δηλ. τα οχήματα των 19t και 8t να εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές ταχυτήτων έναντι αυτών των 11t και 4t αντιστοίχως).

Η επιρροή της οριζοντιογραφίας όπως φάνηκε και στον προσδιορισμό της ταχύτητας ασφαλείας λαμβάνει χώρα κυρίως στις ήπιες κλίσεις. Έτσι η τελική ταχύτητα ανάβασης στις κλειστές καμπύλες εμφανίζεται μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη στις ανοιχτές έως και 15km/h περίπου για κλίση 4%, ενώ η αντίστοιχη μείωση για κλίση 8% ανέρχεται μόλις στα 5km/h. Παρατηρήθηκε επίσης ότι οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις στις παραπάνω τιμές ταχυτήτων παρατηρούνται στα οχήματα των οποίων το κέντρο βάρους είναι μετατοπισμένο προς τον οπίσθιο άξονα (19t και 8t αντίστοιχα). Η εξήγηση αυτού του φαινομένου οφείλεται στο γεγονός ότι η διαφορά στην συμπεριφορά αυτού του τύπου οχημάτων (δηλ.  $I_f/L \approx 0.34$  έναντι  $I_f/L \approx 0.29$ ) φαίνεται εκεί όπου υπάρχει μεγαλύτερη απαίτηση διαμήκους πρόσφυσης και αυτό συμβαίνει στις μεγάλες οριζόντιες ακτίνες σε αντίθεση με τις κλειστές καμπύλες όπου η απαίτηση αυξημένης εγκάρσιας πρόσφυσης δεν επιτρέπει ανάλογη συμπεριφορά.

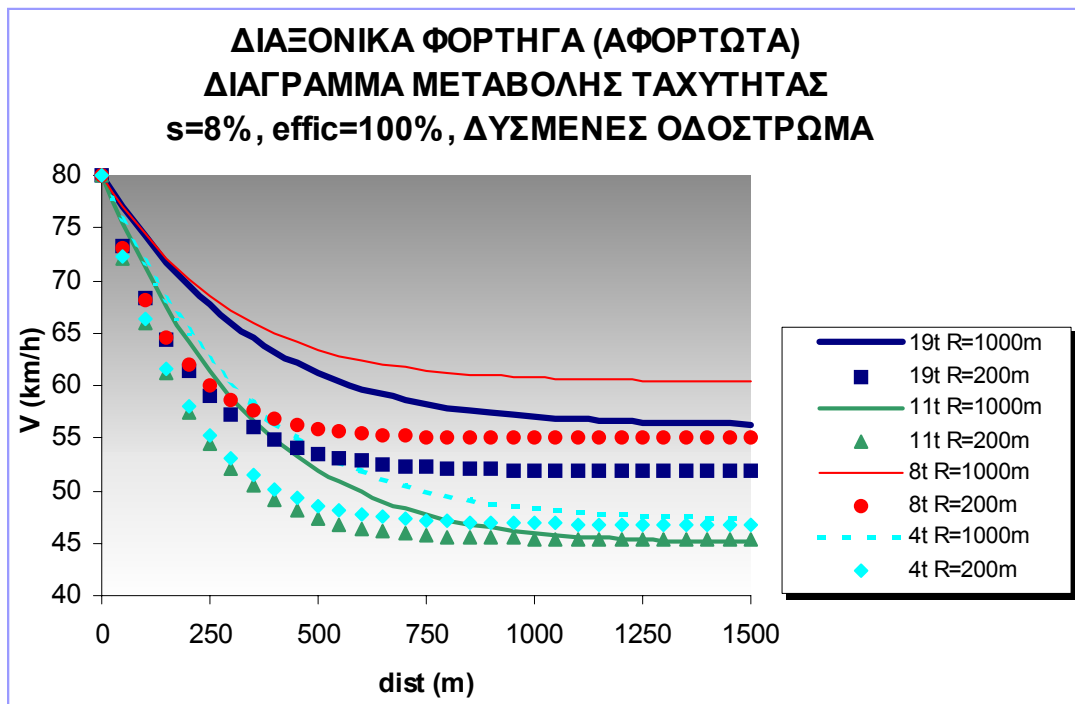
Η επιρροή της πρόσφυσης του οδοστρώματος κυμαίνεται από 10km/h περίπου σε κλίσεις 4% έως 15km/h περίπου σε κλίσεις 8% με μεγαλύτερη διαφοροποίηση των τιμών αυτών να παρατηρείται στις ανοιχτές καμπύλες.

Τέλος, η ικανότητα του οδηγού να εκμεταλλευτεί την διαθέσιμη ιπποδύναμη του οχήματός του, κυμαίνεται από 6km/h έως 10km/h σε κλίσεις 4% και από 10km/h - 15km/h σε κλίσεις 8% στις οποίες και πάλι οι μεγαλύτερες τιμές ταχυτήτων αναφέρονται σε ανοιχτές καμπύλες. Βέβαια, στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι υπήρξαν και περιπτώσεις όπου η μερική εκμετάλλευση της ιπποδύναμης είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία επίτευξης τελικής (σταθερής) ταχύτητας ανάβασης (Σχήμα 4.1).

