



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΕΩΝ ΩΣ  
ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ ΣΕ  
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΟΙΛΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ**



**Κωνσταντίνος Νάκας**

**Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2021**

*Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.*



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΑΝΩ  
ΔΙΑΒΑΣΕΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ  
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ  
ΚΟΙΛΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ**

**Κωνσταντίνος Νάκας**

**Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Νοέμβριος 2021**

*Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται ένα κομμάτι της ζωής μου κατά την διάρκεια του οποίου απέκτησα πολύτιμες γνώσεις. Νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όσους με στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή Στέργιο Μαυρομάτη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα θέμα που βρήκα εξαιρετικά ενδιαφέρον. Με βοήθησε να εμβαθύνω στο θέμα αυτό και να λάβω πολύτιμη εμπειρία για το πως λειτουργεί ο ακαδημαϊκός χώρος.

Τέλος, θέλω ακόμα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που μου συμπαραστάθηκαν και με βοήθησαν στην απόκτηση του διπλώματός μου.

## ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τις περιπτώσεις που η ύπαρξη άνω διάβασης σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη διακόπτει την ορατότητα ενός οδηγού φορτηγού. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση θέσεων στις οποίες διακόπτεται η ορατότητα στην κοίλη κατακόρυφη καμπύλη, ώστε να δημιουργηθεί ένα χρήσιμο εργαλείο για συγκοινωνιολόγους. Η διερεύνηση γίνεται με βάση το Μήκος Ορατότητας Στάσης (ΜΟΣ). Ο υπολογισμός πραγματοποιείται σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη για τον προσδιορισμό του ΜΟΣ σε μεταβλητές κλίσεις. Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν αφαιρώντας το υψόμετρο του δρόμου από το υψόμετρο της γραμμής ορατότητας του οδηγού φορτηγού, σε προκαθορισμένες θέσεις. Έπειτα, συγκρίθηκαν αυτές οι τιμές με τα προτεινόμενα ελεύθερα ελάχιστα ύψη άνω διαβάσεων (4.3 – 4.9 μέτρα). Η έρευνα έδειξε ότι οι ταχύτητες σχεδιασμού 90 – 110 km/h παρουσιάζουν πρόβλημα, σε αντίθεση με τις ταχύτητες 50 – 80 km/h. Ειδικότερα, οι ταχύτητες 100 km/h και 110 km/h είναι οι πιο κρίσιμες, καθώς είναι προβληματικές ακόμα και για ελεύθερο ελάχιστο ύψος 4.9 μέτρα. Οι περιπτώσεις με πρόβλημα απαιτούν περαιτέρω προσοχή και έρευνα.

**Λέξεις – Κλειδιά:** Φορτηγό, Κοίλη κατακόρυφη καμπύλη, Μήκος Ορατότητας Στάσης, Άνω διάβαση, Ελεύθερο ελάχιστο ύψος.

## **ABSTRACT**

This thesis investigates cases where overpassing structures on sag vertical curves disrupt the sight line of truck drivers. The aim of the thesis is to identify positions where sight line is disrupted, in order to create a useful tool for traffic engineers. Investigation is performed utilizing Stopping Sight Distance (SSD). Calculation is carried out according to a recent study which determines SSD at variable grades. Results were calculated by subtracting the road alignment from the truck driver's line of sight, on fixed locations. These values were then compared with the suggested vertical clearance (4.3 – 4.9 meters). Investigation showed that design speeds of 90 – 110 km/h are problematic, in contrast to speeds of 50 – 80 km/h. In particular, 100 km/h and 110 km/h are the most critical, as they are problematic even for a vertical clearance of 4.9 meters. Such problematic cases require further attention and investigation.

**Key-words:** Trucks, Sag vertical curve, Stopping Sight Distance, Overpass, Vertical Clearance.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όσο μικρότερο είναι το μήκος ορατότητας τόσο λιγότερος είναι ο διαθέσιμος χρόνος που έχει ο οδηγός στην διάθεση του για την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας. Όταν το μήκος ορατότητας περιορίζεται, η σημασία της εμπειρίας του οδηγού στη χρήση της οδού αυξάνεται. Το ελάχιστο μήκος ορατότητας είναι το Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ) και είναι αυτό που επιτρέπει σε ένα όχημα που κινείται με την ταχύτητα σχεδιασμού να ακινητοποιηθεί πριν προσκρούσει σε κάποιο σταθερό εμπόδιο.

Το όχημα αναφοράς σε πολλές μελέτες για τον υπολογισμό του ΜΟΣ είναι το επιβατικό, χωρίς να γίνεται κάποια αναφορά σχετικά με τις τιμές ΜΟΣ των φορτηγών. Παρότι η δυναμική της κίνησης φορτηγών οχημάτων διαφέρει πολύ από τα επιβατικά, στην υφιστάμενη πρακτική, κρίσιμες καταστάσεις που ενδεχομένως να προκύπτουν από την πέδηση φορτηγών δεν εξετάζεται Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το μήκος ορατότητας για στάση που προκύπτει από την πέδηση φορτηγών.

Η διαδικασία ακινητοποίησης ενός φορτηγού απαιτεί μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ του οδηγού, του συστήματος πέδησης, των διαστάσεων του φορτηγού, των χαρακτηριστικών φόρτωσης του φορτηγού και των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Τα φορτηγά χρειάζονται μεγαλύτερα μήκη πέδησης από τα επιβατικά οχήματα όμως λόγω της σημαντικά υψηλότερης θέσης οδήγησης που έχουν τα φορτηγά αυτό γενικά αντισταθμίζεται.

Με βάση το ΜΟΣ προσδιορίζονται οι κυρτές και κοίλες κατακόρυφες καμπύλες όμως όταν σε περιοχές με κοίλες κατακόρυφες καμπύλες υπάρχουν άνω διαβάσεις υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν διακοπές στο πεδίο ορατότητας του οδηγού φορτηγού και έτσι να επηρεαστεί το ΜΟΣ.

Για τον εντοπισμό των θέσεων και των αντίστοιχων κλίσεων τους λήφθηκαν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν και πραγματοποιήθηκε διερεύνηση για κάθε συνδυασμό τους.

Συγκεκριμένα εξετάστηκε η επιρροή των (i) εκάστοτε ταχυτήτων (50 – 110 km/h), (ii) των ακτινών κοίλης κατακόρυφης καμπύλης, (iii) των κάθε



επιτρεπόμενων κλίσεων ανάλογα με τον τύπο εδάφους αλλά και τον τύπο οδού, (iv) των τιμών ελάχιστου ελεύθερου ύψους σε οδούς με άνω διάβαση και (v) των τιμών ΜΟΣ των φορτηγών.

Αρχικά υπολογίστηκε το ΜΟΣ επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη για την διερεύνηση του ΜΟΣ σε μεταβλητές κλίσεις που συσχετίζει το μοντέλο της σημειακής μάζας και τους νόμους της μηχανικής.

Στην συνέχεια έγινε μετατροπή (προσαυξήθηκε) το μήκος πέδησης του επιβατικού οχήματος σε φορτηγό σύμφωνα με συντελεστή που προέκυψε από την βιβλιογραφία. Για την εύρεση των αποτελεσμάτων ελέγχθηκε η υψομετρική διαφορά μεταξύ της γραμμής ορατότητας του οδηγού με τον δρόμο και συγκρίθηκε με τις επιθυμητές τιμές του ελάχιστου ελεύθερου ύψους (4.3, 4.6, 4.9 μέτρα). Από τους υπολογισμούς προέκυψε ότι υπάρχουν θέσεις που διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού και ως εκ τούτου μπορεί να υπάρξει κίνδυνος ατυχήματος. Οι θέσεις αυτές παρατηρούνται στις ταχύτητες 90 ως 110 km/h σε αντίθεση με τις 50 ως 80 km/h.

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκαν πίνακες για κάθε συνδυασμό ταχύτητας και ακτίνας κατακόρυφης καμπύλης με όλες τις κλίσεις των θέσεων που παρουσιάζουν πρόβλημα. Από αυτούς προέκυψαν τα τελικά διαγράμματα με τα όρια των κρίσιμων θέσεων.

Επιπλέον, στα διαγράμματα αυτά περιέχονται και οι κλίσεις όπου περατώνεται η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{end\_braking}$ ).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Γενική Ανασκόπηση .....	4
1.2 Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας.....	6
1.3 Μεθοδολογία .....	7
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	10
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	12
2.1 Γενικά .....	12
2.2 Πράσινο Βιβλίο Αμερικάνικης Ένωσης Εθνικών Οδών και Μεταφορών – Green Book by AASHTO.....	12
2.3 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις – Τεύχος 3.....	13
2.4 Εθνικό πρόγραμμα έρευνας αυτοκινητοδρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής – Έκθεση 270 – Parameters Affecting Stopping Sight Distance (National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 270) .....	14
2.5 Εθνικό πρόγραμμα έρευνας αυτοκινητοδρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής – Έκθεση 505 – Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design (NCHRP Report 505).....	15
2.6 Δημοσίευση στο Advances in Transportation Studies: Controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation (S, Mavromatis, N. Stamatiadis, B. Psarianos, G. Yannis) .....	16
2.7 Heavy Trucks Safety Study (1987).....	17
2.8 Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων - Federal Highway Administration (FHWA).....	18
2.9 Σύνοψη.....	18
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	19
3.1 Μήκος ορατότητας.....	19
3.1.1 Ύψος οφθαλμών του οδηγού.....	20
3.1.2 Ύψος εμποδίων .....	20
3.2 Μήκος Ορατότητας για Στάση .....	21
3.2.1 Χρόνος αντίδρασης.....	21
3.2.2 Μήκος Πέδησης .....	21
3.2.3 Επιρροή των κλίσεων στο Μήκος Ορατότητας για Στάση .....	23
3.3 Κατακόρυφη καμπύλη .....	24

3.3.1 Κοίλες και κυρτές κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ - Χ .....	25
3.3.2 Τιμή Κ .....	27
3.3.3 Κοίλες κατακόρυφες καμπύλες .....	28
3.4 Ελάχιστο ελεύθερο ύψος σε δρόμους με άνω διάβαση.....	30
3.5 Μήκος ορατότητας σε υπόγεια διάβαση .....	31
3.6 Μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις .....	32
4. Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων.....	36
4.1 Υπολογισμός μήκους πέδησης σε μεταβλητές κλίσεις .....	36
4.2 Ρυθμός Επιβράδυνσης Φορτηγών .....	38
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα .....	42
5.1 Γενικά .....	42
5.2 Μεθοδολογία – Αποτελέσματα .....	42
5.3 Σύνοψη.....	55
6. Συμπεράσματα.....	56
6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	56
6.2 Διατύπωση συμπερασμάτων - προτάσεων .....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	61
Π.1 Πίνακες ταχυτήτων – ακτινών .....	61
Π.2 Κώδικας Python .....	71

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1 – Σχηματική απεικόνιση σταδίων Διπλωματικής Εργασίας.....	9
Σχήμα 3.1 – Απεικόνιση της γραμμής ορατότητας.....	20
Σχήμα 3.2 – Τύποι κατακόρυφων καμπυλών.....	25
Σχήμα 3.3 – Σχέσεις υπολογισμού κατακόρυφων καμπυλών.....	26
Σχήμα 3.4 – Σχηματική απεικόνιση παραμέτρων για τους υπολογισμούς κοίλης κατακόρυφης καμπύλης.....	29
Σχήμα 3.5 – Μήκος ορατότητας σε υπόγειες διαβάσεις.....	31
Σχήμα 4.1 – Σχήμα με περιγραφή του παραδείγματος από την δημοσίευση με τίτλο: «controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation».....	38
Σχήμα 5.1 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για $V = 90$ km/h και για $H_w$ $= (3800 - 4400\text{m})$ .....	50
Σχήμα 5.2 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για $V = 100$ km/h και για $H_w = (4500 - 4900\text{m})$ .....	51
Σχήμα 5.3 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για $V = 100$ km/h και για $H_w = (5000 - 5400\text{m})$ .....	52
Σχήμα 5.4 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για $V = 110$ km/h και για $H_w = (5500 - 6200\text{m})$ .....	53
Σχήμα 5.5 – Ψευδοκώδικας.....	54

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1– Μήκος Ορατότητας για Στάση σε επίπεδη οδό.....	23
Πίνακας 2 – Τιμές $K$ για κοίλες κατακόρυφες καμπύλες.....	30
Πίνακας 3 – Ελεύθερο ελάχιστο ύψος για κάθε κατηγορία οδού.....	31
Πίνακας 4 – Maximum Grades for Local Roads in Rural Areas.....	33
Πίνακας 5 – Maximum Grades for Recreational Roads.....	33
Πίνακας 6 – Maximum Grades for Collectors in Rural Areas.....	33
Πίνακας 7 – Maximum Grades for Collector Streets in the Urban and Urban Core Contexts.....	33
Πίνακας 8 – Maximum Grades for Arterials in Rural Areas.....	34
Πίνακας 9 – Maximum Grades for Arterials in Urban Areas.....	34
Πίνακας 10 – Maximum Grades for Freeways in Rural and Urban Areas.....	34
Πίνακας 11 – Μέγιστες κλίσεις ανά ταχύτητα.....	35
Πίνακας 12 – Ρυθμοί Επιβράδυνσης Φορτηγών.....	40
Πίνακας 13 – Μέγιστες κλίσεις για ταχύτητες 50-110 km/h.....	43
Πίνακας 14 – Ακτίνες κοίλης κατακόρυφης καμπύλης ανάλογα με την ταχύτητα.....	44
Πίνακας 15 – Όρια για $V = 90$ km/h - $H_w = 3800$ m.....	49

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Τα φορτηγά διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από άλλους τύπους οχημάτων, όσον αφορά τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους. Είναι σημαντικά μεγαλύτερα συνεπώς καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο στην οδό. Είναι επίσης λιγότερο ευέλικτα από τα επιβατικά οχήματα και γενικά κινούνται πιο αργά.

Κάποια βασικά κριτήρια σχεδιασμού λαμβάνουν υπόψη τους τα φορτηγά ως όχημα σχεδιασμού, όμως κάποια άλλα κριτήρια βασίζονται αποκλειστικά στα χαρακτηριστικά των επιβατικών οχημάτων με ελάχιστη ή και καθόλου αναφορά στα φορτηγά. Ο αντίκτυπος των φορτηγών δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά [1].

Ένα τέτοιο κριτήριο είναι το μήκος ορατότητας, δηλαδή το εκάστοτε διατιθέμενο ορατό μήκος οδού το οποίο βρίσκεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού και του επιτρέπει την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία του οχήματος. Όσο μικρότερο είναι τόσο λιγότερος είναι ο διαθέσιμος χρόνος που έχει ο οδηγός στην διάθεση του για την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας. Το μήκος ορατότητας εξαρτάται από το ύψος των οφθαλμών του οδηγού πάνω από την επιφάνεια της οδού από το ύψος του εμποδίου και από την θέση των παράπλευρων εμποδίων [2]. Όταν το μήκος ορατότητας περιορίζεται, η σημασία της εμπειρίας του οδηγού στη χρήση της οδού αυξάνεται. Η εμπειρία στη χρήση της οδού εξαρτάται από τον αριθμό διελεύσεων του οδηγού από το συγκεκριμένο τμήμα της οδού, από την ομοιότητα της οδού με άλλες όπου ο οδηγός έχει εμπειρία και την ακρίβεια των προβλέψεων που πρόσφατα έχει κάνει για την οδό στην οποία κινείται. Το μήκος ορατότητας περιορίζεται από την χάραξη της οδού (κοίλη ή κυρτή καμπύλη), τα πρηνή των ορυγμάτων, το φυσικό ανάγλυφο του εδάφους και το στηθαίο ασφαλείας τύπου New Jersey σε οδούς διαχωρισμένης κυκλοφορίας [3].

Το ελάχιστο μήκος ορατότητας, γνωστό και ως Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ - Stopping Sight Distance) είναι αυτό που επιτρέπει σε ένα όχημα που κινείται με την ταχύτητα σχεδιασμού να ακινητοποιηθεί πριν προσκρούσει σε κάποιο σταθερό εμπόδιο και πρέπει να παρέχεται σε κάθε σημείο κατά μήκος

του δρόμου. Το ΜΟΣ είναι το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών, του μήκους αντίληψης-αντίδρασης που είναι η απόσταση που διανύει το όχημα κατά το χρόνο αντίληψης-αντίδρασης του οδηγού έως την στιγμή που αρχίζει η διαδικασία πέδησης και του μήκους πέδησης που ορίζεται ως η απόσταση που διανύει το όχημα από την στιγμή που ενεργοποιηθεί το σύστημα πέδησης ως την πλήρη στάση του [2].

Σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση Εθνικών Οδών και Μεταφορών (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHSTO) το ΜΟΣ υπολογίζεται λαμβάνοντας τα 2.5 δευτερόλεπτα ως χρόνο αντίδρασης, μια επιλογή που έχει επιβεβαιωθεί σαν κατάλληλη για τους περισσότερους οδηγούς από διάφορες μελέτες [1], μία σταθερή επιβράδυνση οχήματος ( $3.4 \text{ m/s}^2$ ) σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος έχοντας σαν όχημα αναφοράς το επιβατικό και χωρίς να γίνεται κάποια αναφορά σχετικά με τις τιμές ΜΟΣ των φορτηγών αλλά και την λειτουργία τους. Στο “Πράσινο Βιβλίο” (Green Book) του AASHTO, οι τιμές ΜΟΣ προϋποθέτουν επίπεδη οδό, αν και γίνεται αναφορά στις διαφορές στις τιμές του ΜΟΣ μεταξύ ανηφορικών και κατηφορικών κλίσεων. Το ΜΟΣ επηρεάζεται σε πραγματικές συνθήκες από την κλίση της οδού απαιτώντας μεγαλύτερα μήκη σε δρόμους με κατηφορική κλίση και μικρότερα σε δρόμους με ανηφορική.

