



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση του Μήκους Ορατότητας για Στάση σε  
Καμπύλα Τμήματα με Κυρτές Κατακόρυφες  
Καμπύλες κατά ΟΜΟΕ-Χ**



**ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΣΑΚΕΛΛΑΡΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤΕΡΓΙΟΣ ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2021



## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και κατ' επέκταση των προπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την καθοριστική καθοδήγηση και υποστήριξη σε όλα τα στάδια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής: κ. Λοΐζο, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, και κ. Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στη σχολή.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Βασίλειο Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα ΕΜΠ, για την βοήθεια που μου προσέφερε με τις συμβουλές και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τις συμβουλές τους και τη συμπαράσταση τους, καθώς και την οικογένεια μου για την εμπιστοσύνη και την πίστη που έχουν σε μένα, όντας πάντα δίπλα μου να με στηρίζουν σε οποιοδήποτε εγχείρημα μου.

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Αντώνιος Σακελλάρης



## Σύνοψη

### **Διερεύνηση του Μήκους Ορατότητας για Στάση σε Καμπύλα Τμήματα με Κυρτές Κατακόρυφες Καμπύλες κατά ΟΜΟΕ-Χ**

Αντώνιος Σακελλάρης

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

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του μήκους ορατότητας για στάση σε καμπύλα τμήματα με κυρτές κατακόρυφες καμπύλες σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ. Αρχικά, βρέθηκαν οι οριακές τιμές των στοιχείων μελέτης χάραξης για την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή και για τις διατομές σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ και επιλέχθηκαν ακόμα περεταίρω συνδυασμοί των στοιχείων αυτών για την δημιουργία ενός ικανοποιητικού δείγματος. Στην συνέχεια, έγινε εισαγωγή του κάθε διαφορετικού συνδυασμού των στοιχείων γεωμετρικού σχεδιασμού σε έναν ειδικό αλγόριθμο στο υπολογιστικό φύλλο excel μέσω του οποίου υπολογίστηκε το μήκος που δεν έχει ορατότητα ο οδηγός όταν βρίσκεται στην καμπύλη, καθώς και το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και βρέθηκε ο λόγος τους, ο οποίος εκφράστηκε σε ποσοστό. Τα ποσοστά όλων των πιθανών συνδυασμών συλλέχθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σε θερμικά διαγράμματα. Τέλος, έγινε η μοντελοποίηση του ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση με τη χρήση της πλατφόρμας R-studio, όπου μέσω της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης προέκυψε το τελικό μοντέλο, το οποίο υποδεικνύει ισχυρή συσχέτιση του ποσοστού αυτού με τα στοιχεία μελέτης χάραξης μιας οδού.

**Λέξεις-Κλειδιά:** μήκος ορατότητας για στάση, αλγόριθμος, θερμικά διαγράμματα, μοντελοποίηση, γραμμική παλινδρόμηση



## **Abstract**

### **Investigation of the Stopping Sight Distance in Horizontal Curves over Crest Vertical Curves according to OMOE-X**

Antonios Sakellaris

Supervisor: Stergios Mavromatis, Assistant Professor NTUA

The aim of this Diploma Thesis is the investigation of the stopping sight distance in horizontal curves over crest vertical curves according to OMOE-X instructions. Initially, the limit values of the tracing elements of geometric design were found for the layout plan, the longitudinal section, as well as the cross sections, according to the OMOE-X instructions. Even further combinations of the afore-mentioned elements were chosen to create a sufficient sample. Consequently, every different combination of tracing elements that was chosen in the previous step was input to a specific algorithm in the excel file. Using this algorithm for every single combination, the length (in the given curve) for which the driver has no visibility was calculated, along with the necessary visibility length for stopping. Then, their ratio was expressed as a percentage. The percentages of all possible combinations were gathered and categorized in thermal diagrams. Last was the modeling of the percentage hidden length in curve of demand stopping sight distance, by the use of the R-studio platform, where the final model was created through the method of linear regression. This model indicates a strong correlation between this percentage and the tracing elements of a road.