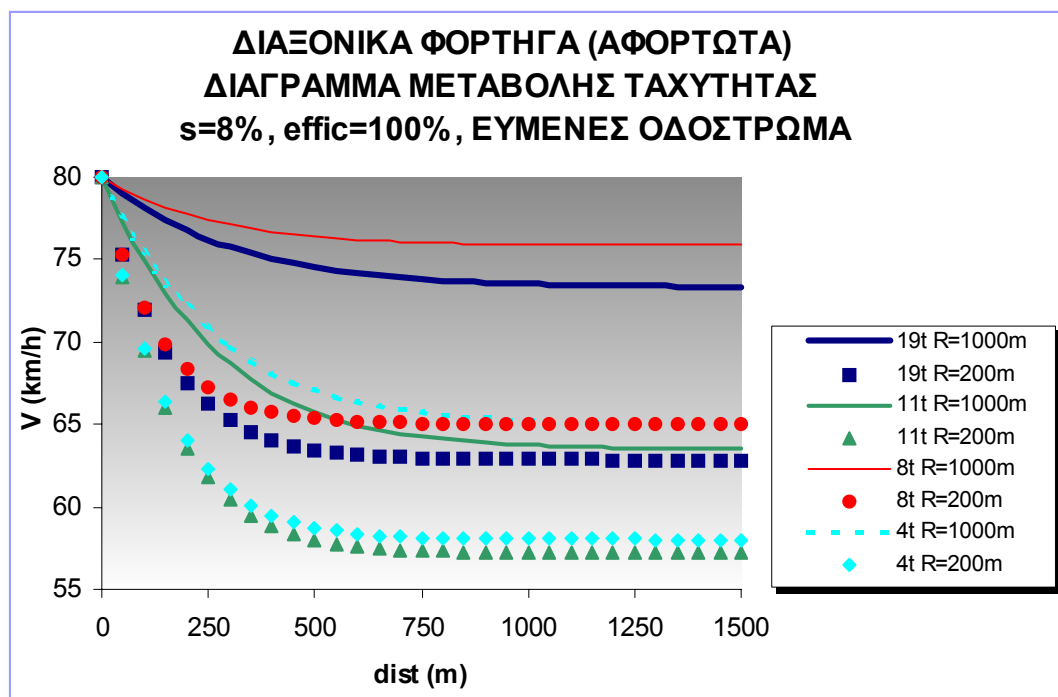


Σχήμα 4.1. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε αφόρτωτο διαξονικό φορτηγό 11t ( $f_{Tmax}=1.10f_{Tg}$ ) για ακτίνα R=1000m.

Στα Σχήματα 4.2 και 4.3 που ακολουθούν φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας για τις δύο ακραίες εξετασθείσες ακτίνες, για κλίση 8% και ακραίες τιμές πρόσφυσης οδοστρώματος.



Σχήμα 4.2. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε όλα τα εξετασθέντα αφόρτωτα διαξονικά φορτηγά κατά την κίνησή τους σε δυσμενές οδόστρωμα.



Σχήμα 4.3. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε όλα τα εξετασθέντα αφόρτωτα διαξονικά φορτηγά κατά την κίνησή τους σε ευμενές οδόστρωμα.

Ιδιαίτερη αίσθηση προκαλεί η ομοιότητα των ταχυτήτων που αφορούν τα οχήματα των 19t και 8t έναντι των αντίστοιχων 11t και 4t, αλλά και το γεγονός ότι τα τελευταία οχήματα κατά την κίνησή τους σε δυσμενές οδόστρωμα εμφανίζουν τελική ταχύτητα ανάβασης στις αυξημένες ακτίνες όμοια με την αντίστοιχη στις κλειστές καμπύλες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω Διαγράμματα αλλά και μετά τη μελέτη της συμπεριφοράς των παραπάνω οχημάτων σε ευρύ φάσμα οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης [16], το γενικό συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί όσον αφορά τα αφόρτωτα διαξονικά φορτηγά είναι ότι η μεταβολή της ταχύτητας ανάβασης εξαρτάται κυρίως από την κατά μήκος κλίση, την πρόσφυση του οδοστρώματος και την επίκλιση της οδού. Η οριζοντιογραφία υπεισέρχεται κυρίως στις ήπιες κλίσεις ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η δυναμική του οχήματος εκφρασμένη ως οριζόντια θέση του κέντρου βάρους.