Η διαδικασία ακινητοποίησης ενός φορτηγού απαιτεί μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ του οδηγού, του συστήματος φρένων, των διαστάσεων του φορτηγού, των χαρακτηριστικών φόρτωσης του φορτηγού και των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Οπότε το φρενάρισμα του φορτηγού είναι πιο περίπλοκο από αυτό του επιβατικού οχήματος [1]. Πέρα από τις διαφορές στα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα φορτηγά πρέπει να φρενάρουν χρησιμοποιώντας ελεγχόμενο φρενάρισμα (controlled braking) επομένως απαιτούν μεγαλύτερα μήκη πέδησης από τις προτεινόμενες τιμές των αμερικάνικων κανονισμών. Ωστόσο πρέπει να επισημανθεί το γεγονός αυτό θεωρητικά τουλάχιστον αντισταθμίζεται από τη σημαντικά υψηλότερη θέση οδήγησης που έχουν τα βαριά οχήματα σε σχέση με τα επιβατικά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το διατιθέμενο μήκος ορατότητας. Κατά συνέπεια τα ΜΟΣ που απαιτούν τα φορτηγά δεν λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό των οδών. Όμως υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις όπου το

πλεονέκτημα της υψηλότερης θέσης οδήγησης εξουδετερώνεται (π.χ. όταν η ορατότητα περιορίζεται από περιφερειακά εμπόδια) και έτσι υπάρχει ανάγκη να παρέχονται ΜΟΣ που υπερβαίνουν τις προτεινόμενες τιμές των κανονισμών, ώστε να εξυπηρετούνται με ασφάλεια και τα φορτηγά.

Με βάση το ΜΟΣ προσδιορίζονται οι κυρτές και κοίλες κατακόρυφες καμπύλες, το πλάτος του ελεύθερου οπτικών εμποδίων χώρου σε δεξιόστροφες καμπύλες (λόγω πρηνών, στηθαίων, κλπ.), καθώς και το πλάτος της εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης ή το εύρος της κεντρικής νησίδας σε αριστερόστροφες καμπύλες οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα. Πολλοί κανονισμοί αγνοούν την επιρροή της κλίσης κατά τον σχεδιασμό [2].

Όσον αφορά όμως τις απαιτήσεις ΜΟΣ των φορτηγών, οι περιπτώσεις που υπάρχουν κοίλες κατακόρυφες καμπύλες με απότομη κλίση φαίνεται να είναι οι πιο κρίσιμες καθώς εκεί οι ταχύτητες των φορτηγών γίνονται ισοδύναμες με αυτές των επιβατικών οχημάτων. Όσον αφορά τις κοίλες κατακόρυφες καμπύλες υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κριτήρια για τον καθορισμό του μήκους τους, το πεδίο ορατότητας των προβολέων (headlight sight distance), η άνεση των επιβατών (passenger comfort), η αποστράγγιση του δρόμου (drainage control) και η γενική εμφάνιση (general appearance). Από αυτά το επικρατέστερο είναι το πεδίο ορατότητας των προβολέων και για αυτόν τον λόγο προτείνεται η χρήση του για τον σχεδιασμό των εν λόγω καμπυλών [2].

## 1.2 Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας

Προκειμένου η οδός να εναρμονίζεται με το φυσικό περιβάλλον και ανάγλυφο, γενικά κατά το σχεδιασμό των άνω διαβάσεων εφαρμόζονται κοίλες κατακόρυφες καμπύλες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα καθώς τα φορτηγά έχουν υψηλότερη θέση οδήγησης από ότι τα επιβατικά οχήματα. Λόγω αυτού υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν διακοπές στο πεδίο ορατότητας του οδηγού και έτσι να επηρεαστεί το ΜΟΣ.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνώνται αυτές οι περιπτώσεις για τον εντοπισμό θέσεων και ορίων όπου υπάρχει διακοπή της ορατότητας του οδηγού φορτηγού.

Η διερεύνηση πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη διάφορες ταχύτητες ενός φορτηγού, τις ακτίνες κοίλης κατακόρυφης καμπύλης, κάθε επιτρεπόμενη κλίση ανάλογα με τον τύπο εδάφους αλλά και τον τύπο οδού, τις τιμές ελάχιστου ελεύθερου ύψους σε οδούς με άνω διάβαση αλλά και τις τιμές του ΜΟΣ και του μήκους πέδησης των φορτηγών χρησιμοποιώντας μία πρόσφατη δημοσίευση όπου οι συγγραφείς της διερεύνησαν το πραγματικό ΜΟΣ των επιβατικών οχημάτων σε κοίλες καμπύλες με βάση τους κανονισμούς της Αμερικάνικης Ένωσης Εθνικών Οδών και Μεταφορών [4].

Στόχος λοιπόν της διπλωματικής εργασίας είναι να εντοπιστούν οι θέσεις και τα όρια όπου περιορίζεται η ορατότητα του οδηγού φορτηγού, σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες με ύπαρξη άνω διάβασης, ώστε να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι αλλά και να αποτελέσει ένα βοήθημα στους συγκοινωνιολόγους μηχανικούς προκειμένου να εντοπίζονται τέτοιες περιοχές στη φάση μελέτης.

### **1.3 Μεθοδολογία**

Για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ακολουθήθηκαν συγκεκριμένα βήματα ώστε να πραγματοποιηθεί μία ολοκληρωμένη προσέγγιση του στόχου. Τα βήματα παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Αρχικά προσδιορίστηκε το αντικείμενο της έρευνας και οριστικοποιήθηκε ο επιδιωκόμενος στόχος της διπλωματικής εργασίας. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του θέματος αλλά και την απόκτηση σχετικής εμπειρίας σχετικά με την επεξεργασία σχετικών δεδομένων. Στη φάση αυτή αναζητήθηκαν έρευνες με θέμα συναφές τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, επιστημονικά άρθρα και γενικότερα άλλες χρήσιμες πηγές πληροφόρησης.

Ύστερα από την μελέτη των δεδομένων που συγκεντρώθηκαν κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός των απαραίτητων στοιχείων, παραμέτρων και μαθηματικών εξισώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Οι κυριότερες πηγές ήταν το πράσινο βιβλίο της Αμερικάνικης Ένωσης Εθνικών Οδών και



Μεταφορών (AASHTO), οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Τεύχος 3: Χαράξεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΟΜΟΕ-Χ) [5], Εθνικό πρόγραμμα έρευνας αυτοκινητοδρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (National Cooperative Highway Research Program - NCHRP) [1] και οι δημοσιεύσεις των Σ. Μαυρομάτη, Ν. Σταματιάδη, Β. Ψαριανού και Γ. Γιαννή [4], [6].

Στο επόμενο στάδιο επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python που είναι διερμηνευόμενη (interpreted), γενικού σκοπού (general-purpose) και υψηλού επιπέδου ως εργαλείο υπολογισμού και εντοπισμού των θέσεων όπου διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού φορτηγού στην περίπτωση που συνυπάρχει κοίλη κατακόρυφη καμπύλη και άνω διάβαση . Η επιλογή της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού έγινε λόγω της δυνατότητας της να πραγματοποιεί πολλές επαναλήψεις για πολλούς διαφορετικούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων και για την απλότητα της. Με τον τρόπο αυτόν προέκυψαν σημαντικά ευρήματα σχετικά με την ορατότητα των οδηγών στην συγκεκριμένη περίπτωση τα οποία καταγράφηκαν και ταξινομήθηκαν. Επίσης δημιουργήθηκαν διαγράμματα για οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων αλλά και καλύτερη κατανόηση τους.

Τέλος έγινε αξιολόγηση και ερμηνεία των ευρημάτων και εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τον βαθμό επιρροής των άνω διαβάσεων σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες στην ορατότητα των οδηγών φορτηγού.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά τα στάδια της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



*Σχήμα 1.1 – Σχηματική απεικόνιση σταδίων Διπλωματικής Εργασίας*

## 1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται σε έξι κεφάλαια, τα οποία περιγράφονται στην συνέχεια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζει το γενικότερο αντικείμενο το που διερευνήθηκε . Επισημαίνεται η σημαντικότητα της ορατότητας στο οδικό σύστημα, προσδιορίζεται το ΜΟΣ και οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται τόσο σε επιβατικά οχήματα όσο και σε φορτηγά. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο επιθυμητός στόχος της έρευνας αλλά και τα στάδια που ακολουθήθηκαν. Τέλος το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την δομή της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Πιο συγκεκριμένα επεξηγούνται περιληπτικά οι έρευνες και οι μελέτες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή και την επεξεργασία όλων των σταθερών και παραμέτρων που χρειάστηκαν για τους υπολογισμούς.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζονται οι ορισμοί βασικών παραμέτρων του οδικού σχεδιασμού σύμφωνα με το Πράσινο βιβλίο του AASHTO αλλά και των ΟΜΟΕ-Χ. Επιπλέον δίνονται οι τύποι υπολογισμού του ΜΟΣ αλλά και των μηκών κατακόρυφων καμπυλών, καθώς και πίνακες με τις προτεινόμενες τιμές για διάφορα μεγέθη όπως το K, SSD, κλίσεις, ελάχιστο ελεύθερο ύψος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους μαθηματικούς τύπους και τα στοιχεία που επιλέχθηκαν από τις έρευνες που μελετήθηκαν. Οι μαθηματικοί αυτοί τύποι χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Python.

Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Εξηγείται η σειρά με την οποία έγιναν οι υπολογισμοί και οι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος παρουσιάζονται πίνακες και διαγράμματα με τα αποτελέσματα για ευκολότερη επεξεργασία αυτών.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, γίνεται σύνοψη των αποτελεσμάτων και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

## **2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1 Γενικά**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε με στόχο τόσο τον προσδιορισμό του αντικειμένου της Διπλωματικής εργασίας όσο και για την επιλογή των παραμέτρων για την υλοποίηση του πειραματικού της μέρους. Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρατίθενται συναφείς έρευνες με το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας οι οποίες μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται έρευνες σχετικές με το ΜΟΣ αλλά και τα φορτηγά σαν όχημα σχεδιασμού. Για κάθε επιστημονική έρευνα παρατίθεται η σύνοψη της που περιλαμβάνει το πλαίσιο της.

### **2.2 Πράσινο Βιβλίο Αμερικάνικης Ένωσης Εθνικών Οδών και Μεταφορών – Green Book by AASHTO**

Η Αμερικάνικη Ένωση Εθνικών Οδών και Μεταφορών (AASHTO) [2] είναι ένας φορέας θέσπισης προτύπων που δημοσιεύει προδιαγραφές, πρωτόκολλα δοκιμών και κατευθυντήριες οδηγίες που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό και την κατασκευή οδών σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες. Παρά το όνομά της, η ένωση εκπροσωπεί όχι μόνο τις οδικές αλλά και τις αεροπορικές, σιδηροδρομικές, υδάτινες και δημόσιες μεταφορές. Παρόλο που οι οδηγίες AASHTO καθορίζουν τα πρότυπα και την πολιτική μεταφορών για το σύνολο των Ηνωμένων Πολιτειών, η Ένωση δεν είναι υπηρεσία της ομοσπονδιακής κυβέρνησης, αλλά πρόκειται για μια οργάνωση των ίδιων των πολιτειών. Οι πολιτικές του AASHTO δεν είναι ομοσπονδιακοί νόμοι όμως αποτελούν τρόπους συντονισμού των κρατικών νόμων και πολιτικών στον τομέα των μεταφορών.

Μία από τις δημοσιευμένες οδηγίες σχεδιασμού της AASHTO είναι «Η πολιτική για τον γεωμετρικό σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων και οδών» (Policy on Geometric Design of Highways and Streets), που συχνά αποκαλείται το Πράσινο Βιβλίο λόγω του χρώματος του εξωφύλλου του. Το βιβλίο αυτό

καλύπτει τον λειτουργικό και γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινητοδρόμων, καθώς και ισόπεδων και ανισόπεδων κόμβων. Οι οδηγίες αυτές περιλαμβάνουν την τρέχουσα έρευνα και τις πρακτικές σχεδιασμού για τον γεωμετρικό σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων και οδών και περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα γεωμετρικά στοιχεία σχεδιασμού επηρεάζουν πολλαπλούς τρόπους μεταφοράς και αναγνωρίζει τη σχέση μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών σχεδιασμού και των λειτουργιών της κυκλοφορίας. Επιπλέον παρέχουν καθοδήγηση στους μηχανικούς και τους μελετητές που προσπαθούν με διάφορες παραλλαγές να προσφέρουν λύσεις που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών των αυτοκινητοδρόμων και των οδών.

Στην έβδομη έκδοση του πράσινου βιβλίου ενσωματώνονται πρόσφατες έρευνες που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επίδραση συγκεκριμένων στοιχείων γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών.

## **2.3 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις – Τεύχος 3**

Οι βασικές αρχές που διέπουν το συγκεκριμένο τεύχος των ΟΜΟΕ [5] είναι:

- Το παρόν τεύχος αντιπροσωπεύει τη σύνθεση της τρέχουσας διεθνούς πληροφορίας και των δεδομένων λειτουργίας που έχουν προκύψει από την πρακτική εφαρμογή και έχουν σχέση με τη γεωμετρική μελέτη των οδικών έργων.
- Τα οδικά έργα από τη φύση τους είναι μεγάλης χρονικής διάρκειας ενώ οι μεθοδολογίες σχεδιασμού των οδικών έργων σταθερά βελτιώνονται συνεχώς. Η υλοποίηση των βελτιώσεων που αντιστοίχως θα προκύπτουν για τα έργα, τυπικά θα συμβαίνει καθώς κατασκευάζονται νέα έργα, ή ανακατασκευάζονται υφιστάμενα.

Το τεύχος “Χαράξεις” των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων περιλαμβάνει τις θεμελιώδεις αρχές, τις μεθόδους καθώς και τις οριακές και προτεινόμενες τιμές για τη μελέτη νέων οδών και την ανακατασκευή και τη βελτίωση υφιστάμενων οδών χωρίς παρόδια δόμηση, εκτός ή εντός σχεδίου. Στο

παρόν τεύχος ( ΟΜΟΕ-Χ) δίδονται οι βασικές αρχές που αφορούν τη γεωμετρική διαμόρφωση της χάραξης της οδού κατά την οριζοντιογραφία, τη μηκοτομή και τη διατομή. Επίσης περιλαμβάνονται οι οδηγίες και οι βασικές αρχές μελέτης της οδού στο χώρο καθώς και η διαμόρφωση του κυκλοφοριακού χώρου.

Οι Οδηγίες “Χαράξεις οδών χωρίς ή με ελάχιστη παρόδια δόμηση” αποτελούν το υπόβαθρο για έναν ασφαλή και λειτουργικά σωστό σχεδιασμό οδικών έργων. Το περιεχόμενο των Οδηγιών ανταποκρίνεται πλήρως στο επίπεδο της γνώσης που έχει αποκτηθεί μέχρι σήμερα, τόσο στον τομέα της έρευνας όσο και στον τομέα των πρακτικών εφαρμογών και ελέγχων.

Παρόλο που οι παρούσες Οδηγίες αναφέρονται κατά κύριο λόγο στον γεωμετρικό σχεδιασμό της οδού, εντούτοις αναφέρονται και σε κριτήρια όπως:

- Χωροταξικά
- Πολεοδομικά
- Διαμόρφωσης του οδικού χώρου
- Οικονομίας κατά τη κατασκευή και τη λειτουργία της οδού
- Εξοικονόμησης ενέργειας
- Μείωσης στην εκπομπή καυσαερίων
- Προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος και μέριμνας για το τοπίο
- Ασφάλειας και άνεσης της μηχανοκίνητης και μη κυκλοφορίας
- Υλοποίησης των απαιτήσεων της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας, έτσι ώστε με τον ορισμό των βασικών στοιχείων μελέτης να επιτυγχάνεται μία συνολικά ισορροπημένη λύση

## **2.4 Εθνικό πρόγραμμα έρευνας αυτοκινητοδρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής – Έκθεση 270 – Parameters Affecting Stopping Sight Distance (National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 270)**

Σε αυτήν την έκθεση των Όλσον και άλλων ερευνητών [7] διεξήχθη έρευνα για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κριτηρίων του ΜΟΣ σε σχέση με τον στόλο

των οχημάτων και το πλήθος των οδηγών. Τα πορίσματα της έρευνας βασίζονται σε δοκιμές πεδίου που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να εξετάσουν τα χαρακτηριστικά και τις επιδόσεις των οδηγών και των οχημάτων. Το ΜΟΣ εξετάζεται σε σχέση με το ύψος οφθαλμών του οδηγού, ύψος εμποδίου, χρόνος αντίληψης-αντίδρασης οδηγού, μήκος πέδησης οχήματος και αρχική ταχύτητα.

Η μελέτη δείχνει ότι για ελεγχόμενη στάση επιβατικού οχήματος με υψηλές ταχύτητες, σε ολισθηρό δρόμο με φθαρμένα ελαστικά, το απαιτούμενο ΜΟΣ είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τις προτεινόμενες τιμές ΜΟΣ του AASHTO. Στη συνέχεια σχολιάζονται οι απαιτήσεις ΜΟΣ για φορτηγά σε διάφορες συνθήκες.