**Keywords:** stopping sight distance, algorithm, thermal diagrams, modeling, linear regression





**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
1.1 Γενική Ανασκόπηση.....	8
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας .....	9
1.3 Μεθοδολογία.....	10
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	13
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	16
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Συναφείς έρευνες.....	16
2.2.1 Sanchez E., Three-Dimensional Analysis of Sight Distance on Interchange Connectors (1994).....	16
2.2.2 Hassan Y., Easa S. M. and Abd El Halim, A.O., Analytical Model for Sight Distance Analysis on Three-Dimensional Highway Alignments (1996).....	17
2.2.3 Ismail K. and Sayed T., New algorithm for calculating 3-D available sight distance (2007) .....	18
2.2.4 Kim D. and Lovell D., A Procedure for 3-D Sight Distance Evaluation Using Thin Plate Splines (2011) .....	19
2.2.5 Moreno Chou, Perez V., Garcia A. and Rojas M., Evaluation of 3-D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two – Lane Roads (2014).....	19
2.2.6 Jha M., Kumar Karri, GA and Kuhn W., A New 3-Dimensional Highway Design Methodology for Sight Distance Measurement (2011)..	20

2.2.7 Mavromatis S., S. Palaskas and B. Psarianos., Continuous Three-Dimensional Stopping Sight Distance Control on Crest Vertical Curves (2012).....	20
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	22
3.1 Εισαγωγή.....	22
3.2 Στοιχεία μελέτης για την οριζοντιογραφία .....	22
3.2.1 Κυκλικό Τόξο .....	22
3.2.2 Τόξο Συναρμογής.....	24
3.3 Στοιχεία μελέτης για τη μηκοτομή .....	26
3.4 Στοιχεία μελέτης για τις διατομές .....	28
3.4.1 Επικλίσεις.....	28
3.4.2 Επίκλιση σε Ευθύγραμμα Τμήματα .....	29
3.4.3 Επίκλιση σε Καμπύλα Τμήματα.....	30
3.5 Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ) .....	31
3.5.1 Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Στάση .....	32
3.5.2 Διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Στάση .....	34
3.6 Υπολογιστικό περιβάλλον R .....	38
3.6.1 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης.....	39
3.6.2 Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση .....	40
3.7 Κριτήρια επιλογής μοντέλου .....	41
3.7.1 Συντελεστές βί .....	41
3.7.2 Έλεγχος t-test.....	42
3.7.3 Τιμή σημαντικότητας p-value .....	43
3.7.4 Μέτρα προσαρμογής.....	43
3.7.5 Κριτήριο καλής προσαρμογής $R^2$ – Adjusted $R^2$ .....	44
4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	46
4.1 Εισαγωγή.....	46
4.2 Κυκλικό Τόξο Οριζοντιογραφίας .....	46

4.3 Κυρτή Κατακόρυφη Καμπύλη Συναρμογής .....	48
4.4 Κατά Μήκος Κλίση στη Μηκοτομή .....	49
4.5 Προσδιορισμός Επίκλισης σε Κυκλικά Τμήματα.....	50
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	52
5.1 Εισαγωγή.....	52
5.2 Αλγόριθμος Παραγωγής Δεδομένων .....	52
5.2.1 Καρτέλα Geometry .....	52
5.2.2 Καρτέλα <code>ssd_compute</code> .....	54
5.2.3 Καρτέλα <code>SSDavailable</code> .....	56
5.3 Θερμικά διαγράμματα .....	60
5.4 Στατιστική ανάλυση.....	65
5.4.1 Εισαγωγή στοιχείων στην R .....	65
5.4.2 Κώδικας.....	66
5.4.3 Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο .....	70
5.4.4 Αποτελέσματα .....	70
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	72
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	74