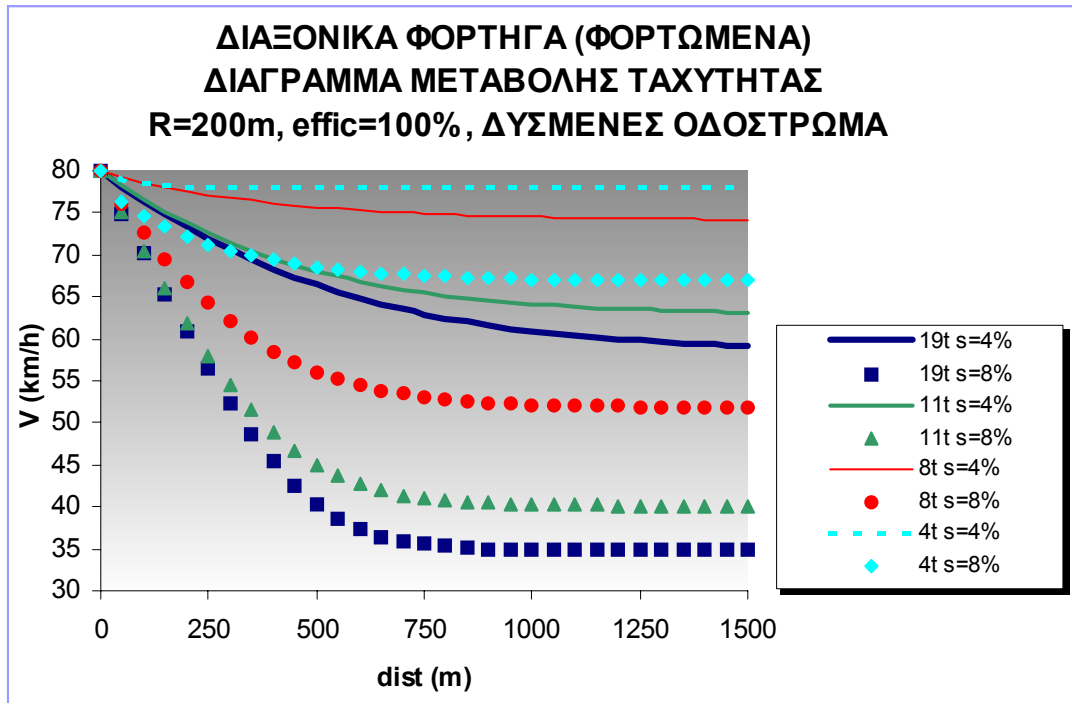
#### 4.2.2 Μεταβολή στην ταχύτητα φορτωμένων διαξονικών φορτηγών

Είναι προφανές ότι στην περίπτωση των φορτωμένων οχημάτων η μεταβολή της ταχύτητας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την μηκοτομή του οδικού δικτύου, την διανυόμενη απόσταση αλλά και με το λόγο μεικτού βάρους/ιπποδύναμης μιας και στους παραπάνω συνδυασμούς οριζοντιογραφίας – μηκοτομής τα εξετασθέντα οχήματα έκαναν χρήση όλης της διαθέσιμης ιπποδύναμης τους ( $n=100\%$ ).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο Σχήμα 4.4 που ακολουθεί φαίνεται και πάλι η μεταβολή της ταχύτητας για τις δύο ακραίες εξετασθείσες κλίσεις. Βέβαια στην περίπτωση αυτή δυσμενέστερες τιμές στην ταχύτητα αναμένεται να παρουσιάζουν τα οχήματα με μεγαλύτερες τιμές του λόγου μεικτού βάρους/ιπποδύναμης.



Σχήμα 4.4. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε όλα τα εξετασθέντα φορτωμένα διαξονικά φορτηγά κατά την κίνησή τους στις ακραίες εξετασθείσες κλίσεις για ακτίνα R=200m.

Συγκρίνοντας τα τρία τελευταία διαγράμματα φαίνεται ότι πιο κρίσιμες καταστάσεις όσον αφορά την μείωση της ταχύτητας, παρατηρούνται στα φορτωμένα οχήματα. Έτσι, πέρα από τις διαφορετικές παραμέτρους επιρροής της ταχύτητας ανάλογα με τον τρόπο φόρτωσης, αυτός είναι και ένας άλλος λόγος για τον οποίο αυτού του είδους τα οχήματα χρήζουν ξεχωριστής αντιμετώπισης.