## **2.5 Εθνικό πρόγραμμα έρευνας αυτοκινητοδρόμων των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής – Έκθεση 505 – Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design (NCHRP Report 505)**

Στο συγκεκριμένη έκθεση του NCHRP [1] παρουσιάζονται οδηγίες για την καθοδήγηση των μελετητών οδικών έργων σχετικά με τον καλύτερο τρόπο υποδοχής των φορτηγών στο σύστημα οδών των ΗΠΑ.

Η ερευνητική ομάδα διεξήγαγε ανάλυση των χαρακτηριστικών γεωμετρικού σχεδιασμού που επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά των οχημάτων και στη συνέχεια αξιολόγησε την επάρκεια της τρέχουσας πολιτικής γεωμετρικού σχεδιασμού για την εξυπηρέτηση του σημερινού και του αναμενόμενου στόλου φορτηγών.

Εκτός από την εξέταση των κριτηρίων σχεδιασμού που επί του παρόντος λαμβάνουν υπόψη τα φορτηγά, η έρευνα περιλάμβανε επίσης μια επανεξέταση για να καθοριστεί εάν τα κριτήρια σχεδιασμού που δεν αφορούν επί του παρόντος τα φορτηγά θα πρέπει να τα λάβουν υπόψη και αν θα πρέπει να προστεθούν στο Πράσινο Βιβλίο νέα κριτήρια σχεδιασμού που αφορούν στα φορτηγά.

Στόχος της έκθεσης είναι να διασφαλιστεί ότι τα γεωμετρικά κριτήρια σχεδιασμού για τις οδούς μπορούν να προσαρμόζονται εύλογα στις διαστάσεις



και τα χαρακτηριστικά επιδόσεων του σημερινού και μελλοντικού στόλου φορτηγών που χρησιμοποιούν το σύστημα οδών των ΗΠΑ. Το κύριο προϊόν της έρευνας είναι μια σειρά συστάσεων σχετικά με τροποποιήσεις ή/και προσθήκες που πρέπει να γίνουν στο Πράσινο Βιβλίο του AASHTO.

## **2.6 Δημοσίευση στο Advances in Transportation Studies: Controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation (S,Mavromatis, N. Stamatiadis, B. Psarianos, G. Yannis)**

Στην συγκεκριμένη δημοσίευση στο επιστημονικό περιοδικό Advances in Transportation Studies [4] επισημαίνεται ότι αν και υπάρχει σημαντική διαφορά στις τιμές ΜΟΣ μεταξύ ανηφορικών και κατηφορικών κλίσεων πολλές Πολιτικές Σχεδιασμού, όπως η Αμερικάνικη Ένωση Εθνικών Οδών και Μεταφορών στο πράσινο βιβλίο της (Green Book by AASHTO), αγνοούν την επίδραση της κλίσης κατά την διαδικασία πέδησης του οχήματος. Έτσι διερευνάται αν υπάρχουν πιθανές ελλείψεις αυτής της προσέγγισης όσον αφορά τις περιπτώσεις όπου το μήκος των κατακόρυφων καμπυλών υπερβαίνει τις τιμές ελέγχου του ΜΟΣ.

Αναφέρεται επίσης ότι οι περισσότερες από τις τρέχουσες προσπάθειες για την αξιολόγηση της επάρκειας του ΜΟΣ βασίζονται σε δισδιάστατα μοντέλα. Επιπλέον οι προσπάθειες αυτές παρουσιάζουν μια αποσπασματική προσέγγιση κατά την διερεύνηση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπερεκτιμήσουν ή υποεκτιμήσουν το διαθέσιμο μήκος ορατότητας. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε παραβιάσεις της ασφάλειας.

Οι συγγραφείς της διερεύνησαν τον υπολογισμό του ΜΟΣ σε μεταβλητές κλίσεις κατά την διάρκεια της πέδησης του οχήματος χρησιμοποιώντας μία πρόσφατα αναπτυχθείσα διαδικασία που συσχετίζει το μοντέλο της σημειακής μάζας και τους νόμους της μηχανικής.

Ο νέος τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του ΜΟΣ, εμπλουτισμένος με τα τμήματα των πραγματικών βαθμών της κλίσης και με

χρονικό βήμα 0.01 δευτερόλεπτα (second), είναι ακριβέστερος σε σχέση με τους ήδη υπάρχοντες του πράσινου βιβλίου του AASHTO.

## **2.7 Heavy Trucks Safety Study (1987)**

Οι συγγραφείς αυτής της έρευνας [8] επισημαίνουν ότι τα ατυχήματα με βαρέα οχήματα – φορτηγά αποτελούν ένα επίμονο πρόβλημα λόγω του σημαντικού αριθμού ατόμων, εκτός από τους επιβαίνοντες του φορτηγού, που σκοτώνονται κάθε χρόνο σε τέτοια ατυχήματα.

Σύμφωνα με την μελέτη αυτή κάθε χρόνο περίπου 400000 μεσαία και βαρέα φορτηγά εμπλέκονται σε ατυχήματα. Περίπου 5500 άνθρωποι σκοτώνονται και 175000 τραυματίζονται ως αποτέλεσμα αυτών των ατυχημάτων. Υπάρχουν πολλοί αλληλένδετοι παράγοντες που συμβάλουν στην πρόκληση αυτών.

Η παρούσα έκθεση ανταποκρίνεται στην οδηγία του Κογκρέσου, σύμφωνα με την οποία η μελέτη της ασφάλειας των βαρέων φορτηγών πρέπει να πραγματοποιείται με βάση τους παρακάτω παράγοντες:

- Οδηγική συμπεριφορά των οδηγών φορτηγών (τήρηση κώδικα οδικής κυκλοφορίας)
- Τις επιδόσεις των βαρέων φορτηγών όσο αναφορά την αποφυγή συγκρούσεων (πέδηση, σταθερότητα, χειρισμός)
- Την ανθεκτικότητα (των βαρέων φορτηγών) σε συγκρούσεις

Η έκθεση λοιπόν αναγνωρίζει και προσδιορίζει τα βασικά ζητήματα που σχετίζονται με τα παραπάνω, συνοψίζει ότι είναι γνωστό για αυτά, περιγράφει δράσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν τώρα σε ορισμένους τομείς με σκοπό βραχυπρόθεσμες βελτιώσεις και τέλος παρουσιάζει ερευνητικά προγράμματα που μπορούν να δώσουν πληροφορίες ώστε να αναπτυχθούν λύσεις μακροπρόθεσμα.

## **2.8 Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων - Federal Highway Administration (FHWA)**

Η FHWA [9] , ένας οργανισμός του υπουργείου μεταφορών των ΗΠΑ που υποστηρίζει τις πολιτειακές και τοπικές κυβερνήσεις στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση του εθνικού συστήματος αυτοκινητοδρόμων καθώς και των δρόμων σε ομοσπονδιακά και φυλετικά εδάφη. Επίσης παρέχει οικονομική και τεχνική βοήθεια στις πολιτειακές και τοπικές κυβερνήσεις, ώστε οι δρόμοι, οι αυτοκινητόδρομοι και οι γέφυρες της Αμερικής να συνεχίσουν να είναι μεταξύ των ασφαλέστερων και τεχνολογικά ορθότερων στον κόσμο.

Μαζί με την AASHTO [2] και το Συμβούλιο Κυκλοφοριακών Ερευνών (Transportation Research Board - TRB) [10], τα τελευταία χρόνια έχουν διοργανώσει μεγάλο αριθμό συνεδρίων, εκπαιδευτικών σεμιναρίων και συσκέψεων εμπειρογνομώνων, όπου έχουν αναλυθεί σε βάθος ζητήματα σχετικά με τον σχεδιασμό των οδών. Ένας τεράστιος όγκος πληροφοριών είναι διαθέσιμος από τους επίσημους δικτυακούς τόπους των φορέων αυτών [11].

## **2.9 Σύνοψη**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Από αυτήν προκύπτουν οι σταθερές και οι μεταβλητές που επηρεάζουν τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση ενός οδηγού φορτηγού. Επιπλέον αποφασίστηκε ότι για τον υπολογισμό του ΜΟΣ θα προτιμηθεί μαθηματικός τύπος από πρόσφατα αναπτυχθείσα διαδικασία αντί του προτεινόμενου από το πράσινο βιβλίο του AASHTO καθώς τα αποτελέσματα του είναι ακριβέστερα. Τέλος προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που θα ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό και εντοπισμό των θέσεων όπου διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού φορτηγού σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες με ύπαρξη άνω διάβασης.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι παράγοντες και οι μαθηματικοί τύποι που επιλέχθηκαν αλλά και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.

### **3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των θεωρητικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. Οι οδηγίες της έβδομης έκδοσης του Πράσινου Βιβλίου της AASHTO που δημοσιεύτηκε το 2018 αποτέλεσε την βάση για την παρούσα διπλωματική εργασία.

#### **3.1 Μήκος ορατότητας**

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια το μήκος ορατότητας ορίζεται το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σε κάθε χρονική στιγμή. Σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα ασφαλούς και αποτελεσματικής ολοκλήρωσης αιφνίδιων ελιγμών. Όσο μικρότερο είναι το μήκος ορατότητας τόσο λιγότερος είναι ο διαθέσιμος χρόνος που έχει ο οδηγός στην διάθεση του για την επεξεργασία της οπτικής πληροφορίας με αποτέλεσμα να χάνεται το αίσθημα ασφάλειας. Όταν το μήκος ορατότητας περιορίζεται, η σημασία της εμπειρίας του οδηγού με την οδό αυξάνεται. Η εμπειρία με την οδό είναι μια συνάρτηση:

- του αριθμού διελεύσεων του οδηγού από ένα συγκεκριμένο τμήμα της οδού
- της ομοιότητας της οδού με άλλες με τις οποίες αυτός έχει εμπειρία
- της ακρίβειας των προβλέψεων που πρόσφατα έχει κάνει για την οδό στην οποία κινείται.

Συνολικά, αυτή η εμπειρία αναφέρεται ως προσδοκία οδηγού (driver's expectancy).

Για την εξασφάλιση της ασφάλειας του οδηγού αλλά και για την ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής απαιτείται η ύπαρξη ελάχιστων μηκών ορατότητας, προκειμένου να είναι δυνατή η έγκαιρη ακινητοποίηση ενός οχήματος (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση), η ασφαλής προσπέραση (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση) καθώς και η ασφαλής εξέλιξη της απόφασης του οδηγού για αλλαγή πορείας (μήκος ορατότητας για απόφαση).

Το μήκος ορατότητας εξαρτάται από το ύψος των οφθαλμών του οδηγού πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, από το ύψος του εμποδίου και από την θέση των παράπλευρων εμποδίων.



**Σχήμα 3.1 – Απεικόνιση της γραμμής ορατότητας**

### **3.1.1 Ύψος οφθαλμών του οδηγού**

Για όλους τους υπολογισμούς μήκους ορατότητας για επιβατικά οχήματα το ύψος των οφθαλμών του οδηγού λαμβάνεται ίσο με 1.08 μέτρα. Το ύψος αυτό θεωρείται το κατάλληλο για τον υπολογισμό τόσο του Μήκους Ορατότητας για Στάση αλλά και για το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Όσον αφορά τα φορτηγά το ύψος οφθαλμών του οδηγού κυμαίνεται από 1.80 μέχρι 2.40 μέτρα. Η συνιστώμενη τιμή είναι τα 2.33 μέτρα [12], [2].

### **3.1.2 Ύψος εμποδίων**

Το ύψος εμποδίων για τον υπολογισμό του ΜΟΣ είναι 0.60 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε επειδή έρευνες [2] έχουν δείξει ότι αντικείμενα μικρότερου ύψους σπάνια εμπλέκονται σε ατυχήματα. Ως εκ τούτου το ύψος αυτό είναι αντιπροσωπευτικό του μικρότερου αντικειμένου που μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα αλλά και του ύψους των πίσω προβολέων ενός οχήματος [2].

## 3.2 Μήκος Ορατότητας για Στάση

Το Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ - Stopping Sight Distance) ορίζεται ως η απόσταση που χρειάζεται ένας οδηγός σε ένα όχημα που ταξιδεύει με την ταχύτητα σχεδιασμού ώστε να ακινητοποιήσει το όχημα πριν προσκρούσει σε κάποιο σταθερό εμπόδιο και πρέπει να παρέχεται σε κάθε σημείο κατά μήκος του δρόμου. Το ΜΟΣ είναι το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών, του μήκους αντίληψης-αντίδρασης που είναι η απόσταση που διανύει το όχημα κατά το χρόνο αντίληψης-αντίδρασης του οδηγού έως την στιγμή που αρχίζει η διαδικασία πέδησης και του μήκους πέδησης που ορίζεται η απόσταση που διανύει το όχημα από την στιγμή που ενεργοποιηθεί το σύστημα πέδησης ως την πλήρη στάση του. Συνεπώς το μήκος ορατότητας που διατίθεται πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το απαιτούμενο ΜΟΣ [2].

### 3.2.1 Χρόνος αντίδρασης

Ο χρόνος αντίδρασης είναι το χρονικό διάστημα από τη στιγμή που ο οδηγός αναγνωρίζει την ύπαρξη ενός εμποδίου στο οδόστρωμα το οποίο απαιτεί πέδηση μέχρι τη στιγμή που ο οδηγός πραγματικά ενεργοποιεί το σύστημα πέδησης. Ο χρόνος αντίδρασης που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να περιλαμβάνει όλους του χρόνους αντίδρασης που χρειάζονται σχεδόν όλοι οι οδηγοί στις περισσότερες συνθήκες στην οδο. Σύμφωνα με αρκετές μελέτες [13],[14],[15],[16] τα 2.5 δευτερόλεπτα σαν χρόνος αντίδρασης για καταστάσεις που απαιτούν στάση του οχήματος καλύπτουν τις ικανότητες των περισσότερων οδηγών, συμπεριλαμβανομένων και των γηραιότερων οδηγών [2].

### 3.2.2 Μήκος Πέδησης

Το μήκος πέδησης μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο σύμφωνα με το Πράσινο Βιβλίο του AASHTO [2].

$$d_B = 0.039 \frac{V^2}{\alpha} \quad (1)$$

Όπου:

- $d_B$  = μήκος πέδησης (m)
- $V$  = ταχύτητα (km/h)
- $\alpha$  = επιβράδυνση (m/s<sup>2</sup>)

Περίπου το 90% των οδηγών επιβραδύνει με ρυθμό 3.4 m/s<sup>2</sup>. Αυτός ο ρυθμός επιβράδυνσης επιτρέπει στον οδηγό να διατηρήσει τον έλεγχο του οχήματος και να παραμείνει στην λωρίδα κυκλοφορίας του κατά την διάρκεια ενός ελιγμού πέδησης σε υγρό οδόστρωμα. Ως εκ τούτου το 3.4 m/s<sup>2</sup> συνιστάται ως τιμή επιβράδυνσης για τον προσδιορισμό του ΜΟΣ.

Έτσι ο τελικός τύπος για τον υπολογισμό του ΜΟΣ σε επίπεδες οδούς είναι ο παρακάτω:

$$SSD = 0.278Vt + 0.039\frac{V^2}{\alpha} \quad (2)$$

Όπου:

- $SSD$  = Μήκος ορατότητας σε στάση (m)
- $V$  = ταχύτητα (km/h)
- $t$  = χρόνος αντίδρασης (2.5 s)
- $\alpha$  = επιβράδυνση (3.4 m/s<sup>2</sup>)

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο υπολογίζονται οι τιμές ΜΟΣ για διάφορες ταχύτητες.