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1-1: Βήματα Διπλωματικής Εργασίας.....	12
Εικόνα 2-1: Προοπτική όψη της οδού από τη Θέση τον οδηγού (Sanchez, 1994).....	17
Εικόνα 2-2: Αναπαράσταση κυρτής καμπύλης μηκοτομής με χρήση πεπερασμένων στοιχείων (Hassan, Easa & Abd El Halim,1996) .....	18
Εικόνα 2-3: Τρισδιάστατη απεικόνιση διατομής από τρισδιάστατη σάρωση οδού (Μαυρομάτης, Παγούνης, Παλάσκας & Μαρούδας, 2012).....	21
Εικόνα 3-1: Τόξο κύκλου και κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.....	23
Εικόνα 3-2: Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης .....	25
Εικόνα 3-3: Σκαρίφημα κατακόρυφης καμπύλης (κυρτή).....	28
Εικόνα 3-4: Διαμόρφωση οδοστρώματος σε ευθύγραμμα τμήματα .....	29
Εικόνα 3-5: Επάρκεια ορατότητας σε σχέση με το Απαιτούμενο (Required stopping distance) και το Διατιθέμενο (Sight Distance) ΜΟΣ.....	32
Εικόνα 3-6: Διαδικασία ακινητοποίησης του οχήματος .....	33
Εικόνα 3-7: Διατιθέμενο μήκος ορατότητας σε αριστερόστροφες και δεξιόστροφες καμπύλες .....	35
Εικόνα 3-8: Παράδειγμα ορατότητας του οδηγού που τέμνει ένα χαρακτηριστικό εμπόδιο δρόμου.....	37
Εικόνα 3-9: R-studio .....	38
Εικόνα 3-10: Μορφή γραμμικού μοντέλου .....	40
Εικόνα 3-11: Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων .....	41
Εικόνα 5-1: Καρτέλα Geometry του αλγορίθμου στο excel .....	52
Εικόνα 5-2: Καρτέλα <code>ssd_compute</code> του αλγορίθμου στο excel.....	54
Εικόνα 5-3: Καρτέλα <code>SSDavailable</code> του αλγορίθμου στο excel .....	56
Εικόνα 5-4: Πρότυπη τομή New_Jersey .....	58
Εικόνα 5-5: Προβληματικό μήκος ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση ανά διατομή (R=900, Hk=-15000, s1=4 / s2=-4, e2=7) .....	60
Εικόνα 5-6: Προβληματικό μήκος ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση ανά διατομή (R=2000, Hk=-30000, s1=4 / s2=-4, e2=3.5).....	61
Εικόνα 5-7: Μορφή κώδικα για εντολή <code>read_excel</code> .....	65

Εικόνα 5-8: Ενδεικτικό τμήμα πίνακα <code>data_final</code> .....	66
Εικόνα 5-9: Πλατφόρμα R-studio .....	67
Εικόνα 5-10: Δημιουργία μεταβλητών στην R-studio .....	68
Εικόνα 5-11: Ενδεικτικό τμήμα τελικού πίνακα δεδομένων .....	68
Εικόνα 5-12: Κώδικας δημιουργίας τελικού μοντέλου .....	69
Εικόνα 5-13: Αποτελέσματα εντολής <code>lm</code> , τελικό μοντέλο .....	69

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ**

Γράφημα 3-1: Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α - λοφώδη και ορεινά εδάφη .....	31
Γράφημα 4-1: Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α - λοφώδη και ορεινά εδάφη .....	51
Γράφημα 5-1: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση .....	62
Γράφημα 5-2: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για $H_k=-15000m$ .....	63
Γράφημα 5-3: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για $H_k=-20000m$ .....	63
Γράφημα 5-4: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για $H_k=-25000m$ .....	64
Γράφημα 5-5: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για $H_k=-30000m$ .....	64

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 3-1: Κανόνες προσήμων των παραμέτρων μηκοτομής.....	28
Πίνακας 3-2: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή $t$ της κατανομής Student.....	42
Πίνακας 3-3: Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών ( $p$ -value).....	43
Πίνακας 4-1: Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών οριζοντιογραφίας για οδούς των ομάδων A και B.....	47
Πίνακας 4-2: Οριακές τιμές κυρτών κατακόρυφων καμπυλών για οδούς των ομάδων A και B.....	48
Πίνακας 4-3: Μέγιστες κατά μήκος τιμές κλίσεων για οδούς των ομάδων A και B.....	49

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Ο βασικός στόχος κατά τη μελέτη κάθε συγκοινωνιακού έργου, είναι η επίτευξη ικανού επιπέδου ασφαλείας για τους χρήστες. Ένα βασικό στοιχείο που απαιτείται να διερευνηθεί προς την κατεύθυνση αυτή είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας σε μία οδό.