### 4.3 Εφαρμογή του Μοντέλου στην Αξιολόγηση της Λειτουργικότητας Μιας Τρισδιάστατης Χάραξης

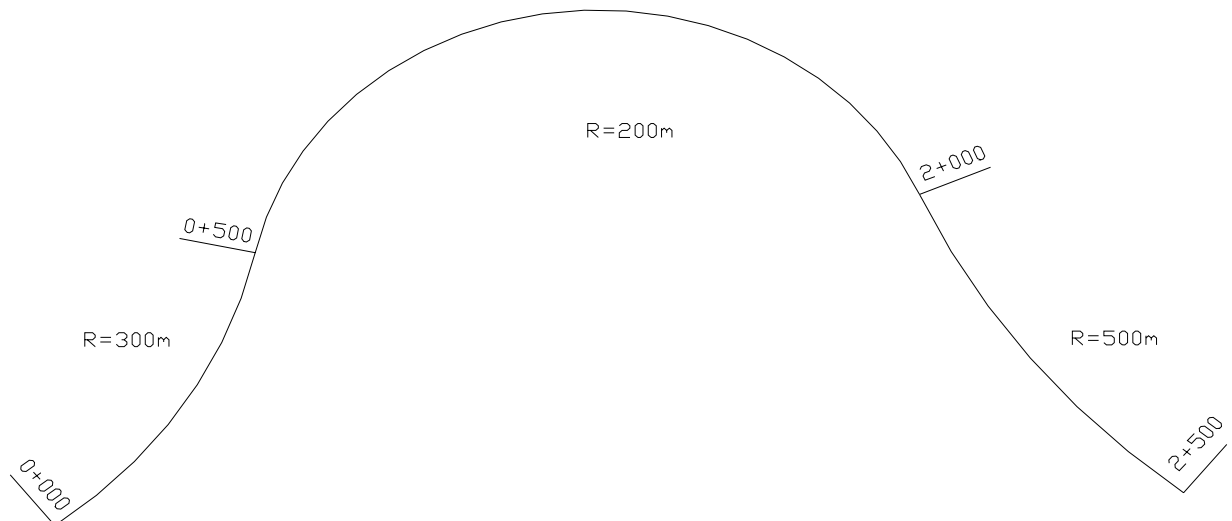
Το ζητούμενο μέσα από το δυναμικό μοντέλο προσδιορισμού της μεταβολής στην ταχύτητα είναι η δυνατότητα εφαρμογής του στην αξιολόγηση του βαθμού λειτουργικότητας παλαιών αλλά και νέων χαράξεων.

Στο παρόν εδάφιο επιχειρείται η παρουσίαση της δυνατότητας αυτής σε υποθετική χάραξη στην οποία αντιπαραβάλλεται και η υφιστάμενη μεθοδολογία όπως αυτή δίδεται από το Εγχειρίδιο Ικανότητας Οδού (HCM) [24]. Για λόγους απλοποίησης δεν ελήφθησαν υπόψη οριζόντιες και κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής των οποίων η δυνατότητα να ληφθούν υπόψη είναι σχετικά απλή. Τα χαρακτηριστικά του οχήματος που ελήφθη είναι

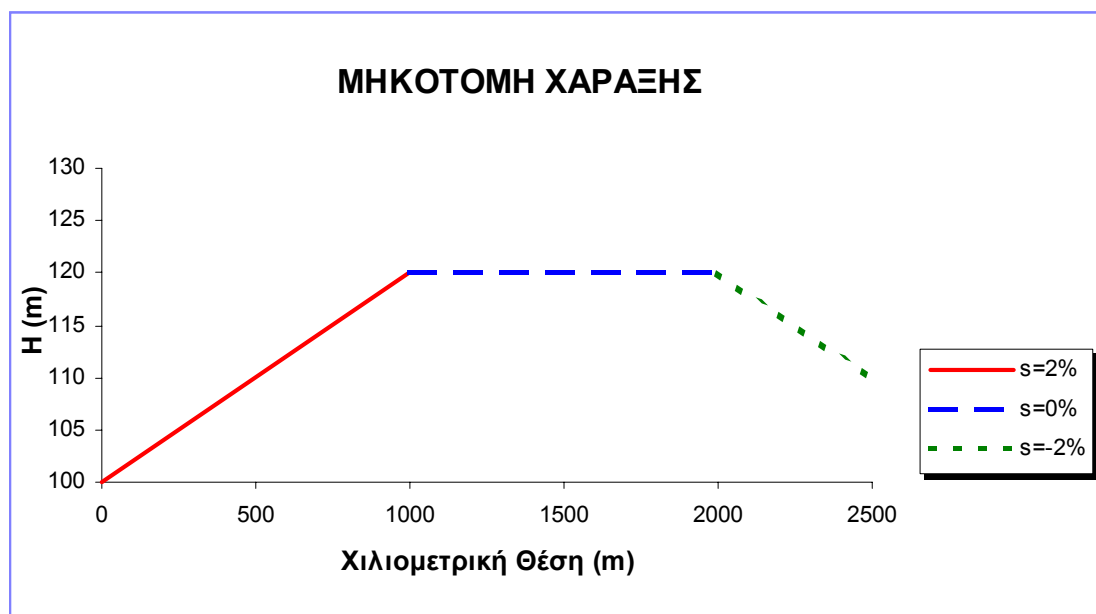
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

όμοια με αυτά του φορτωμένου φορτηγού των 19<sup>t</sup> (Πίνακας 3.1). Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται η οριζοντιογραφία της χάραξης ενώ η αντίστοιχη μηκοτομή παρατίθεται στο Σχήμα 4.6.

Όσον αφορά στις τιμές που προτείνονται από το HCM [24] πρέπει να τονιστεί ότι αυτές εκφράζουν μάλλον μια συντηρητική θέση. Η άποψη αυτή, έρχεται σε συμφωνία και με παρόμοια μελέτη [20] η οποία επαληθεύτηκε εκτεταμένα με μετρήσεις πεδίου και έδειξε ισχυρή συσχέτιση με το υπόψη μοντέλο [16]. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι όσον αφορά στο υπόψη φορτηγό, σε 0% κατά μήκος κλίση, ενώ το HCM [24] δείχνει ως τελική ταχύτητα ανάβασης τα 90km/h, τόσο η παρούσα έρευνα όσο και η σχετικά πρόσφατη [20] δείχνουν την αντίστοιχη ταχύτητα να υπερβαίνει τα 110km/h. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι τιμές του HCM [24] ελήφθησαν από μετρήσεις στη δεκαετία του 1950 οι οποίες εκφράζουν κίνηση όχι κατ'ανάγκη σε συνθήκες μέγιστης επιτάχυνσης.