**Πίνακας 1– Μήκος Ορατότητας για Στάση σε επίπεδη οδό**

ΤΑΧΥΤΗΤΑ  (Km/h)	ΜΗΚΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ  (m)	ΜΗΚΟΣ ΠΕΔΗΣΗΣ  (m)	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ	
			ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΟ  (m)	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ  (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285
140	97.3	224.8	322.1	325

### 3.2.3 Επιρροή των κλίσεων στο Μήκος Ορατότητας για Στάση

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα απαιτούμενα ΜΟΣ σε ανωφέρειες είναι μικρότερα από ότι σε επίπεδες οδούς και μεγαλύτερα στις κατωφέρειες. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζονται σύμφωνα με το Πράσινο βιβλίο του AASHTO [2] είναι :



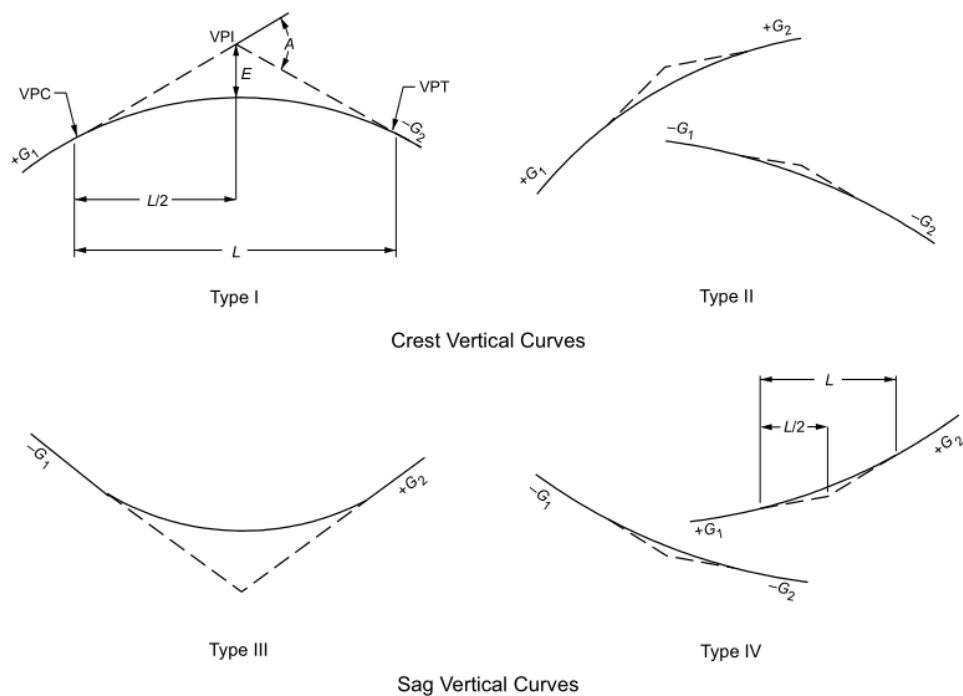
$$SSD = Vt + \frac{V^2}{2g\left(\frac{a}{g} \pm s\right)} \quad (3)$$

Όπου:

- $V$  = Ταχύτητα (m/s)
- $t$  = Χρόνος αντίδρασης (2.5 s)
- $g$  = επιτάχυνση βαρύτητας ( 9.81 m/s<sup>2</sup>)
- $a$  = επιβράδυνση (3.4 m/s<sup>2</sup>)
- $s$  = κλίση του δρόμου [(+) στις ανωφέρειες, (-) στις κατωφέρειες] (%/100)

### 3.3 Κατακόρυφη καμπύλη

Πρόκειται για μία παραβολική καμπύλη που εφαρμόζεται για την ασφαλή και ομαλή μετάβαση μεταξύ δύο κλίσεων στην οδό. Μπορεί να είναι κοίλη ή κυρτή. Πρέπει να είναι απλή στην εφαρμογή, να επιτρέπει στον οδηγό να έχει ορατότητα του δρόμου, να τον βοηθά να ελέγχει το όχημα του καλύτερα, να είναι ευχάριστη στην εμφάνιση της και τέλος να παρέχει επαρκή αποστράγγιση. Κυρτή κατακόρυφη καμπύλη είναι η καμπύλη που εγγράφεται στις δύο πλευρές μιας γωνίας της ερυθράς (πολυγωνική γραμμή) η οποία στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω. Αντίθετα κατακόρυφη κοίλη καμπύλη είναι η καμπύλη που εγγράφεται στις δύο πλευρές μιας γωνίας της ερυθράς η οποία στρέφει τα κοίλα προς τα επάνω.



**Σχήμα 3.2 – Τύποι κατακόρυφων καμπυλών**

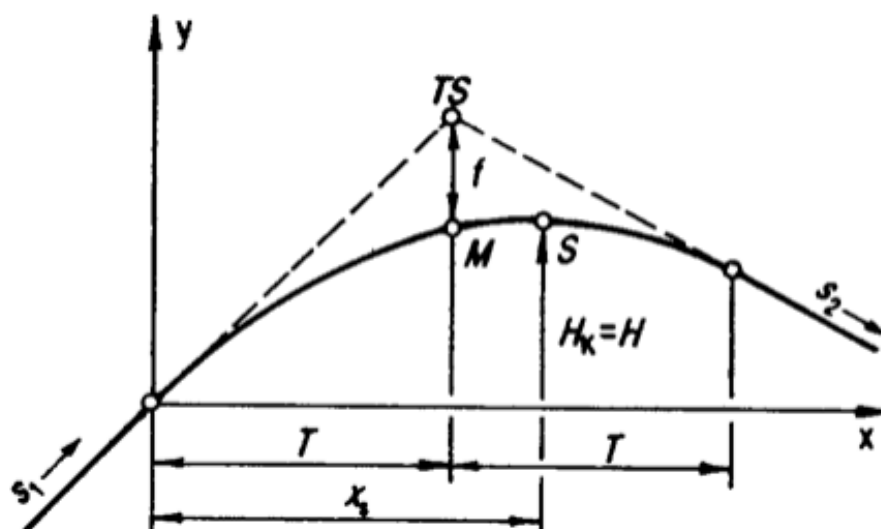
Όπου:

- VPC = Vertical Point of Curvature, το σημείο που αρχίζει η καμπύλη
- VPI = Vertical Point of Intersection, το σημείο τομής εφαπτομένων
- VPT = Vertical Point of Tangency, το σημείο που η καμπύλη τελειώνει

### 3.3.1 Κοίλες και κυρτές κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ - Χ

Στο τρίτο τεύχος των ΟΜΟΕ [5] αναφέρεται ότι συνήθως τα τόξα συναρμογής που διατάσσονται στα κυρτώματα και τα κοιλώματα είναι τετραγωνικές παραβολές ως προσέγγιση κυκλικών τόξων, δεδομένου ότι για τις κατά κανόνα εφαρμοζόμενες μεγάλες ακτίνες και την επιδιωκόμενη ακρίβεια το κυκλικό τόξο και η τετραγωνική παραβολή συμπίπτουν. Καθοριστικό γεωμετρικό μέγεθος της κατακόρυφης καμπύλης είναι η ακτίνα καμπυλότητας  $H$  στη θέση αλλαγής

προσήμου της κατά μήκος κλίσης ( $s = 0\%$ ). Οι βασικές σχέσεις υπολογισμού μίας κατακόρυφης καμπύλης δίδονται στο Σχήμα 3.3.



$$x_s = -\frac{s_1}{100} \cdot H \quad (4)$$

$$s(x) = s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 \quad (5)$$

$$y(x) = \frac{s_1}{100} \cdot x + \frac{x^2}{2 \cdot H} \quad (6)$$

$$T = \frac{H}{2} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} \quad (7)$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{T}{4} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} = \frac{H}{8} \cdot \left( \frac{s_2 - s_1}{100} \right)^2 \quad (8)$$

**Σχήμα 3.3 – Σχέσεις υπολογισμού κατακόρυφων καμπυλών**

Όπου:

- $H$  (m) = παράμετρος της τετραγωνικής παραβολής (ακτίνα καμπυλότητας στη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης)

- $T$  (m) = μήκος εφαπτομένης
- $s_1, s_2$  (%) = κατά μήκος κλίσεις εφαπτομένων
- $s(x)$  (%) = κατά μήκος κλίση σε οποιοδήποτε σημείο της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής
- $y(x)$  (m) = τεταγμένη σε τυχαίο σημείο
- $x_s$  (m) = τετμημένη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης ( $s = 0\%$ )
- $f$  (m) = βέλος καμπύλης
- Κανόνες για τα πρόσημα:
  - Ανωφέρεια : θετική (+ $s_1$ , + $s_2$ )
  - Κατωφέρεια : αρνητική (- $s_1$ , - $s_2$ )
- Ακτίνα κοίλης κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής ( $H_w$ ): θετική (+H)
- Ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής ( $H_k$ ) : αρνητική (-H)

### 3.3.2 Τιμή K

$$K = \frac{L}{(s_2 - s_1)} \quad (9)$$

Όπου:

- $L$  = Μήκος κατακόρυφης καμπύλης
- $s_1, s_2$  = κλίσεις (%) [Ανωφέρεια : θετική (+ $s_1$ , + $s_2$ ), Κατωφέρεια : αρνητική (- $s_1$ , - $s_2$ )]

Το κλάσμα  $L/A$ , ( $A = (s_2 - s_1)$ ) είναι η οριζόντια απόσταση σε μέτρα που απαιτείται για να γίνει μια αλλαγή της κλίσης κατά 1 % και είναι ένα μέτρο της καμπυλότητας. Η ποσότητα  $L/A$  ονομάζεται "K" και είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό των ελάχιστων μηκών των κατακόρυφων καμπυλών για διάφορες ταχύτητες σχεδιασμού [2].

### 3.3.3 Κοίλες κατακόρυφες καμπύλες

Όπως ήδη έχει αναφερθεί υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κριτήρια για τον καθορισμό του μήκους των κοίλων κατακόρυφων καμπυλών:

- Το πεδίο ορατότητας των προβολέων
- Η άνεση των επιβατών
- Η αποστράγγιση της οδού
- Η γενική εμφάνιση

Το πεδίο ορατότητας των προβολέων αποτελεί ως επί το πλείστον τη βάση για τον προσδιορισμό του επιθυμητού αυτού μήκους. Όταν ένα όχημα διασχίζει μια κοίλη κατακόρυφη καμπύλη τη νύχτα, το τμήμα της οδού που φωτίζεται μπροστά εξαρτάται από τη θέση των προβολέων και την κατεύθυνση της δέσμης φωτός. Συνήθως οι τιμές για αυτές τις δύο παραμέτρους είναι 0.60 μέτρα για το ύψος προβολέων και 1° για την γωνία πρόσπτωσης προβολέων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις για τον υπολογισμό του μήκους κοίλων κατακόρυφων καμπυλών  $L$  [2].

Όταν  $SSD (MOΣ) < L$ :

$$L = \frac{(s_2 - s_1)SSD^2}{200[h + SSD\tan(\varepsilon)]} \quad (10)$$

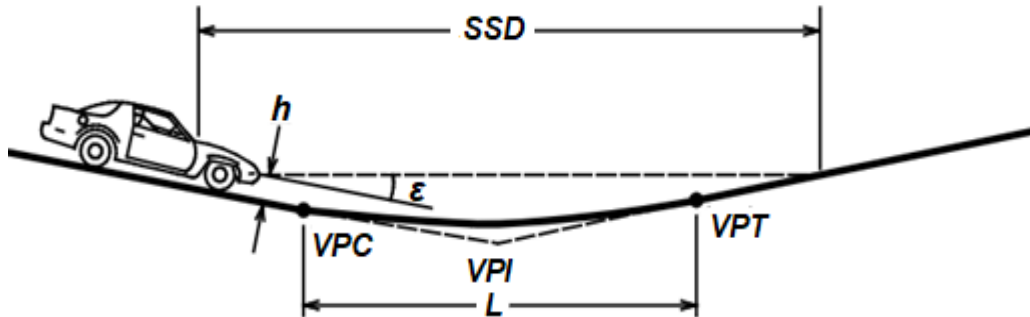
$SSD > L$  :

$$L = 2SSD - \frac{200[h + SSD\tan(\varepsilon)]}{(s_2 - s_1)} \quad (11)$$

Όπου:

- $L$  = Μήκος κοίλης κατακόρυφης καμπύλης (m)
- $SSD$  = Μήκος Ορατότητας για Στάση (m)
- $h$  = ύψος προβολέων (m)
- $\varepsilon$  = γωνία πρόσπτωσης προβολέων (°)

- $s_1, s_2 =$  κλίσεις (%) [Κατωφέρεια : αρνητική ( $-s_1$ ), Ανωφέρεια : θετική ( $+s_2$ ) ]



**Σχήμα 3.4 – Σχηματική απεικόνιση παραμέτρων για τους υπολογισμούς κοίλης κατακόρυφης καμπύλης**

Το μήκος σχεδιασμού μιας κοίλης κατακόρυφης καμπύλης βασίζεται στο πεδίο ορατότητας των προβολών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αλλά είναι επιθυμητό η κοίλη κατακόρυφη καμπύλη να είναι αρκετά μεγάλη σε μήκος ώστε το πεδίο ορατότητας των προβολών να έχει περίπου το ίδιο μήκος με το ΜΟΣ.

Οι τιμές  $K$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του μήκους της κοίλης κατακόρυφης καμπύλης. Ο πίνακας 2 δείχνει το εύρος των υπολογισμένων τιμών του  $K$  καθώς και τις στρογγυλοποιημένες τιμές του, για διάφορες ταχύτητες, για τον σχεδιασμό των κοίλων κατακόρυφων καμπυλών.

Οι κοίλες κατακόρυφες καμπύλες που έχουν μήκη μικρότερα από αυτά που υπολογίζονται στον πίνακα 2, μπορούν να δικαιολογηθούν για οικονομικούς λόγους (π.χ. χαρακτηριστικά οδού που δεν είναι έτοιμα για αντικατάσταση, ράμπες).

**Πίνακας 2 – Τιμές K για κοίλες κατακόρυφες καμπύλες**

ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ	ΜΕΤΡΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ K	
		ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΟ	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
(km/h)	(m)	(m)	(m)
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73

### **3.4 Ελάχιστο ελεύθερο ύψος σε δρόμους με άνω διάβαση**

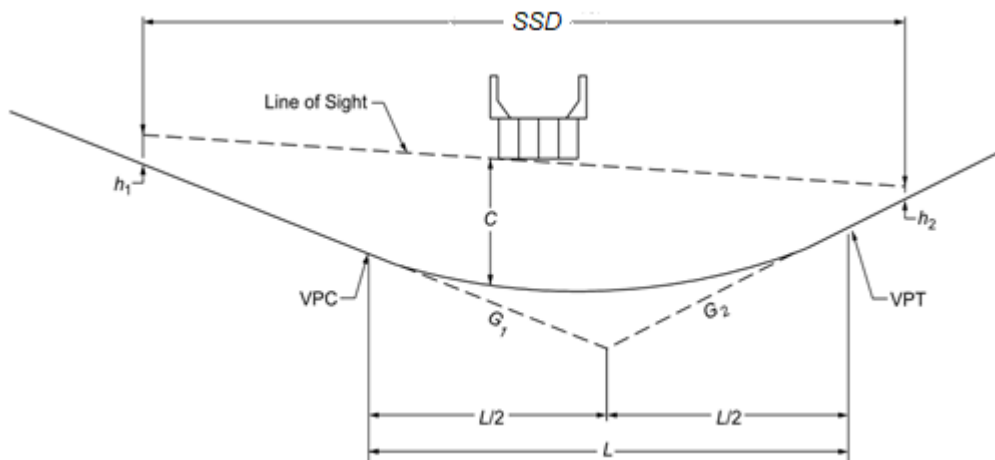
Το ελάχιστο ελεύθερο ύψος σύμφωνα με το πράσινο βιβλίο του AASHTO [2] πρέπει να είναι 4.3 μέτρα σε όλο το μήκος του δρόμου. Γενικά σε νέες ή ανακατασκευασμένες δομές το ελάχιστο ελεύθερο ύψος πρέπει να είναι 4.9 μέτρα. Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει περιθώριο για πιθανή ανακατασκευή στο μέλλον.

**Πίνακας 3 – Ελεύθερο ελάχιστο ύψος για κάθε κατηγορία οδού**

ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΥ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΣ
Ελεύθερη λεωφόρος	4.3 – 4.9
Αρτηρία	4.3 – 4.9
Συλλεκτήρια οδός	4.3
Τοπική οδός	4.3

### 3.5 Μήκος ορατότητας σε υπόγεια διάβαση

Αν και δεν αποτελεί συχνό πρόβλημα, σε ορισμένες περιπτώσεις σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες σε υπόγεια διάβαση [2], όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5 ο φορέας της κατασκευής μπορεί να διακόψει την εμβέλεια ορατότητας (line of sight) του οδηγού με αποτέλεσμα να περιορίσει το μήκος ορατότητας. Κατά συνέπεια πρέπει το μήκος ορατότητας να είναι ίσο με το ελάχιστο απαιτούμενο ΜΟΣ και κατά προτίμηση μεγαλύτερο.



**Σχήμα 3.5 – Μήκος ορατότητας σε υπόγειες διαβάσεις**



Για ορισμένες συνθήκες ο μελετητής μπορεί να επιθυμεί να ελέγξει το διαθέσιμο μήκος ορατότητας σε μία υπόγεια διάβαση.

Οι εξισώσεις που υπολογίζουν το μήκος της κοίλης κατακόρυφης καμπύλης είναι :

SSD > L:

$$L = 2SSD - \frac{\left[ C - \left( \frac{h1 + h2}{2} \right) \right]}{(s2 - s1)} \quad (12)$$

SSD < L:

$$L = \frac{(s2 - s1)SSD^2}{800 \left[ C - \left( \frac{h1 + h2}{2} \right) \right]} \quad (13)$$

Όπου:

- $L$  = Μήκος κοίλης κατακόρυφης καμπύλης (m)
- $SSD$  = Μήκος Ορατότητας για Στάση (m)
- $s1, s2$  = κλίσεις (%) [Κατωφέρεια : αρνητική (-s1), Ανωφέρεια : θετική (+s2)]
- $h1$  = ύψος οφθαλμών οδηγού (m)
- $h2$  = ύψος εμποδίου (m)

### 3.6 Μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι πίνακες του πράσινου βιβλίου του AASHTO [2] με τις μέγιστες κλίσεις ανά κατηγορία οδού, τύπου εδάφους και ταχύτητας (Πίνακες 4-10) και γίνεται ταξινόμηση αυτών, ως προς την μέγιστη τιμή κλίσης που μπορεί να υπάρξει σε έναν οποιοδήποτε δρόμο ανά ταχύτητα, στον πίνακα 11.