Το Μήκος Ορατότητας ορίζεται από το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σε κάθε χρονική στιγμή. Όσο μικρότερο είναι το μήκος ορατότητας, τόσο λιγότερη οπτική πληροφορία είναι διαθέσιμη για αξιολόγηση, με αποτέλεσμα ένας οδηγός να χρειάζεται πιο συχνά να ανανεώνει τις προβλέψεις του. Η ασφάλεια της κυκλοφορίας και η ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής απαιτούν την ύπαρξη ελαχίστων 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). Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξετάζεται το **Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ)**.

Σε όλες τις κατηγορίες οδών και σε όλο το μήκος τους είναι απαραίτητη η ύπαρξη ελαχίστων μηκών ορατότητας για στάση. Κατά συνέπεια, κρίθηκε απαραίτητο να διερευνηθεί η επιρροή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, ως προς την εξασφάλιση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας. Πέραν της ταχύτητας, οι παράμετροι που επηρεάζουν το μήκος ορατότητας αφορούν κυρίως στη χάραξη της οδού (καμπύλα τμήματα στην οριζοντιογραφία, κοίλη ή κυρτή καμπύλη στη μηκοτομή), στα πρηνή των επιχωμάτων και των ορυγμάτων, στο φυσικό ανάγλυφο της περιοχής, καθώς και στην ύπαρξη στηθαίων ασφαλείας, στύλων οδοφωτισμού και τεχνικών έργων γενικότερα.

Στις διάφορες οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού οδών παρατηρείται προσπάθεια προσδιορισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για



στάση, χρησιμοποιώντας στοιχεία μόνο της οριζοντιογραφίας ή μόνο της μηκοτομής (δισδιάστατο μοντέλο). Ωστόσο, έρευνες έχουν δείξει πως ο συνδυασμός οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, μαζί με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες κατά μήκος κλίσεις και επικλίσεις της οδού έχουν ως αποτέλεσμα έναν πιο απαιτητικό προσδιορισμό του απαραίτητου μήκους ορατότητας για στάση (τρισδιάστατο μοντέλο).

Επομένως, γεννάται το ερώτημα ποιο είναι το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση στις περιπτώσεις εφαρμογής των ελάχιστων κυρτών κατακόρυφων καμπυλών σε συνδυασμό με τις ελάχιστες ακτίνες των οριζόντιων καμπύλων σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ.

## 1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του μήκους ορατότητας για στάση σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες σύμφωνα με τις οριακές τιμές των ελληνικών οδηγιών σχεδιασμού οδών ΟΜΟΕ-Χ. Σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του Μήκους Ορατότητας για Στάση περιορίζονται στις 2 διαστάσεις (2D), ενώ στη παρούσα διπλωματική θα γίνει μια προσέγγιση να υπολογισθεί το Μήκος Ορατότητας με αναλυτικές εξισώσεις σε Τρισδιάστατο περιβάλλον (3D) χρησιμοποιώντας παράλληλα τόσο την ακτίνα οριζοντιογραφίας ( $R$ ), όσο και την παράμετρο της τετραγωνικής παραβολής ( $H_k$ ). Για τον σκοπό αυτό, βρέθηκαν οι οριακές τιμές των στοιχείων μελέτης χάραξης για την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή και για τις διατομές σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ και επιλέχθηκαν ακόμα περεταίρω συνδυασμοί των στοιχείων αυτών για την δημιουργία ενός ικανοποιητικού δείγματος.