Σχήμα 4.5. Οριζοντιογραφία χάραξης (σκαρίφημα).

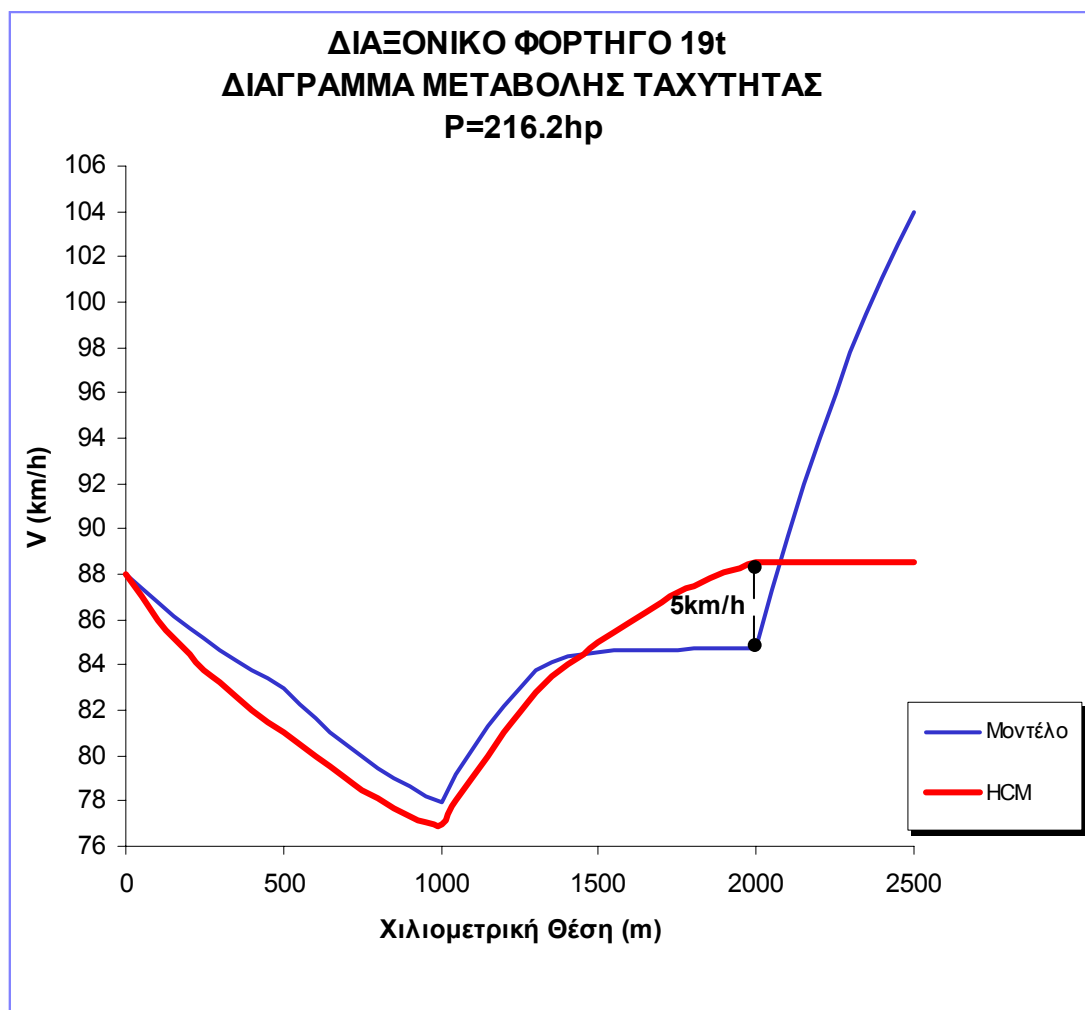


Σημείωση :  $e=7\%$  για  $R_1=300m$ ,  $R_2=200m$  και  $R_3=500m$  αντίστοιχα.

$H$  : ύψος (m),  $R$  : οριζόντια ακτίνα (m),  $s$  : κλίση (%),  $e$  : επίκλιση (%)

Σχήμα 4.6. Μηκοτομή χάραξης.