**Πίνακας 4 – Maximum Grades for Local Roads in Rural Areas**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Level	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Rolling	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Mountainous	17	16	15	14	13	12	10	10	–

**Πίνακας 5 – Maximum Grades for Recreational Roads**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)				
	20	30	40	50	60
Level	8	8	7	7	7
Rolling	12	11	10	10	9
Mountainous	18	16	15	14	12

**Πίνακας 6 – Maximum Grades for Collectors in Rural Areas**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Level	7	7	7	7	7	6	6	5
Rolling	10	10	9	8	8	7	7	6
Mountainous	12	11	10	10	10	9	9	8

**Πίνακας 7 – Maximum Grades for Collector Streets in the Urban and Urban Core Contexts**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Level	9	9	9	9	8	7	7	6
Rolling	12	12	11	10	9	8	8	7
Mountainous	14	13	12	12	11	10	10	9

**Πίνακας 8 – Maximum Grades for Arterials in Rural Areas**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	110 and above
Level	5	5	5	5	5	4	4	3	3
Rolling	8	8	7	6	6	5	5	4	4
Mountainous	10	9	8	8	7	7	6	6	5

**Πίνακας 9 – Maximum Grades for Arterials in Urban Areas**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	
Level	8	7	7	7	6	6	5	5	
Rolling	10	10	9	8	7	7	6	6	
Mountainous	11	12	11	10	9	9	8	8	

**Πίνακας 10 – Maximum Grades for Freeways in Rural and Urban Areas**

Types of Terrain	Maximum Grade (%) for Specified Design Speed (km/h)				
	80	90	100	110	120 or more
Level	4	4	3	3	3
Rolling	5	5	4	4	4
Mountainous	6	6	6	5	–

**Πίνακας 11 – Μέγιστες κλίσεις ανά ταχύτητα**

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)</b>	<b>ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ (%)</b>
50	14
60	13
70	12
80	10
90	10
100	9
110	5
120	5
130	5

## 4. Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων

### 4.1 Υπολογισμός μήκους πέδησης σε μεταβλητές κλίσεις

Η δημοσίευση με τίτλο «controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation» [4] που δημοσιεύτηκε στο διεθνές περιοδικό *Advances in Transportation Studies* αναφέρει ότι η εξίσωση (3) του πράσινου βιβλίου αντιμετωπίζει επαρκώς την επίδραση της κλίσης κατά τον υπολογισμό του ΜΟΣ, όμως ότι ο υπολογισμός του μήκους πέδησης για κοίλες κατακόρυφες καμπύλες όπου υπάρχουν μεταβλητές κλίσεις βασίζεται σε παραδοχές.

Οι συγγραφείς παρουσιάζουν τις εξισώσεις (14), (15) που βασίζονται στους νόμους της μηχανικής, χρησιμοποιώντας βήμα ίσο με 0.01 δευτερόλεπτα για τον προσδιορισμό τόσο της στιγμιαίας ταχύτητας όσο και για το καθαρό μήκος πέδησης.

$$V_{i+1} = V_i - g \left( \frac{a}{g} \pm s \right) t \quad (14)$$

$$BD_i = V_i - \frac{1}{2} g \left( \frac{a}{g} \pm s \right) t^2 \quad (15)$$

Όπου:

- $V_i$  = ταχύτητα οχήματος στην θέση  $i$  (m/sec)
- $V_{i+1}$  = ταχύτητα του οχήματος μειωμένη με τον ρυθμό επιβράδυνσης για  $t = 0.01$  δευτερόλεπτα (m/sec)
- $t$  = χρονικό βήμα
- $s$  = κλίση του δρόμου [(+) στις ανωφέρειες, (-) στις κατωφέρειες] (%/100)
- $BD_i$  = καθαρό μήκος πέδησης (m)

Εφαρμόζοντας αυτές τις εξισώσεις υπάρχει μία τιμή  $i = k-1$  όπου η  $V_k$  ισούται με το μηδέν. Η αντίστοιχη τιμή του  $\Sigma BD_{k-1}$  αντιπροσωπεύει το συνολικό

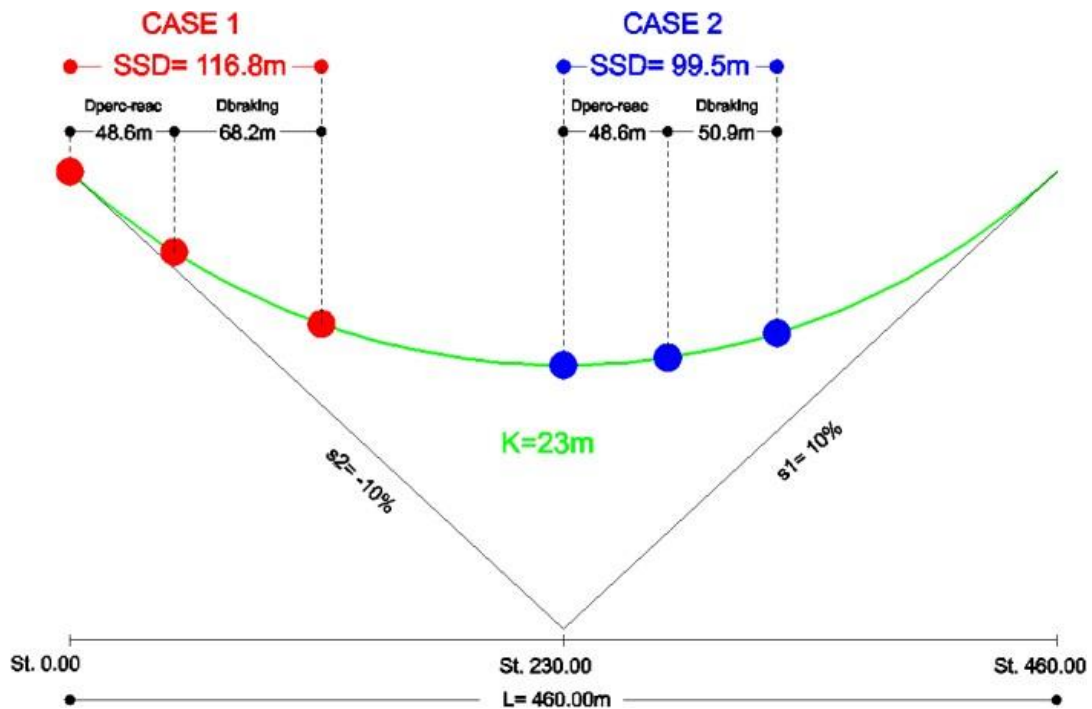
καθαρό μήκος πέδησης του οχήματος για την αρχική ταχύτητα. Η τιμή του ΜΟΣ για μεταβλητές κλίσεις προκύπτει προσθέτοντας στο συνολικό μήκος καθαρής πέδησης την απόσταση που διανύθηκε κατά τον χρόνο αντίδρασης (2.5 δευτερόλεπτα κατά AASHTO). Έτσι η τελική εξίσωση με βάση όλα τα παραπάνω είναι :

$$SSD = V_o t_{pr} + \Sigma B D_{k-1} \quad (16)$$

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα και το αντίστοιχο σχήμα του από την συγκεκριμένη δημοσίευση. Οι συγγραφείς της εφάρμοσαν τις παραπάνω εξισώσεις (14),(15),(16) για ταχύτητα σχεδιασμού 70 km/h , μήκος καμπύλης με βάση τις προτεινόμενες τιμές του πράσινου βιβλίου, δηλαδή  $K = 23$  και κλίσεις εισόδου και εξόδου -10% και +10% αντίστοιχα.

Η τιμή του ΜΟΣ στην περίπτωση 1, στην θέση όπου η πέδηση αρχίζει εκεί που αρχίζει η κατακόρυφη καμπύλη είναι 116.5 μέτρα για κλίση  $s = -10\%$ .

Η τιμή του ΜΟΣ στην περίπτωση 2, στην θέση όπου η πέδηση αρχίζει στο μέσο της καμπύλης είναι 99.5 μέτρα για κλίση  $s = 0\%$



**Σχήμα 4.1 – Σχήμα με περιγραφή του παραδείγματος από την δημοσίευση με τίτλο: «controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation»**

Η τιμή ΜΟΣ της περίπτωσης 1 (116.5 μέτρα) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του πίνακα 1 (105 μέτρα). Έτσι συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν περιοχές σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες όπου απαιτούνται μεγαλύτερα ΜΟΣ. Αυτά τα ΜΟΣ θα είναι ακόμα μεγαλύτερα για τα φορτηγά.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός των ΜΟΣ στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θα γίνει με τις εξισώσεις (14),(15),(16) καθώς έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

## 4.2 Ρυθμός Επιβράδυνσης Φορτηγών

Το Εθνικό πρόγραμμα σχεδιασμού οδών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής στην Έκθεση 505 [1], όπως ήδη έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο δύο, παρουσιάζει οδηγίες για την καθοδήγηση των μελετητών οδικών έργων σχετικά με τον καλύτερο τρόπο υποδοχής των φορτηγών στο σύστημα οδών των ΗΠΑ.

Σε αυτή την έκθεση αναφέρεται ότι οι περισσότεροι οδηγοί, συμπεριλαμβανομένων των οδηγών φορτηγών, έχουν ελάχιστη ή καθόλου εξάσκηση σε καταστάσεις που απαιτούν πέδηση έκτακτης ανάγκης. Αυτή η έλλειψη εμπειρίας έχει ως αποτέλεσμα μήκη πέδησης μεγαλύτερα από τις δυνατότητες του οχήματος. Ο Όλσον [7] και άλλοι ερευνητές αξιολόγησαν την επίδραση της αποδοτικότητας του οδηγού στο μήκος πέδησης, χρησιμοποιώντας έμπειρους οδηγούς δοκιμών αλλά και επαγγελματίες οδηγούς χωρίς κάποια εμπειρία σε δοκιμές.

Η μελέτη έδειξε ότι η αποδοτικότητα των οδηγών κυμαινόταν από 62% ως 100% της ικανότητας του οχήματος. Επειδή πολλοί οδηγοί δεν έχουν εμπειρία στην πέδηση σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, η μελέτη προτείνει την χρήση του 62% σαν αποδοτικότητα του οδηγού στα κριτήρια για τον υπολογισμό του ΜΟΣ, μια τιμή που θεωρείται πολύ συντηρητική για τους συγγραφείς της έκθεσης 505.

Στην συνέχεια ο Όλσον και οι άλλοι ερευνητές πρότειναν ένα μοντέλο για τον υπολογισμό του μήκους πέδησης σαν συνάρτηση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, των χαρακτηριστικών των ελαστικών, της απόδοσης των φρένων του οχήματος και της αποδοτικότητας του οδηγού.

Το μοντέλο αυτό εκφράζει τον συντελεστή τριβής κύλισης ως εξής:

$$f_r = f_p \times TF \times BE \times CE \quad (17)$$

Όπου:

- $f_r$  = συντελεστής τριβής κύλισης
- $f_p$  = μέγιστος συντελεστής τριβής ανάλογα με την επιφάνεια του οδοστρώματος
- $TF$  = συντελεστής προσαρμογής για τα ελαστικά
- $BE$  = συντελεστής προσαρμογής για την αποτελεσματικότητα του συστήματος πέδησης
- $CE$  = συντελεστής προσαρμογής για την αποδοτικότητα του οδηγού



Με βάση αυτή την εξίσωση η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (FHWA) σε μία μελέτη της [17], [18] υπολόγισε τα μήκη πέδησης φορητών για:

- Φορητό με συμβατικό σύστημα πέδησης και οδηγό με τις χειρότερες επιδόσεις
- Φορητό με συμβατικό σύστημα πέδησης και οδηγό με τις καλύτερες επιδόσεις
- Φορητό με σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών (Anti-lock Braking System - ABS)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

**Πίνακας 12 – Ρυθμοί Επιβράδυνσης Φορητών**

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)</b>	<b>AASHTO</b>	<b>ΟΔΗΓΟΣ - ΧΕΙΡΟΤΕΡΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ (g)</b>	<b>ΟΔΗΓΟΣ - ΚΑΛΥΤΕΡΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ(g)</b>	<b>ABS(g)</b>
80	0.35	0.16	0.25	0.31
90	0.35	0.16	0.26	0.32
100	0.35	0.16	0.26	0.32
110	0.35	0.16	0.26	0.32

Αυτοί οι ρυθμοί επιβράδυνσης έχουν υπολογιστεί με συντελεστή αποδοτικότητας 0.62 για τον οδηγό με τις χειρότερες επιδόσεις και 1.0 για τον οδηγό με τις καλύτερες επιδόσεις. Με βάση αυτούς μπορούμε να υπολογίσουμε έναν συντελεστή τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε, για να προσαρμόσουμε το ΜΟΣ που θα υπολογίσουμε με τις εξισώσεις (14),(15),(16), από ΜΟΣ επιβατικών οχημάτων σε ΜΟΣ φορητών.

Συντελεστής οδηγού χειρότερων επιδόσεων:

$$WorstDriver_{coeff} = \left[ \frac{\left(\frac{a}{g}\right)}{0.16} \right] = 2.17 \quad (18)$$

Συντελεστής οδηγού καλύτερων επιδόσεων:

$$BestDriver_{coeff} = \left[ \frac{\left(\frac{a}{g}\right)}{0.26} \right] = 1.33 \quad (19)$$

## **5. Εφαρμογή μεθοδολογίας – Αποτελέσματα**

### **5.1 Γενικά**

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι να εντοπιστούν οι θέσεις όπου διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού φορτηγού, σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη, με ύπαρξη άνω διάβασης. Προκειμένου να γίνει ολοκληρωμένη έρευνα θα εξεταστούν περιπτώσεις με κατάλληλους συνδυασμούς των εξής παραμέτρων: διάφορες ταχύτητες, επιτρεπόμενες κλίσεις, ακτίνες κοίλης κατακόρυφης καμπύλης, ΜΟΣ φορτηγών και τιμές ελάχιστου ελεύθερου ύψους. Παρακάτω γίνεται ανάλυση στην εφαρμογή της μεθοδολογίας και στην συνέχεια η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

### **5.2 Μεθοδολογία – Αποτελέσματα**

Αρχικά προσδιορίστηκαν τα δεδομένα του πειραματικού μέρους και στην συνέχεια ορίστηκαν οι εξισώσεις για την υλοποίηση του.

Οι ταχύτητες οι οποίες θα εξεταστούν είναι από 50 km/h έως 110 km/h. Σημειώνεται ότι το όριο ταχύτητας για φορτηγά στην Ευρώπη είναι 80 km/h. Ο πίνακας 13 περιέχει τις μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να δημιουργηθεί κάθε πιθανός συνδυασμός κλίσεων εισόδου( $s1$ ) και εξόδου( $s2$ ).

**Πίνακας 13 – Μέγιστες κλίσεις για ταχύτητες 50-110 km/h**

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ</b>	<b>ΜΕΓΙΣΤΗ</b>
<b>(km/h)</b>	<b>ΚΛΙΣΗ</b>
	<b>(%)</b>
50	14
60	13
70	12
80	10
90	10
100	9
110	5

Για παράδειγμα για ταχύτητα  $V = 80$  km/h :

Περίπτωση 1:  $s1 = - 10\%$ ,  $s2 = + 10\%$

Περίπτωση 2:  $s1 = - 10\%$ ,  $s2 = + 9\%$

Περίπτωση 3:  $s1 = - 10\%$ ,  $s2 = + 8\%$

⋮

Περίπτωση 12:  $s1 = - 9\%$ ,  $s2 = +10\%$

Περίπτωση 13:  $s1 = - 9\%$ ,  $s2 = + 9\%$

⋮

Και ούτω καθεξής για τις υπόλοιπες κλίσεις και ταχύτητες.

Κατόπιν προσδιορίστηκαν με βάση το πράσινο βιβλίο του AASHTO [2] οι ακτίνες κοίλης κατακόρυφης καμπύλης που θα εξεταστούν για κάθε ταχύτητα. Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται ομαδοποιημένες.

**Πίνακας 14 – Ακτίνες κοίλης κατακόρυφης καμπύλης ανάλογα με την ταχύτητα**

<b>ΤΑΧΥΤΗΤΑ (km/h)</b>	<b>ΜΕΤΡΟ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ K (m)</b>	<b>ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ-Hw (m)</b>
50	13-17	1300-1700
60	18-22	1800-2200
70	23-29	2300-2900
80	30-37	3000-3700
90	38-44	3800-4400
100	45-54	4500-5400
110	55-62	5500-6200

Με βάση τον πίνακα 3 «ελάχιστο ελεύθερο ύψος ανά κατηγορία οδού» (Κεφ. 3 § 4), αποφασίστηκε οι τιμές ελέγχου για το ελεύθερο ελάχιστο ύψος να είναι 4.3, 4.6 και 4.9 μέτρα.

Ο έλεγχος θα πραγματοποιείται για απόσταση ίση με 200 μέτρα από το VPC (το σημείο που αρχίζει η καμπύλη). Έτσι για να δημιουργηθεί ο δρόμος κάθε φορά χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

$$X_{\delta\rho\omicron\mu\omicron} = (200 + L + 200) \quad (20)$$

Όπου:

- $L$  = μήκος κατακόρυφης καμπύλης (m)

Όπου για τον υπολογισμό του  $L$  χρησιμοποιείται η σχέση (21) και η σχέση (7) που αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια.

$$L = 2T \quad (21)$$

$$T = \frac{H_W}{2} \times \frac{(s_2 - s_1)}{100} \quad (7) - (\text{Κεφ}3. \S 3.1)$$

Στην συνέχεια θέτουμε ως υψόμετρο του VPI (σημείο τομής των εφαπτομένων) το 0, αυτό θα ισχύει για κάθε συνδυασμό ταχύτητας, κλίσεων, ακτίνας καμπύλης (θα μπορούσε βέβαια να έχει οποιαδήποτε άλλη τιμή). Με βάση αυτό και τις κλίσεις εισόδου-εξόδου ( $s_1, s_2$ ) υπολογίζουμε αρχικά τα υψόμετρα του VPC, του VPT (σημείο που τελειώνει η καμπύλη), του αρχικού σημείου του δρόμου ( $X_0$ ) που απέχει από το VPI απόσταση  $200 + T$  μέτρα και στην συνέχεια όλου του δρόμου ακολουθώντας τις παρακάτω εξισώσεις.

$$H_{VPI} = 0 \quad (22)$$

$$H_0 = H_{VPI} + \left| \frac{s_1}{100} \right| (T + 200) \quad (23)$$

$$H_{VPC} = H_{VPI} + \left| \frac{s_1}{100} \right| T \quad (24)$$

$$H_{VPT} = H_{VPI} + \frac{s_2}{100} T \quad (25)$$

Υπολογισμός  $H_{road_{X_i}}$  ανάλογα με την Θέση  $X_i$

Όταν  $X_i < 200$  :

$$H_{road_{X_i}} = H_0 + \frac{s1}{100} X_i \quad (26)$$

Όταν  $200 \leq X_i \leq (200 + L)$  :

$$H_{road_{X_i}} = \frac{(s2 - s1)}{200L} (X_i - 200)^2 + \frac{s1}{100} (X_i - 200) + H_{VPC} \quad (27)$$

Όταν  $X_i > (200 + L)$  :

$$H_{road_{X_i}} = H_{VPT} + \frac{s2}{100} [X_i - (200 + L)] \quad (28)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις προκύπτουν από απλούς υπολογισμούς και από την τετραγωνική παραβολική εξίσωση (29).

$$Y = ax^2 + bx + c \quad (29)$$

Όπου:

- $a = \frac{(s2-s1)}{2L}$
- $b = s1$
- $c = H_{VPC}$

Με αυτόν τον τρόπο έχουμε κάθε φορά τα  $X$  και τα υψόμετρα του εκάστοτε δρόμου για τον κάθε συνδυασμό.