Στην συνέχεια, έγινε εισαγωγή του κάθε διαφορετικού συνδυασμού των στοιχείων γεωμετρικού σχεδιασμού σε έναν ειδικό αλγόριθμο στο υπολογιστικό φύλλο excel μέσω του οποίου υπολογίστηκε το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, καθώς και το μήκος που δεν έχει ορατότητα ο οδηγός όταν βρίσκεται στην καμπύλη. Έπειτα, για κάθε ένα συνδυασμό, βρέθηκε ο λόγος του μήκους που δεν έχει ορατότητα ο οδηγός με το

απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και εκφράστηκε σε ποσοστό. Τα ποσοστά όλων των διαφόρων συνδυασμών συλλέχθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 θερμικά διαγράμματα.

Επιπρόσθετα, έγινε προσπάθεια μοντελοποίησης του ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση με την χρήση γλώσσας προγραμματισμού R studio, μέσω διαφόρων παραμέτρων όπως είναι η ακτίνα του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφίας (R), η ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης της μηκοτομής (Hk), οι κατά μήκος κλίσεις της οδού σε ανωφέρεια (s1) και σε κατωφέρεια (s2) και η επίκλιση της οδού (e2).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης και τα συμπεράσματα της εργασίας, αποτελούν μία πρώτη προσέγγιση για τη βελτίωση των μηκών ορατότητας κατά την τρισδιάστατη μελέτη χάραξης μια οδού και προσφέρονται για περαιτέρω αξιοποίηση από ερευνητές με στόχο την ανάλυση επιπλέον παραμέτρων και την ανάπτυξη πιο σύνθετων και ολοκληρωμένων μεθόδων στο γεωμετρικό σχεδιασμό μιας οδού.

### 1.3 Μεθοδολογία

Πρώτο βήμα για την πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής ήταν η συλλογή στοιχείων από παρόμοιες μελέτες τόσο για την εξοικείωση με το θέμα όσο και για την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, έγινε μία πρώτη προσέγγιση του θέματος και αναλύθηκαν οι διάφοροι τρόποι και μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων και την συλλογή των δεδομένων. Αυτά αναλύθηκαν δίνοντας έμφαση στα κύρια σημεία της κάθε έρευνας μέσω των οποίων αντλήθηκαν πληροφορίες σημαντικές για τη δημιουργία μίας πολύπλευρης και ολοκληρωμένης εικόνας επί του θέματος.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία της εν λόγω διπλωματικής, σε πρώτο στάδιο αποφασίστηκε ότι η συλλογή στοιχείων θα γίνει με βάση τις οριακές τιμές των ελληνικών οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ που αφορούν τα μεγέθη χάραξης. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι οριακές τιμές της ακτίνας του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφίας (R), της ακτίνας κυρτής κατακόρυφης καμπύλης της

μηκοτομής ( $H_k$ ), των κατά μήκος κλίσεων της οδού σε ανωφέρεια ( $s_1$ ) και σε κατωφέρεια ( $s_2$ ) και της επίκλισης της οδού ( $e_2$ ). Αφού βρέθηκαν οι οριακές τιμές επιλέχθηκε ένα ικανοποιητικό σύνολο των στοιχείων αυτών για να εξεταστούν πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί τους με σκοπό να υπολογιστεί και να αξιολογηθεί το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, καθώς και το μήκος στο οποίο ο οδηγός δεν έχει ορατότητα όταν διέρχεται στην αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη, που προκύπτουν από αυτούς.

Στην συνέχεια, έγινε εισαγωγή των διαφορετικών συνδυασμών των στοιχείων μελέτης χάραξης που επιλέχθηκαν (7 διαφορετικές ακτίνες οριζοντιογραφίας, 4 διαφορετικές ακτίνες κυρτής καμπύλης μηκοτομής, 16 διαφορετικοί συνδυασμοί κατά μήκος κλίσεων και 7 διαφορετικές επικλίσεις που προκύπτουν από την ακτίνα οριζοντιογραφίας και την σταθερή μέγιστη ταχύτητα 130 km/h) σε έναν ειδικό αλγόριθμο στο υπολογιστικό φύλλο του excel, ο οποίος έχει την δυνατότητα να υπολογίζει το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, καθώς και το μήκος στο οποίο ο οδηγός δεν έχει ορατότητα όταν διέρχεται στην αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη σε οποιαδήποτε χιλιομετρική θέση της καμπύλης.