Στο Σχήμα 4.7 φαίνεται η μεταβολή στην ταχύτητα του οχήματος κατά την κίνησή του σύμφωνα με τη γεωμετρία της εφαρμογής αλλά και σύμφωνα με την υφιστάμενη πρακτική [24]. Πάντα σύμφωνα με το Σχήμα 4.7, μετά τα πρώτα 500m είναι εμφανής η αλλαγή στην καμπυλότητα της οδού (οριζοντιογραφικά) γεγονός που αγνοείται από την υφιστάμενη πρακτική [24]. Επιπλέον, μεταξύ των θέσεων ΧΘ.1+000 – ΧΘ.2+000 το όχημα δεσμεύεται οριζοντιογραφικά ( $R=200m$ ) και εξαναγκάζεται να κινηθεί με ταχύτητα ακόμα και μικρότερη της προτεινόμενης από το HCM [24] με αποτέλεσμα τελικά να υπάρχει μια διαφορά της τάξης των 5km/h της οποίας η τιμή είναι αρκετά αυξημένη για να αγνοηθεί. Τέλος, στην ακτίνα των 500m η ταχύτητα του οχήματος, λόγω μηκοτομής, αυξάνεται πέραν των 88km/h και μεταβάλλεται σύμφωνα με το Σχήμα 4.7.



Σημείωση : Όριο ταχύτητας φορτηγών 80km/h, W/P = 200lb/hp

W : βάρος οχήματος, P : ιπποδύναμη (hp), V : ταχύτητα (km/h)

Σχήμα 4.7. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας διαξονικού φορτηγού σε δεδομένη χάραξη και αντιπαραβολή με την υφιστάμενη πρακτική [24].

Το προτεινόμενο μοντέλο

- λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της οριζόντιας χάραξης
- έχοντας τη δυνατότητα να εξομοιώσει την κίνηση οποιουδήποτε οχήματος σχεδιασμού

δύναται να καλύψει το κενό της υφιστάμενης πρακτικής [24], [25] δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσδιορίσει με καλή ακρίβεια την στιγμιαία ταχύτητα κατά μήκος μιας οδού, θέτοντας με τον τρόπο αυτό εκ των προτέρων γνωστό το πραγματικό επίπεδο εξυπηρέτησής της και συμβάλλοντας αποφασιστικά στην βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής

Βέβαια, πρέπει να αναφερθεί ότι στις κατωφέρεις αυξημένης κλίσης η εφαρμογή του μοντέλου έχει θεωρητικό χαρακτήρα δεδομένου ότι στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται και η εισαγωγή (γνώση) του συστήματος πέδησης του οχήματος σχεδιασμού προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη αστοχία κατά την διαδικασία της πέδησης, γεγονός που ξεφεύγει από τον επιστημονικό προσανατολισμό της παρούσας εργασίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Lamm, R.,E.M. Choueiri, and T.Mailaender. Traffic Safety on Two Continents - A Ten Year Analysis of Human and Vehicular Involvement. In Proceedings of Proc., Strategic Highway Research Program (SHRP) and Traffic Safety on Two Continents, Swedish Road and Traffic Research Institute, Linkoeeping, Sweden, Gothenburg, Sweden, 18-20 Sept 1991, VTI rapport 372A, Part 1, pp.121-136.
2. Brinkman C.P., and S.A.Smith. Two Lane Rural Highway Safety. Public Roads, Vol.48, No.2, Sept.1984, pp.48-53.
3. Guidelines for the Design of Roads, (RAS-L-1),1984 Ed.German Road and Transportation Research Association, Committee 2.3, Geometric Design Standards.
4. Swiss Association of Road Specialists (VSS). Swiss Norm SN 640080a/b. Highway Design, Fundamentals. Speed as a Design Element. 1981 and 1991 Eds.
5. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. AASHTO, Washington, DC, 2001.
6. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. Τεύχος 3, Χαράξεις. Αθήνα 2001.
7. Macadam C.C., Fancher P.S. and Segal L. Side Friction for Superelevation on Horizontal Curves. Final Technical Report, DTFH61-85-C-00019, Federal Highway Administration, Washington DC, August 1985.
8. Κονταράτος Μ. Σχέσεις Γεωμετρικών Μεγεθών Οδού με Βάση τα Κριτήρια της Ασφάλειας και της Κατανάλωσης Καυσίμου κατά την Προώθηση Επιβατηγού Οχήματος. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π Αθήνα 1990.

9. Durth, W. A Contribution to the Extension of the Model for Driver, Vehicle and Road in Highway Geometric Design. Research Report Road and Traffic Engineering, vol.163, Germany, 1974.
10. Glennon, J.C. State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design. Texas Transportation Institute Research Report no.134-4 Washington, D.C., 1983.
11. Gillespie T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society of Mining Metallurgy and Exploration Inc. 1992
12. Dixon J.C. Tires, Suspension and Handling. Second Edition. Society of Automotive Engineers, Inc Warrendale, Pa. United Kingdom 1996.
13. Spentzas C.N. An Energy Flow-Analysis Approach to the Design of Vehicle Systems. Proceedings for the Dedicated Conference on Mechatronics, Efficient-Computer Support for Engineering, Manufacturing, Testing and Reliability. ISATA, Stuttgart Germany, 1995.
14. Σπέντζας Κ. Σημειώσεις Μαθήματος «Κατασκευή Οχημάτων». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Αθήνα 1994
15. Psarianos B. Ein Beitrag zu der Entwicklung des Raumlichen Trassierungsprozesses von Verkehrswegen und Insbesondere von Strassen. Dissertation, Hannover 1982.
16. Μαυρομάτης Σ. Διερεύνηση Ασφάλειας και Λειτουργικότητας Οδού Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας ως προς την Κίνηση Διαξονικών Οχημάτων Σε Αυξημένες Κατά Μήκος Κλίσεις. Υπό έκδοση διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών. Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης. Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής. Αθήνα 2001.
17. Reimpell J. and Helmut Stoll. The Automotive Chassis: Engineering Principles. 3<sup>rd</sup> Edition. Germany 1995.
18. New Methods for Determining Requirements for Truck-Climbing Lanes. Federal Highway Administration. Office of