Έπειτα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (14),(15),(16) της έρευνας με τίτλο «controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation» [4] υπολογίστηκε το ΜΟΣ, το οποίο μετατράπηκε σε ΜΟΣ φορτηγού πολλαπλασιάζοντας το με τον συντελεστή επιβράδυνσης που προέκυψε από την εξίσωση (18). Αυτό πραγματοποιείται για κάθε θέση  $X$  του δρόμου.

$$V_{i+1} = V_i - g \left( \frac{a}{g} \pm s \right) t \quad (14) - (\text{Κεφ. 4 § 1})$$

$$BD_i = V_i - \frac{1}{2} g \left( \frac{a}{g} \pm s \right) t^2 \quad (15) - (\text{Κεφ. 4 § 1})$$

$$SSD = V_o t_{pr} + \Sigma BD_{k-1} \quad (16) - (\text{Κεφ. 4 § 1})$$

$$WorstDriver_{Coeff} = \left[ \frac{\left( \frac{a}{g} \right)}{0.16} \right] = 2.17 \quad (18) - (\text{Κεφ. 4 § 2})$$

Ο υπολογισμός της κατά μήκος κλίσης σε οποιοδήποτε σημείο της κατακόρυφης καμπύλης γίνεται από την (5) του Κεφαλαίου 3.

$$S_{Xi} = s1 + \frac{X_i}{H_W} \cdot 100 \quad (5) - (\text{Κεφ. 3 § 3.1})$$

Προκειμένου να καθοριστούν οι θέσεις όπου διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού θα ελεγχθεί η υψομετρική διαφορά μεταξύ της γραμμής ορατότητας του οδηγού με τον δρόμο. Αυτό συμβαίνει όταν η διαφορά αυτή υπερβαίνει το εκάστοτε ελάχιστο ελεύθερο ύψος.

Έχοντας ήδη υπολογίσει τα υψόμετρα του δρόμου για κάθε θέση  $X$  θα υπολογίσουμε τα υψόμετρα της γραμμής ορατότητας του οδηγού με τις παρακάτω εξισώσεις (30),(31). Θα υπολογίσουμε κάθε σημείο  $Q$  της γραμμής ορατότητας κατά μήκος του ΜΟΣ στην εκάστοτε θέση  $X$ .

$$Sline = \frac{[(Hroad_{(X+SSD)} + h_2) - (Hroad_{(X)} + h_1)]}{SSD} \quad (30)$$

$$Hline_{(Q)} = S_{LINE}(Q - X) + (Hroad_{(X)} + h_1) \quad (31)$$

Όπου :

- $Sline$  = Κλίση της γραμμής ορατότητας του οδηγού (%/100)
- $Hline_{(Q)}$  = Υψόμετρο γραμμής ορατότητας οδηγού για κάθε σημείο  $Q$  της γραμμής κατά μήκος του ΜΟΣ σε κάθε θέση  $X$  του δρόμου (m)



- $Hroad_{(x+SSD)}$  = Υψόμετρο δρόμου στο τέλος της διαδικασίας πέδησης (m)
- $Hroad_{(x)}$  = Υψόμετρο δρόμου στην αρχή της διαδικασίας πέδησης (m)
- $h_1, h_2$  = Ύψος οφθαλμών οδηγού και ύψος εμποδίου αντίστοιχα (m)

Μέσω της Python δημιουργήθηκαν υπολογιστικά φύλλα, με την μορφή «.csv» για κάθε συνδυασμό ταχύτητας-κλίσης-ακτίνας καμπύλης τα οποία δείχνουν αν και που υπάρχει πρόβλημα διακοπής της ορατότητας.

Με αυτόν τον τρόπο εντοπίστηκαν οι θέσεις όπου υπάρχει διακοπή της ορατότητας του οδηγού φορτηγού και προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες κλίσεις τους. Ο υπολογισμός έδειξε ότι παρουσιάζονται προβλήματα στις ταχύτητες 90 km/h, 100 km/h, 110 km/h για διάφορες κλίσεις και ακτίνες καμπύλης.

Κατόπιν δημιουργήθηκαν πίνακες που δείχνουν σε ποιες κλίσεις υπάρχουν προβλήματα όπως για παράδειγμα ο πίνακας 15 ο οποίος παρουσιάζει τα αποτελέσματα για  $V = 90$  km/h και  $H_w = 3800$  m για τα επιθυμητά VC (Vertical Clearance). Στην συνέχεια ταξινομήθηκαν τα αποτελέσματα των πινάκων σε διαγράμματα. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στα σχήματα 5.1 έως 5.4. Οι υπόλοιποι πίνακες για τους άλλους συνδυασμούς που παρουσιάζουν πρόβλημα παρατίθενται στο παράρτημα.

**Πίνακας 15 – Όρια για V = 90 km/h - HW = 3800 m**

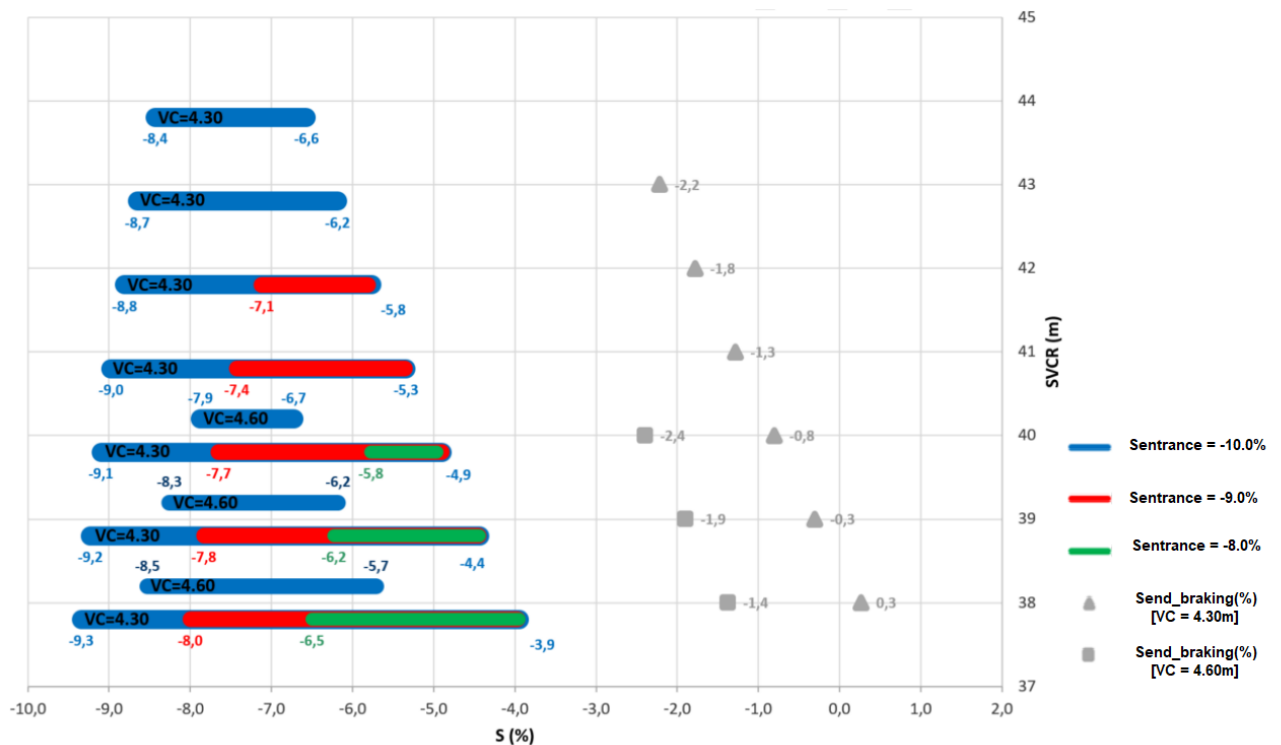
<b>V = 90 km/h - H<sub>w</sub> = 3800 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-9.3 to -3.9
	9	-8.0 to -3.9
	8	-6.5 to -3.9
	7	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	-8.5 to -5.7
	9	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται ταξινομημένα τα ευρήματα για  $V = 90 \text{ km/h}$  για ακτίνες καμπύλης από 3800 ως 4400 μέτρα καθώς και οι κλίσεις όπου τελειώνει η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{\text{end\_braking}}$ ).

Η μπλε, η κόκκινη και η πράσινη γραμμή αναφέρονται στις κλίσεις εισόδου.

Το σύμβολο ▲ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.3$  μέτρα

Το σύμβολο ■ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.6$  μέτρα



**Σχήμα 5.1 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για  $V = 90 \text{ km/h}$  και για  $H_w = (3800 - 4400\text{m})$**

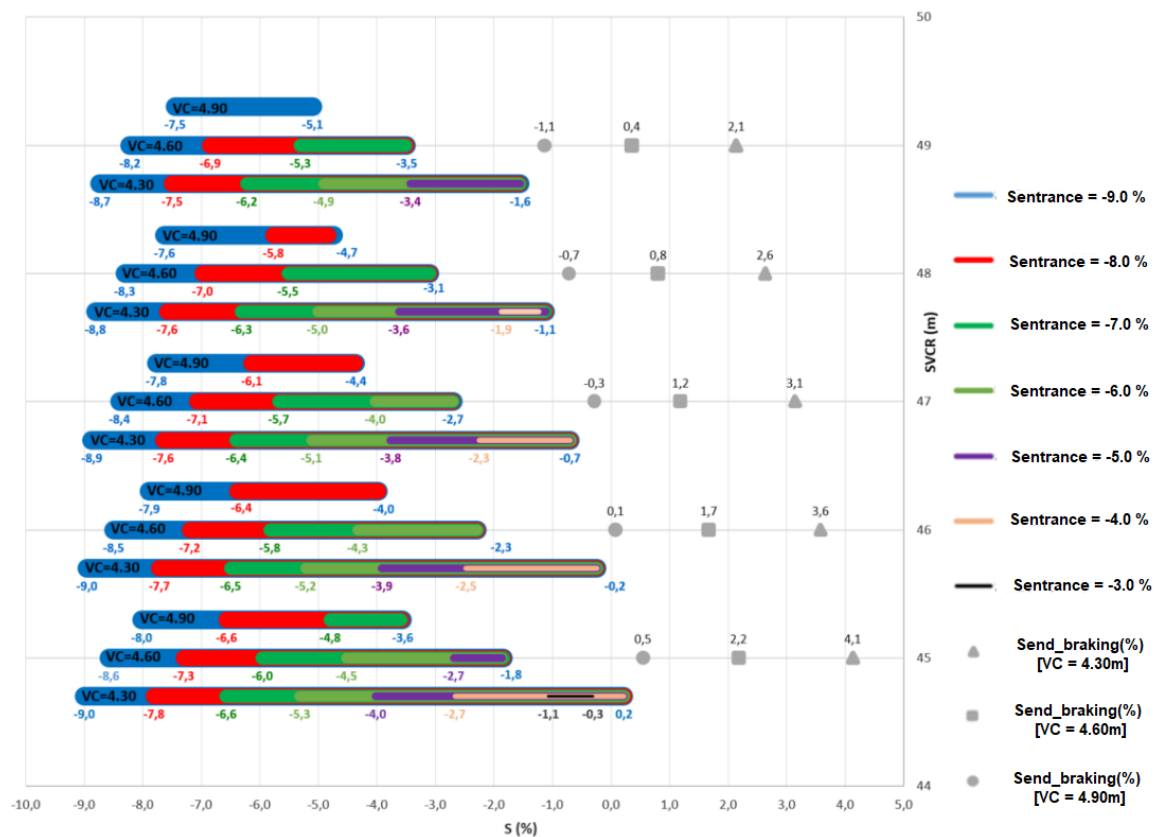
Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζονται ταξινομημένα τα ευρήματα για  $V = 100 \text{ km/h}$  για ακτίνες καμπύλης από 4500 ως 4900 μέτρα καθώς και οι κλίσεις όπου τελειώνει η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{\text{end\_braking}}$ ).

Η μπλε, η κόκκινη, η πράσινη, η λαχανί, η μωβ, η πορτοκαλί και η μαύρη γραμμή αναφέρονται στις κλίσεις εισόδου.

Το σύμβολο ▲ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.3$  μέτρα

Το σύμβολο ■ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.6$  μέτρα

Το σύμβολο ● αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.9$  μέτρα



**Σχήμα 5.2 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για  $V = 100 \text{ km/h}$  και για  $H_w = (4500 - 4900\text{m})$**

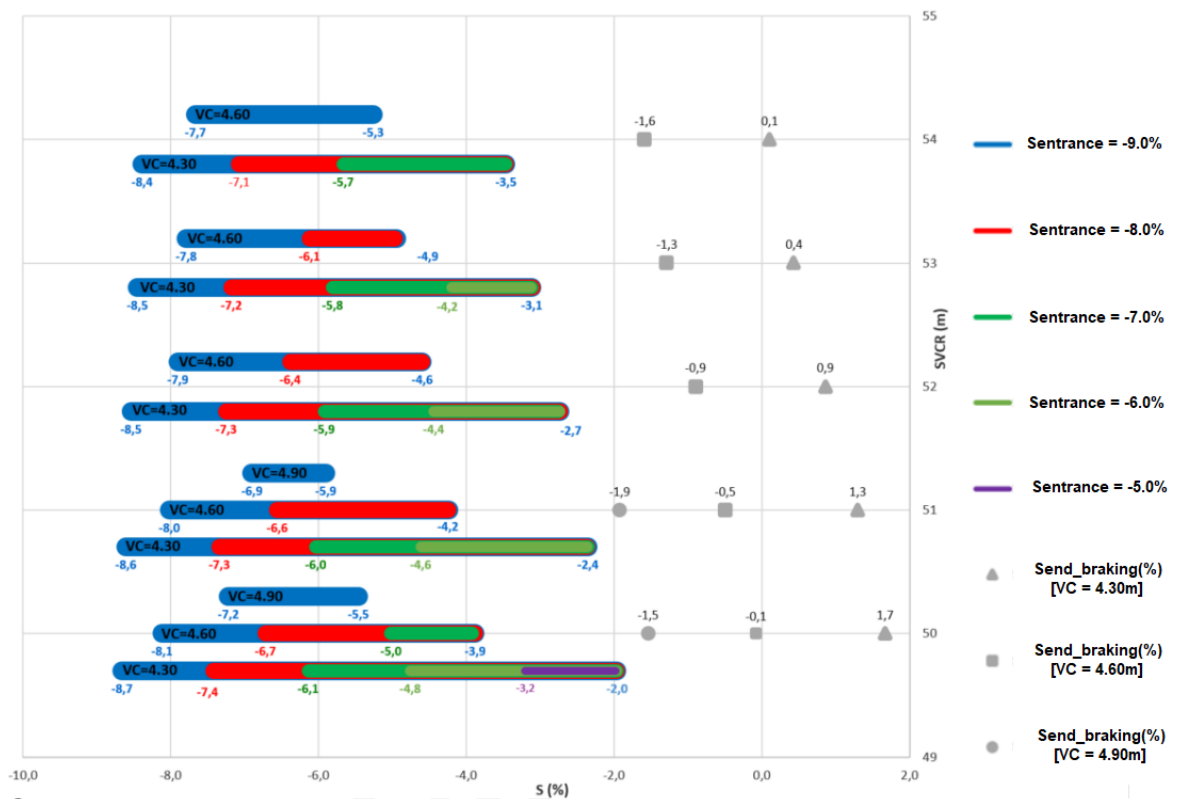
Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται ταξινομημένα τα ευρήματα για  $V = 100 \text{ km/h}$  για ακτίνες καμπύλης σύμφωνα 5000 ως 5400 μέτρα καθώς και οι κλίσεις όπου τελειώνει η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{\text{end\_braking}}$ ).

Η μπλε, η κόκκινη, η πράσινη, η λαχανί και η μωβ γραμμή αναφέρονται στις κλίσεις εισόδου.

Το σύμβολο ▲ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.3$  μέτρα

Το σύμβολο ■ αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.6$  μέτρα

Το σύμβολο ● αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.9$  μέτρα

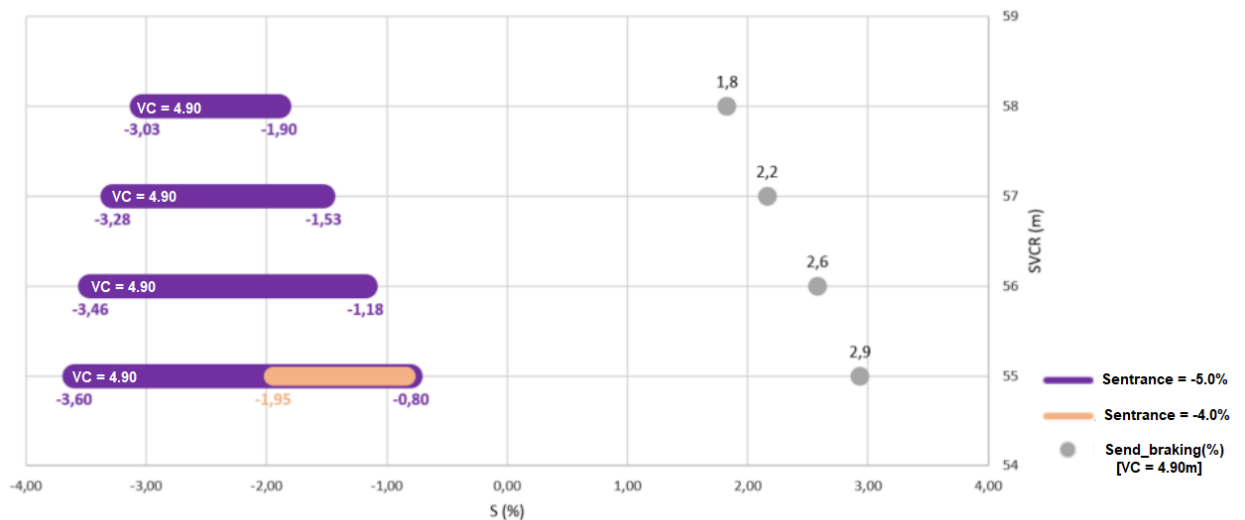


**Σχήμα 5.3 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για  $V = 100 \text{ km/h}$  και για  $H_w = (5000 - 5400\text{m})$**

Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζονται ταξινομημένα τα ευρήματα για  $V = 110 \text{ km/h}$  για ακτίνες καμπύλης σύμφωνα 5500 ως 6200 μέτρα καθώς και οι κλίσεις όπου τελειώνει η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{\text{end\_braking}}$ ).

Η μωβ και η πορτοκαλί γραμμή αναφέρονται στις κλίσεις εισόδου.

Το σύμβολο ● αναφέρεται στο  $S_{\text{end\_braking}}$  για  $VC = 4.9$  μέτρα



**Σχήμα 5.4 – Τιμές όπου διακόπτεται η ορατότητα για  $V = 110 \text{ km/h}$  και για  $H_w = (5500 - 6200\text{m})$**

Όπως έχει αναφερθεί όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν σε κώδικα Python. Στο σχήμα 5.5 παρουσιάζεται ψευδοκώδικας ο οποίος δείχνει τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε.

Ο κώδικας Python που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εν λόγω θέσεων και κλίσεων παρουσιάζεται στο παράρτημα.

Για κάθε ταχύτητα  $V$  που ελέγχεται:

Για κάθε προτεινόμενη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης καμπύλης  $Hw$  για την ταχύτητα  $V$ :

Για κάθε συνδυασμό  $s1$  και  $s2$ :

Υπολογισμός σταθερών και παραμέτρων:  $L, T, SSD\ Coefficient, H_{PVI}...$

Υπολογισμός  $Xroadall$

Υπολογισμός ύψους του δρόμου  $HEIGHT$  για κάθε θέση

Υπολογισμός  $hlines$  (Υψόμετρο γραμμής ορατότητας οδηγού) για κάθε θέση  $x$

Υπολογισμός  $hdiffs$  (Διαφορά  $hlines$  με  $HEIGHT$ ) για κάθε θέση  $x$

Για κάθε θέση  $x$  στο από το  $Xroadall$ :

Εύρεση των σημείων που η διαφορά  $(hline[x]-hroad[x])$  γίνεται μεγαλύτερη από 4.3 μέτρα

Εύρεση των σημείων που η διαφορά  $(hline[x]-hroad[x])$  γίνεται μεγαλύτερη από 4.6 μέτρα

Εύρεση των σημείων που η διαφορά  $(hline[x]-hroad[x])$  γίνεται μεγαλύτερη από 4.9 μέτρα

Αποθήκευση αποτελεσμάτων σε αρχείο .csv

### Σχήμα 5.5 – Ψευδοκώδικας

## 5.3 Σύνοψη

Συνοψίζοντας στο παρών κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, οι παράμετροι και οι σταθερές που λήφθηκαν υπόψη. Κατά αυτόν τον τρόπο καθορίστηκαν οι θέσεις και οι κλίσεις που υπάρχει πρόβλημα διακοπής ορατότητας και παρουσιάστηκε ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν αυτές οι θέσεις και οι αντίστοιχες κλίσεις. Επιπλέον παρατέθηκαν όλα τα διαγράμματα με τα συγκεντρωμένα αποτελέσματα για κάθε ταχύτητα ξεχωριστά. Σε αυτά πέρα από τις θέσεις βρίσκονται και οι κλίσεις όπου τελειώνει η διαδικασία πέδησης για την τελευταία θέση που διακόπτεται η ορατότητα ( $S_{end\_braking}$ ). Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την διαδικασία αλλά και ο κώδικας Python που πραγματοποίησε τους υπολογισμούς παρουσιάζονται ξεχωριστά στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα.



## 6. Συμπεράσματα

### 6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία καθορίστηκαν οι θέσεις και οι αντίστοιχες κλίσεις όπου διακόπτεται η ορατότητα ενός οδηγού φορτηγού, σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη με ύπαρξη άνω διάβασης, για όλες τις επιτρεπόμενες κλίσεις και για διάφορες ακτίνες καμπύλης. Προκειμένου να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν νέες εξισώσεις υπολογισμού του ΜΟΣ επιβατικού οχήματος σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη για τον προσδιορισμό του ΜΟΣ σε μεταβλητές κλίσεις, η οποία συσχετίζει το μοντέλο της σημειακής μάζας και τους νόμους της μηχανικής. Οι εξισώσεις προσαρμόστηκαν σε ΜΟΣ φορτηγών με την βοήθεια κατάλληλου συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός καθορίστηκε από την διαθέσιμη βιβλιογραφία και λήφθηκε ο όσον το δυνατό δυσμενέστερος.

Το πειραματικό μέρος της διερεύνησης πραγματοποιήθηκε σε κώδικα Python λόγω της ταχύτητας του και της ευχρηστίας του. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν εύκολα αρχεία τύπου «.csv» με τα αποτελέσματα, κάνοντας πιο εύκολη την επεξεργασία τους.

Οι τιμές για τις κλίσεις ανάλογα με την ταχύτητα, τις ακτίνες καμπύλης (1300 - 6200 μέτρα) αλλά και για το ελάχιστο ελεύθερο ύψος (4.3, 4.6 και 4.9) ορίστηκαν από τις τιμές του πράσινου βιβλίου του AASHTO και παρουσιάστηκαν με την μορφή πινάκων στα παραπάνω κεφάλαια 3 ως 5.

Όπως προέκυψε λοιπόν από τους υπολογισμούς υπάρχουν θέσεις που διακόπτεται η ορατότητα του οδηγού και ως εκ τούτου μπορεί να υπάρξει κίνδυνος ατυχήματος.

Αυτές οι θέσεις παρατηρούνται στις ταχύτητες 90 ως 110 km/h.

## 6.2 Διατύπωση συμπερασμάτων - προτάσεων

Παρά το γεγονός ότι δεν επιτρέπεται στα φορτηγά να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες, οι μεγάλες κατηφορικές κλίσεις ενθαρρύνουν τους οδηγούς να αναπτύξουν ταχύτητες που πλησιάζουν εκείνες των επιβατικών οχημάτων.

Η έρευνα έδειξε ότι οι ταχύτητες σχεδιασμού 90 – 110 km/h παρουσιάζουν πρόβλημα, σε αντίθεση με τις ταχύτητες 50 – 80 km/h.

Οι περιπτώσεις για τις ταχύτητες 100 km/h και 110 km/h είναι οι πιο κρίσιμες για τον λόγο ότι υπάρχουν θέσεις που διακόπτεται η ορατότητα ακόμα και για ελεύθερο ύψος ίσο με 4.9 μέτρα. Αυτό συμβαίνει για τις ακτίνες κατακόρυφης καμπύλης από 4500 – 5100 και 5500 – 5800 μέτρα αντίστοιχα.

Αυτές οι περιπτώσεις απαιτούν περαιτέρω προσοχή ειδικά όταν η κλίση εισόδου ( $s_1$ ) στην κοίλη κατακόρυφη καμπύλη είναι μεγάλη και απότομη.

Η μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας έχει ως σκοπό να αποτελέσει ένα εργαλείο αναφορικά με τον προδιορισμό της θέσης άνω διαβάσεων αλλά και γεφυρών σήμανσης σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες με προκαθορισμένα ελεύθερα ύψη και διάφορες ταχύτητες, σύμφωνα με το πράσινο βιβλίο του AASHTO.

Η έρευνα έδειξε ότι υπάρχουν περιπτώσεις οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης ώστε να εξασφαλιστεί η οδική ασφάλεια των επαγγελματικών οχημάτων σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη με ύπαρξη άνω διάβασης. Όμως, απαιτείται επιπλέον ανάλυση στην μελέτη της οριζοντιογραφίας σε συνδυασμό με τη μηκοτομή για την αποφυγή πρόσθετων περιορισμών. Επιπλέον, για τον ακριβή υπολογισμό του ΜΟΣ των φορτηγών και των παραμέτρων οι οποίοι εισέρχονται στον υπολογισμό μπορούν να ληφθούν υπόψη σύγχρονα δεδομένα, όπως:

- Ρυθμοί επιβράδυνσης
- Συντελεστές τριβής
- Συστήματα αντιεμπλοκής των τροχών κατά την πέδηση

Εξίσου σημαντικό όμως είναι να μελετηθεί και ο ανθρώπινος παράγοντας καθώς μπορεί να επιβάλει πρόσθετους περιορισμούς, επηρεάζοντας τον χρόνο

αντίληψης-αντίδρασης και κατά συνέπεια όλη την διαδικασία πέδησης και το τελικό ΜΟΣ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Transportation Research Board and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2003, p. 23379. doi: 10.17226/23379.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, *A policy on geometric design of highways and streets, 2018*. 2018. Accessed: Oct. 03, 2021. [Online]. Available: [http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPGDHSE12/viewerType:toc/root\\_slug:policy-geometric-design](http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPGDHSE12/viewerType:toc/root_slug:policy-geometric-design)
- [3] Μ.-Λ. Καββαδία, “Διερεύνηση παραμέτρων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής για την ορατότητα σε στάση,” Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016.
- [4] S. Mavromatis, N. Stamatiadis, B. Psarianos, and G. Yannis, “ATS: controlling sag vertical curvature rates based on variable grade stopping sight distance calculation,” p. 13.
- [5] ΥΠΕΧΩΔΕ, “Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3: Χαράξεις.”
- [6] S. Mavromatis, N. Stamatiadis, B. Psarianos, and G. Yannis, “Controlling Crest Vertical Curvature Rates Based on Variable Grade Stopping Sight Distance Calculation,” *Transportation Research Record*, vol. 2521, no. 1, pp. 31–44, Jan. 2015, doi: 10.3141/2521-04.
- [7] P. L. Olson, American Association of State Highway and Transportation Officials, and United States, Eds., *Parameters affecting stopping sight distance*. Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council, 1984.
- [8] R. M. Clarke, “Heavy Truck Safety Study. Prepared in Response to Section 216 of the Motor Carrier Safety Act of 1984. Final Report,” p. 229.
- [9] “Federal Highway Administration,” Nov. 01, 2021. <https://highways.dot.gov/>
- [10] “Transportation Research Board,” Nov. 01, 2021. <https://www.nationalacademies.org/trb/transportation-research-board>
- [11] Γ. Παπαγεωργίου, “Διδακτωρική Διατριβή: Βελτιστοποίηση αναβάθμισης και συντήρησης οδικού δικτύου μέσω αξιολόγησης λειτουργικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών,” Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- [12] Fambro, D B, Fitzpatrick, K, and Koppa, R J, “Determination of Stopping Sight Distances.” 1997.
- [13] G. Johansson and K. Rumar, “Johansson G, Rumar K. Drivers’ Brake Reaction Times. Human Factors. 1971”.
- [14] O.K. Normann, “Braking Distances of vehicles from high speeds.” 1953.
- [15] Cysewski, G. R, “Urban Intersectional Right Turning Movements. Traffic Engineering, Vol. 20, No. 1.” Oct. 1949.
- [16] Massachusetts Institute of Technology, “Report of the Massachusetts Highway Accident Survey, CWA and ERA project.” 1935.
- [17] Hardwood, 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: Research Report.” 1990.

- [18] Hardwood, D W, Mason, J M, Glauz, WD, Kulakowski, B T, and Fitzpatrick, K, "Truck Characteristics for use in Highway Design and Operation. Volume II: Appendixes. Final Report." Aug. 1990.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Π.1 Πίνακες ταχυτήτων – ακτινών

*Πίνακας Π.1.1 Όρια για  $V = 90 \text{ km/h}$  -  $H_W = 3900 \text{ m}$*

<b><math>V = 90 \text{ km/h}</math> - <math>H_W = 3900 \text{ m}</math></b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-9.2 to -4.4
	9	-7.8 to -4.4
	8	-6.2 to -4.4
	7	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	-8.2 to -6.1
	9	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____

*Πίνακας Π.1.2 Όρια για V = 90 km/h - HW = 4000 m*

<b>V = 90 km/h - H<sub>w</sub> = 4000 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-9.1 to -4.9
	9	-7.7 to -4.9
	8	-5.8 to -5.0
	7	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	-7.9 to -6.7
	9	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____

*Πίνακας Π.1.3 Όρια V = 90 km/h - HW = 4100 m*

<b>V = 90 km/h - H<sub>w</sub> = 4100 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-9.0 to -5.3
	9	-7.4 to -5.3
	8	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____

*Πίνακας Π.1.4 Όρια V = 90 km/h - HW = 4200 m*

<b>V = 90 km/h - H<sub>w</sub> = 4200 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-8.8 to -5.8
	9	-7.1 to -5.8
	8	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____

*Πίνακας Π.1.5 Όρια V = 90 km/h - HW = 4300 m*

<b>V = 90 km/h - H<sub>w</sub> = 4300 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	10	-8.7 to -6.2
	9	_____
<b>VC= 4.6</b>	10	_____
<b>VC = 4.9</b>	10	_____



Πίνακας Π.1.6 Όρια  $V = 90 \text{ km/h}$  -  $H_w = 4400 \text{ m}$

$V = 90 \text{ km/h} - H_w = 4400 \text{ m}$		
Vertical Clearance (m)	S_entrance(%)	S_Blocking_Sight(%)
VC = 4.3	10	-8.4 to -6.6
	9	_____
VC = 4.6	10	_____
VC = 4.9	10	_____

Πίνακας Π.1.7 Όρια  $V = 100 \text{ km/h}$  -  $H_w = 4500 \text{ m}$

$V = 100 \text{ km/h} - H_w = 4500 \text{ m}$		
Vertical Clearance (m)	S_entrance(%)	S_Blocking_Sight(%)
VC = 4.3	9	-9.0 to -0.2
	8	-7.8 to -0.2
	7	-6.6 to -0.2
	6	-5.3 to -0.2
	5	-4.0 to -0.2
	4	-2.7 to -0.2
	3	-1.1 to -0.3
	2	_____
VC = 4.6	9	-8.6 to -1.8
	8	-7.3 to -1.8
	7	-6.0 to -1.8
	6	-4.5 to -1.8
	5	-2.7 to -1.8
	4	_____
VC = 4.9	9	-8.0 to -3.6 □
	8	□ -6.6 to -3.6
	7	-4.8 to -3.6
	6	_____

Πίνακας Π.1.8 Όρια  $V = 100 \text{ km/h}$  -  $H_W = 4600 \text{ m}$

$V = 100 \text{ km/h}$ - $H_W = 4600 \text{ m}$		
Vertical Clearance (m)	S_entrance(%)	S_Blocking_Sight(%)
VC = 4.3	9	-9.0 to -0.2
	8	-7.7 to -0.2
	7	-6.5 to -0.2
	6	-5.2 to -0.2
	5	-3.9 to -0.2
	4	-2.5 to -0.2
	3	_____
VC = 4.6	9	-8.5 to -2.3
	8	-7.2 to -2.3
	7	-5.8 to -2.3
	6	-4.3 to -2.3
	5	_____
VC = 4.9	9	-7.9 to -4.0
	8	□ -6.4 to -4.0
	7	_____

Πίνακας Π.1.8 Όρια  $V = 100 \text{ km/h}$  -  $H_w = 4700 \text{ m}$

$V = 100 \text{ km/h}$ - $H_w = 4700 \text{ m}$		
Vertical Clearance (m)	S_entrance(%)	S_Blocking_Sight(%)
VC = 4.3	9	-8.9 to -0.7
	8	-7.6 to -0.7
	7	-6.4 to -0.7
	6	-5.1 to -0.7
	5	-3.8 to -0.7
	4	-2.3 to -0.7
	3	_____
VC = 4.6	9	-8.4 to -2.7
	8	-7.1 to -2.7
	7	-5.7 to -2.7
	6	-4.0 to -2.7
	5	_____
VC = 4.9	9	-7.8 to -4.4
	8	□ -6.1 to -4.4
	7	_____