- Implementation. Publication No. FHWA-IP-89-022, Washington, D.C. September 1989.
19. Gillespie, Thomas D. "Methods for Predicting Truck Speed Loss on Grades". Final Report prepared by Transportation Research Institute, the University of Michigan for the Federal Highway Administration, October 1986.
  20. Rahka H., I. Lucic. S. Demarchi, M. Van Aerde, and J. Setti. *Vehicle Kinematics Model for Predicting Maximum Truck Acceleration Levels*. Presented at the 2001 Meeting, Transportation Research Board, Washington DC., 2001 USA.
  21. Carsim Software, Mechanical Simulation Corporation. University of Michigan Transportation Research Institute, 1998 USA.
  22. Lamm R. and E.M.Choueiri. Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods. Research Reports for the State University of New York Research Foundation. Contract No.: RF 320-PH72350. Albany. New York Part I: July 1987. Part II: Oct. 1987
  23. Harwood D.W., Mason J.M., Glauz W.D., Kulakowski B.T and Fitzpatrick K. Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation. Volume I, II. US. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-rd-89-226, August 1990.
  24. TRB. Highway Capacity Manual. Special Report 209. National Research Council, 3<sup>rd</sup> ed. Revised. Washington, DC 1997.
  25. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. Τεύχος 5, Πρόσθετες Λωρίδες Κυκλοφορίας. Αθήνα 2001.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### **συμβολισμοί**



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- $A_d$  : αεροδυναμική αντίσταση (N)  
 $A_f$ : μετωπική επιφάνεια (N)  
 $A_N$  : δυναμική άνωση (N)  
 $b$  : οριζόντια απόσταση κέντρου βάρους από τον εμπρόσθιο άξονα (m)  
 $c$  : οριζόντια απόσταση κέντρου βάρους από τον οπίσθιο άξονα (m)  
 $C_{af}$ : συντελεστής ακαμψίας ελαστικού στον οπίσθιο άξονα (kp/rad)  
 $C_{af}$ : συντελεστής ακαμψίας ελαστικού στον εμπρόσθιο άξονα (kp/rad)  
 $c_A$ : αεροδυναμικός συντελεστής πλευρικής δύναμης  
 $c_N$ : αεροδυναμικός συντελεστής άνωσης  
 $c_d$  : αεροδυναμικός συντελεστής μετωπικής επιφάνειας  
 $coeff$ : συντελεστής πρόσφυσης οδοστρώματος (1,10-1,45)  
 $d_o$ : αρχικό διάστημα προσδιορισμού μεταβολής ταχύτητας (m)  
 $d_{fin}$ : τελικό διάστημα προσδιορισμού μεταβολής ταχύτητας (m)  
 $dist$  : διανυόμενη απόσταση (m)  
 $e$  : επίκλιση οδοστρώματος (%/100)  
 $effic$ : δυνατότητα εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ιπποδύναμης από τον οδηγό (%)  
 $e_V$  : ποσοστό μετατόπισης φορτίου  $2\Delta P_i/P_i$   
 $e_f$  : ποσοστό μετατόπισης φορτίου στον εμπρόσθιο άξονα  
 $e_r$  : ποσοστό μετατόπισης φορτίου στον οπίσθιο άξονα  
 $F_k$  : δύναμη αντίστασης κύλισης (N)  
 $F_{kf}$  : δύναμη αντίστασης κύλισης εμπρόσθιου άξονα (N)  
 $F_{kr}$  : δύναμη αντίστασης κύλισης οπίσθιου άξονα (N)  
 $F_x$  : προωθητική ροπή (N)  
 $f_R$  : εγκάρσιος πλευρικός συντελεστής τριβής  
 $f_{Rass}$  : διατιθέμενος εγκάρσιος συντ.τριβής  
 $f_{Rdem}$  : απαιτούμενος εγκάρσιος συντ.τριβής  
 $f_{Rmax}$  : μέγιστος εγκάρσιος συντελεστής τριβής  
 $f_{Tmax}$  : μέγιστος επαπτομενικός συντελεστής τριβής  
 $g$  : επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81m/sec^2$ )  
 $h$  : ύψος του κέντρου βάρους της ολικής μάζας του οχήματος (m)  
 $h_{BR}$  : απόσταση μεταξύ κέντρου βάρους σώματος και κέντρου ανατροπής (m)  
 $h_d$  : ύψος κέντρου πλοήγησης οχήματος (m)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- $h_{Ri}$  : ύψος κέντρου ανατροπής (m) (i=f,r)
- $h_s$  : ύψος του κέντρου βάρους της μάζας σώματος (m)
- $h_t$  : ύψος ελαστικού (m)
- $L$  : μήκος μεταξόνιου οχήματος (m)
- $l_f$  : μήκος εμπρόσθιου άξονα από το κέντρο βάρους οχήματος (m)
- $l_r$  : μήκος οπίσθιου άξονα από το κέντρο βάρους οχήματος (m)
- $m$  : ολική μάζα του οχήματος ( $m_s+m_{uf}+m_{ur}$ ) (kgr)
- $m_r$  : μάζα του οχήματος που αναλαμβάνει ο οπίσθιος άξονας (kgr).
- $m_s$  : μάζα σώματος (kgr)
- $m_{uf}$  : εμπρόσθια μάζα άξονα (kgr)
- $m_{ur}$  : οπίσθια μάζα άξονα (kgr)
- $n$  : ποσοστό εκμετάλευση ιπποδύναμης του οχήματος (%/100)
- $P$ : ισχύς της μηχανής που κάνουν χρήση οι τροχοί (net power) (HP)
- $P_r$  : ατμοσφαιρική πίεση (kpasal)
- $P_{Zoi}$  : κατακόρυφο φορτίο που αναλαμβάνει ο εξωτερικός τροχός (N) (i άξονας)
- $P_{Zli}$  : κατακόρυφο φορτίο που αναλαμβάνει ο εσωτερικός τροχός (N) (i άξονας)
- $P_{ro}$  : φορτίο του οπίσθιου άξονα που αναλαμβάνει ο εξωτερικός τροχός (N)
- $P_{ri}$  : φορτίο του οπίσθιου άξονα που αναλαμβάνει ο εσωτερικός τροχός (N)
- $P_{fi}$  : φορτίο του εμπρόσθιου άξονα που αναλαμβάνει ο εσωτερικός τροχός (N)
- $P_{fo}$  : φορτίο του εμπρόσθιου άξονα που αναλαμβάνει ο εξωτερικός τροχός (N)
- $R$  : ακτίνα οριζόντιου κυκλικού τόξου (m)
- $S_r$  : οπίσθια εγκάρσια δύναμη (N)
- $S_f$  : εμπρόσθια εγκάρσια δύναμη (N)
- $S_{fi}$  : εγκάρσια στατική τριβή του εμπρόσθιου άξονα στον εσωτερικό τροχό (N)
- $S_{fo}$  : εγκάρσια στατική τριβή του εμπρόσθιου άξονα στον εξωτερικό τροχό (N)
- $S_{ri}$  : εγκάρσια στατική τριβή του οπίσθιου άξονα στον εσωτερικό τροχό (N)
- $S_{ro}$  : εγκάρσια στατική τριβή του οπίσθιου άξονα στον εξωτερικό τροχό (N)
- $S_{ii}$  : εγκάρσια στατική τριβή στον εσωτερικό τροχό (i άξονας) (N)
- $S_{oi}$  : εγκάρσια στατική τριβή στον εξωτερικό τροχό (i άξονας) (N)
- $s$  : κατά μήκος κλίση οδοστρώματος (%/100)
- $t$  : πλάτος άξονα (m)
- $t$  : χρόνος (sec)
- $U_i$  : επιτρόχια πρόσφυση (i άξονας) (N)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

---

$U_{fi}$  : επιτρόχια στατική τριβή του εμπρόσθιου άξονα στον εσωτερικό τροχό (N)

$U_{fo}$ : επιτρόχια στατική τριβή του εμπρόσθιου άξονα στον εξωτερικό τροχό (N)

$U_{ri}$  : επιτρόχια στατική τριβή του οπίσθιου άξονα στον εσωτερικό τροχό (N)

$U_{ro}$ : επιτρόχια στατική τριβή του οπίσθιου άξονα στον εξωτερικό τροχό (N)

$V$  : ταχύτητα οχήματος (m/sec) ή (km/h)

$V_{safe}$  : μέγιστη σταθερή ταχύτητα οχήματος (km/h)

$V_d$  : ταχύτητα Μελέτης (km/h)

$\alpha$  : γωνία πλαγιοδρόμησης του τροχού (rad)

$\alpha_i$ : γωνία πλαγιοδρόμησης των τροχών ( $i=f,r$ )

$\beta$  : γωνία πλαγιοδρόμησης οχήματος (rad)

$\beta_i$ : γωνία απόκλισης της ταχύτητας των τροχών ως προς τον διαμήκη άξονα οχήματος (rad)

$\Delta P_i$ : μετατόπιση φορτίου για διαξονικό όχημα ( $i$  άξονας) (N)

$\varepsilon$  : γωνία ανατροπής του άξονα ως προς την επιφάνεια του οδοστρώματος

$\theta_i$ : γωνία απόκλισης της διεύθυνσης των τροχών ως προς το διαμήκη άξονα

$K_{\phi i}$  : ακαμψία ανατροπής του  $i$  άξονα ( $i=f,r$ ) (Nm/rad)

$\phi$  : γωνία ανατροπής (rad)