Πίνακας Π.1.9 Όρια  $V = 100 \text{ km/h}$  -  $H_w = 4800 \text{ m}$

$V = 100 \text{ km/h}$ - $H_w = 4800 \text{ m}$		
Vertical Clearance (m)	S_entrance(%)	S_Blocking_Sight(%)
VC = 4.3	9	-8.8 to -1.1
	8	-7.6 to -1.1
	7	-6.3 to -1.1
	6	-5.0 to -1.1
	5	-3.6 to -1.1
	4	-1.9 to -1.2
	3	_____
VC = 4.6	9	-8.3 to -3.1
	8	-7.0 to -3.1
	7	-5.5 to -3.1
	6	_____
VC = 4.9	9	-7.6 to -4.7
	8	□ -5.8 to -4.9
	7	_____

*Πίνακας Π.1.10 Όρια V = 100 km/h - HW = 4900 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 4900 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.7 to -1.6
	8	-7.5 to -1.6
	7	-6.2 to -1.6
	6	-4.9 to -1.6
	5	-3.4 to -1.6
	4	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-8.2 to -3.5
	8	-6.9 to -3.5
	7	-5.3 to -3.5
	6	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	-7.5 to -5.1
	8	_____

*Πίνακας Π.1.11 Όρια V = 100 km/h - HW = 5000 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 5000 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.7 to -2.0
	8	-7.4 to -2.0
	7	-6.1 to -2.0
	6	-4.8 to -2.0
	5	-3.2 to -2.0
	4	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-8.1 to -3.9
	8	-6.7 to -3.9
	7	-5.0 to -3.9
	6	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	-7.2 to -5.5
	8	_____

*Πίνακας Π.1.12 Όρια V = 100 km/h - HW = 5100 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 5100 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.6 to -2.4
	8	-7.3 to -2.4
	7	-6.0 to -2.4
	6	-4.6 to -2.4
	5	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-8.0 to -4.2
	8	-6.6 to -4.2
	7	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	-6.9 to -5.9
	8	_____

*Πίνακας Π.1.13 Όρια V = 100 km/h - HW = 5200 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 5200 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.5 to -2.7
	8	-7.3 to -2.7
	7	-5.9 to -2.7
	6	-4.4 to -2.7
	5	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-7.9 to -4.6
	8	-6.4 to -4.6
	7	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	_____

*Πίνακας Π.1.14 Όρια V = 100 km/h - HW = 5300 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 5300 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.5 to -3.1
	8	-7.2 to -3.1
	7	-5.8 to -3.1
	6	-4.2 to -3.1
	5	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-7.8 to -4.9
	8	-6.1 to -4.9
	7	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	_____

*Πίνακας Π.1.15 Όρια V = 100 km/h - HW = 5400 m*

<b>V = 100 km/h - H<sub>w</sub> = 5400 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.3</b>	9	-8.4 to -3.5
	8	-7.1 to -3.5
	7	-5.7 to -3.5
	6	_____
<b>VC = 4.6</b>	9	-7.7 to -5.3
	8	_____
<b>VC = 4.9</b>	9	_____

*Πίνακας Π.1.16 Όρια V = 110 km/h - HW = 5500 m*

<b>V = 110 km/h - H<sub>w</sub> = 5500 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.9</b>	5	-3.6 to -0.80
	4	-1.95 to -0.80
	3	_____

*Πίνακας Π.1.17 Όρια V = 110 km/h - HW = 5600 m*

<b>V = 110 km/h - H<sub>w</sub> = 5600 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.9</b>	5	-3.46 to -1.18
	4	_____

*Πίνακας Π.1.18 Όρια V = 110 km/h - HW = 5700 m*

<b>V = 110 km/h - H<sub>w</sub> = 5700 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.9</b>	5	-3.28 to -1.53
	4	_____

*Πίνακας Π.1.19 Όρια V = 110 km/h - HW = 5800 m*

<b>V = 110 km/h - H<sub>w</sub> = 5800 m</b>		
<b>Vertical Clearance (m)</b>	<b>S_entrance(%)</b>	<b>S_Blocking_Sight(%)</b>
<b>VC = 4.9</b>	5	-3.03 to -1.90
	4	_____

## Π.2 Κώδικας Python

```
main.py ×
1 import ssd_calc
2 import height
3
4 import pandas as pd
5 import sys
6 import os
7
8 ### First message
9 print("This program calculates the height of the line of sight for symmetrical curves.")
10
11 ### Usage
12 def print_usage():
13     print('Usage:\n' + sys.argv[0] + ' vo Hw HPVI')
14     print('vo: Truck speed, Hw: Curve radius (aktina kampylis), HPVI: PVI elevation (float)')
15     print('If no arguments are given, values are asked interactively.')
16
17 ### Input parsing
18 args = sys.argv[1:]
19 if len(args) == 0: # Interactive
20     print_usage()
21     print('\n---- Interactive mode----\n')
22     # Interactive inputs
23     vo = int(input("Truck speed (km/h): "))
24     Hw = int(input("Curve radius (aktina kampylis) (m): "))
25     HPVI = float(input("PVI elevation [could be float] (m): "))
26 elif args[0] == '--help' or args[0] == '-h':
27     print_usage()
28     exit(1) # Exit the program
29 elif len(args) == 3:
30     vo = int(args[0])
31     Hw = int(args[1])
32     HPVI = float(args[2])
33 else:
34     print_usage()
35     exit(1) # Exit the program
36
37 ### For loops
38 if vo < 60:
39     max_s_per_vo = 14
40 elif vo < 70:
41     max_s_per_vo = 13
42 elif vo < 80:
43     max_s_per_vo = 12
44 elif vo < 100:
45     max_s_per_vo = 10
46 elif vo < 110:
47     max_s_per_vo = 9
48 else:
49     max_s_per_vo = 5
50
51 ### Convert vo to m/s (from km/h)
52 vo = vo * (1000.0 / 3600.0) # Gia km/h -> m/s
53
54 ### In case values need to be calculated for larger meter intervals
55 step_in_meters = 1
56
```



```

57  ### Iterate through all possible grade combinations
58  for s1 in range(-max_s_per_vo, 1, 1): # i.e., -12..0
59      for s2 in range(max_s_per_vo, -1, -1): # i.e., 12..0
60          ### Skip straight roads (also leads to division by ZERO) -- ACHTUNG
61          if s1 == 0 and s2 == 0:
62              continue
63
64          print(f'\tProcessing s1={s1} s2={s2} ...')
65
66          ### Constants
67          Ad = ((s2*0.01)-(s1*0.01)) # *0.01 to convert from % to normal value (e.g., 12% -> 0.12)
68          T = ((Hw//2)*(Ad))
69          L = 2 * T # Length of sag vertical curve
70          xpvi = T + 200 # Starting position, 200 was chosen as a safe value
71          xvpc = round(xpvi-T) # Where curve starts
72          xvpt = xvpc
73          H0 = (HPVI+ (abs(s1*0.01*xpvi))) # Height of starting position
74          hvpc = H0 + (s1*0.01*xvpc) # Height of VPC
75          hvpt = HPVI + (s2*0.01*T) # Height of VPT
76          xroadall = round(xvpc+L+xvpt) # Length of road
77          eyes_height = 2.33 # Driver's eyes height
78          obstacle_height = 0.6
79
80          ### Calculate height using dedicated class
81          height_c = height.height_calculator( xvpc, H0, s1, s2, hvpc, Ad, L, hvpt )
82
83          ### Calculate height of road for each position
84          hroad=[]
85          for x in range(0, xroadall+1 ,1):
86              hroad.append( height_c.get(x) )
87
88
89          ### Will contain results
90          data = {}
91
92          ### Coefficients to check to transform passenger car SSD to truck SSD
93          ssd_coefs = [ (3.4/9.81)/0.16 ]
94
95          ### ssd_coef is only ssd_coef now, used to be more options
96          for ssd_coef in ssd_coefs:
97              ### in string form
98              ssd_coef_str = str(ssd_coef)
99
100             hlines=[] # list of (hline lists) for each x
101             hdiffs=[]
102
103             ### Create instance of SSD class
104             ssd_c = ssd_calc.ssd(xvpc, L, s1, s2, Hw, vo)
105
106             for x in range (0, xroadall+1, 1):
107                 ssd = (ssd_coef * ((ssd_c.get(x))-(vo*2.5))) + (vo*2.5)
108                 sline = ((height_c.get(x+ssd)+obstacle_height)-(height_c.get(x)+eyes_height))/ssd
109
110                 hline=[]
111                 for i in range (0,xroadall+1,1):
112                     # Using line equation: y-yo=s*(x-xo)
113                     hi = (height_c.get(x)+eyes_height)+((sline*(i-x)))
114                     hline.append(hi)
115
116                 hdiff=[]
117                 for i in range (0, xroadall+1, 1):
118                     hdiffi=((hline[i]-hroad[i]))
119                     hdiff.append(hdiffi)
120
121                 hlines.append(hline)
122                 hdiffs.append(hdiff)

```

```

123 data[ssd_coef_str] = {
124     'x': range(0,xroadall+1,step_in_meters),
125     'start4.3' : [],
126     'end4.3' : [],
127     'start4.6' : [],
128     'end4.6' : [],
129     'start4.9' : [],
130     'end4.9' : [],
131     'hroad_max_s_start4.3' : [],
132     'hroad_max_s_end4.3' : [],
133     'hroad_max_s_start4.6' : [],
134     'hroad_max_s_end4.6' : [],
135     'hroad_max_s_start4.9' : [],
136     'hroad_max_s_end4.9' : [],
137     'distance from PVI': [],
138     'track_finish': [],
139     'ssd': [],
140 }
141
142 for i in range(0, xroadall+1, step_in_meters):
143     hdiffs_important = []
144     xs = []
145     for k in range(len(hdiffs[i])):
146         if k % step_in_meters == 0 and k >= i:
147             hdiffs_important.append( hdiffs[i][k] )
148             xs.append(k-xpvi)
149
150     data[ssd_coef_str]['distance from PVI'].append( i - xpvi )
151

```

```

152     ### Last time it becomes < 4.3
153     start43 = -1
154     end43 = -1
155     for k in range(len(hdiffs_important)):
156         val = hdiffs_important[k]
157         if val > 4.3:
158             start_k = k
159             start43 = xs[k]
160             break
161     for k in range(len(hdiffs_important[::-1])): # reverse
162         val = hdiffs_important[::-1][k]
163         if val > 4.3:
164             end_k = len(hdiffs_important) - k + 1
165             end43 = xs[end_k]
166             break
167     data[ssd_coef_str]['start4.3'].append(start43)
168     data[ssd_coef_str]['end4.3'].append(end43)
169

```

```

170     ### Last time it becomes < 4.6
171     start46 = -1
172     end46   = -1
173     for k in range(len(hdiffs_important)):
174         val = hdiffs_important[k]
175         if val > 4.6:
176             start_k = k
177             start46 = xs[k]
178             break
179     for k in range(len(hdiffs_important[::-1])): # reverse
180         val = hdiffs_important[::-1][k]
181         if val > 4.6:
182             end_k = len(hdiffs_important) - k + 1
183             end46 = xs[end_k]
184             break
185     data[ssd_coef_str]['start4.6'].append(start46)
186     data[ssd_coef_str]['end4.6'].append(end46)
187

```

```

188     ### Last time it becomes < 4.9
189     start49 = -1
190     end49   = -1
191     for k in range(len(hdiffs_important)):
192         val = hdiffs_important[k]
193         if val > 4.9:
194             start_k = k
195             start49 = xs[k]
196             break
197     for k in range(len(hdiffs_important[::-1])): # reverse
198         val = hdiffs_important[::-1][k]
199         if val > 4.9:
200             end_k = len(hdiffs_important) - k + 1
201             end49 = xs[end_k]
202             break
203     data[ssd_coef_str]['start4.9'].append(start49)
204     data[ssd_coef_str]['end4.9'].append(end49)
205

```

```

206     ### Gradients depending on position
207
208     def get_gradient(start, end):
209         gradient_start = -100
210         gradient_end = -100
211
212         hroad_max_x_adj_start = start + xpvi
213         hroad_max_x_adj_end = end + xpvi
214
215         if hroad_max_x_adj_start <= 200:
216             gradient_start = s1
217         if hroad_max_x_adj_start > 200 and hroad_max_x_adj_start < xroadall-200:
218             sx = s1 + 100.0*(hroad_max_x_adj_start-200)/Hw
219             gradient_start = sx
220         if hroad_max_x_adj_start >= xroadall-200:
221             gradient_start = s2
222
223         if hroad_max_x_adj_end <= 200:
224             gradient_end = s1
225         if hroad_max_x_adj_end > 200 and hroad_max_x_adj_end < xroadall-200:
226             sx = s1 + 100.0*(hroad_max_x_adj_end-200)/Hw
227             gradient_end = sx
228         if hroad_max_x_adj_end >= xroadall-200:
229             gradient_end = s2
230
231         return (gradient_start, gradient_end)
232
233
234     (x, y) = get_gradient(start43, end43)
235     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_start4.3'].append(x)
236     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_end4.3'].append(y)
237     (x, y) = get_gradient(start46, end46)
238     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_start4.6'].append(x)
239     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_end4.6'].append(y)
240     (x, y) = get_gradient(start49, end49)
241     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_start4.9'].append(x)
242     data[ssd_coef_str]['hroad_max_s_end4.9'].append(y)
243
244     ### Track finish
245     ssd = (ssd_coef * ((ssd_c.get(i))-(vo*2.5))) + (vo*2.5)
246     data[ssd_coef_str]['track_finish'].append( (i - xpvi) + ssd )
247     data[ssd_coef_str]['ssd'].append( ssd )
248
249     ### data_csv is needed, because we want to save results in csv form.
250     ### Thus, we need a single column titles for every result
251     ### E.g., in data, we had data['3.17']['start4.3']
252     ### Now we have: data_csv['ssd3.17--start4.3'], so it's a single "title" that
253     ### can be used as column title
254     data_csv = {}
255     data_csv['x'] = range(0,xroadall+1,step_in_meters)
256     data_csv['distance from PVI'] = data[str(ssd_coefs[0])]['distance from PVI']
257     for ssd_coef_str in data.keys():
258         data_s = data[ssd_coef_str]
259         for key in ['track_finish', 'ssd', 'start4.3', 'end4.3', 'start4.6', 'end4.6', 'start4.9', 'end4.9',
260                 'ssd' + ssd_coef_str + '--' + key]:

```

```

261     ### Save csv
262     df = pd.DataFrame(data_csv)
263     # Directory in which the python file is located
264     current_dir = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
265     current_dir = current_dir + f'/results/vo_{round(vo * 3600/1000)}_km_h/vo_{round(vo * 3600/1000)}_km_h_curve_{Hw}'
266     # Create directory if it does not exist
267     if not os.path.exists(current_dir):
268         os.makedirs(current_dir)
269     # Actually save "dataframe" to csv
270     df.to_csv(
271         f'{current_dir}/s1_{s1}_s2_{s2}__results_per_{step_in_meters}_m.csv',
272         index=False
273     )
274

```

ssd\_calc.py ×

```

1 class ssd:
2     def __init__(self, xvpc, L, s1, s2, Hw, vo):
3         self.xvpc = xvpc
4         self.L = L
5         self.s1 = s1
6         self.s2 = s2
7         self.Hw = Hw
8         self.vo = vo
9         self.tpr = 2.5 # AASHTO
10
11     def find_s(self, x):
12         if x <= self.xvpc:
13             return self.s1
14         elif x > self.xvpc and x <= (self.xvpc + self.L):
15             return self.s1 + 100.0 * (x - self.xvpc) / (self.Hw)
16         else:
17             return self.s2
18
19     def get(self, x):
20         BD = 0 # will be aggregated (it's the sum of breaking distance)
21         BD_last = 0
22         Vi = self.vo
23         Vi1 = 1 # exact value doesn't matter, should be > 0, so that it gets in loop
24         xx = x +(self.tpr * self.vo) # xx is x + offset , alternatively: xx=x
25

```

```

26     t = 0.01
27     #a = 3.4 m/s for decelaration
28     while Vi1 > 0:
29         s = self.find_s(xx)
30         Vi1 = Vi - 9.81 * ((3.4/9.81)+(s*0.01)) * t
31         BD_last = Vi*t - 0.5*9.81*((3.4/9.81)+(s*0.01)) * (t**2)
32         BD += BD_last
33
34         # For next loop
35         Vi = Vi1
36         t += 0.01
37         xx += BD_last
38
39     SSD = self.vo*self.tpr + BD
40     return SSD
41
42

```

height.py X

```

1  class height_calculator:
2      def __init__(self, xvpc, H0, s1, s2, hvPC, Ad, L, hvPT):
3          self.xvpc = xvpc
4          self.curve_end = xvpc + L
5          self.H0 = H0
6          self.s1 = s1
7          self.s2 = s2
8          self.hvPC = hvPC
9          self.a = 1.0 * (Ad/(2*L))
10         self.hvPT = hvPT
11
12     def get(self, x):
13         if x < self.xvpc:
14             return self.H0 + (self.s1) * (0.01) * x
15         elif x >= self.xvpc and x <= self.curve_end:
16             o = x - self.xvpc # offset
17             return self.a * (o**2) + self.s1 * 0.01 * o + self.hvPC
18         else:
19             o = x - (self.curve_end) # offset
20             return self.hvPT + self.s2 * 0.01 * o
21
22

```