Έπειτα, για κάθε χιλιομετρική θέση που ο οδηγός βρίσκεται μέσα στην αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη βρέθηκε ο λόγος του μήκους που δεν έχει ορατότητα ο οδηγός με το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση και εκφράστηκε σε ποσοστό. Έχοντας πλέον το ποσοστό αυτό για κάθε χιλιομετρική θέση της καμπύλης στην οποία βρίσκεται ο οδηγός υπολογίσθηκε ο σταθμισμένος μέσος όρος των ποσοστών αυτών και βρέθηκε έτσι το τελικό ποσοστό του προβληματικού μήκους ορατότητας για κάθε ένα συνδυασμό παραμέτρων  $R$ ,  $H_k$ ,  $s_1/s_2$ ,  $e_2$ . Τα τελικά αυτά ποσοστά συλλέχθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σε 4 θερμικά διαγράμματα.

Τέλος, έγινε η στατιστική ανάλυση μέσω γλώσσας προγραμματισμού R studio. Σκοπός ήταν η μοντελοποίηση του ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες σύμφωνα με τις οριακές τιμές των οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ με κατάλληλα γραμμικά μοντέλα έχοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή το ποσοστό αυτό. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν:

- 1) Η ακτίνα του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφίας ( $R$ )
- 2) Η ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης της μηκοτομής ( $H_k$ )
- 3) Οι κατά μήκος κλίσεις της οδού σε ανωφέρεια ( $s_1$ ) και σε κατωφέρεια ( $s_2$ )
- 4) Η επίκλιση της οδού στην καμπύλη ( $e_2$ )

Με αυτόν τον τρόπο, έγινε η αξιολόγηση της επιρροής της κάθε μεταβλητής στην εξαρτημένη μεταβλητή.

Το σύνολο των βημάτων για την πραγματοποίηση της διπλωματικής εργασίας φαίνονται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 1-1: Βήματα Διπλωματικής Εργασίας

## 1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το υπό-κεφάλαιο θα ασχοληθεί με την παρουσίαση της δομής της διπλωματικής εργασίας, καθώς και θα πραγματοποιηθεί μια συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων, που την απαρτίζουν.

### Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στην εισαγωγή της Διπλωματικής αυτής εργασίας. Σκοπός της εισαγωγής είναι να παρουσιάσει τη γενική θεματολογία την οποία και διερευνά. Πρωταρχικά, παρουσιάζεται συνοπτικά το αντικείμενο μελέτης. Στη συνέχεια αναφέρεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας που στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορά την μοντελοποίηση του ποσοστού του προβληματικού μήκους ορατότητας σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες σύμφωνα με τις οριακές τιμές των οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ. Τέλος, ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση και επεξήγηση της μεθοδολογίας μέσω της οποίας πραγματοποιήθηκε η μελέτη. Μία σύνοψη της μεθοδολογίας είναι η εξής:

- Συλλογή δεδομένων από τις οριακές τιμές των στοιχείων γεωμετρικού σχεδιασμού σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ
- Χρήση αλγορίθμου στο υπολογιστικό φύλλο excel για την επεξεργασία δεδομένων.
- Χρήση πλατφόρμας R-studio για την προτυποποίηση και την στατιστική ανάλυση του ποσοστού του προβληματικού μήκους ορατότητας.

### Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα οποία προέκυψαν από την αναζήτηση και την καταγραφή ερευνών (δημοσιευμένα άρθρα, διδακτορικές διατριβές, βιβλία, πρακτικά επιστημονικών οργανισμών κ.α.), με αντικείμενο την μελέτη του μήκους ορατότητας για στάση στον τρισδιάστατο χώρο για συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Για το σκοπό αυτό, εξετάζονται εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό, έρευνες που έχουν δημοσιευτεί σε

επιστημονικά περιοδικά, βιβλία, άρθρα, πρακτικά συνεδρίων με σκοπό την καλύτερη εξοικείωση του αναγνώστη με το ζήτημα. Συνοπτικά, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του μήκους ορατότητας για στάση στο τρισδιάστατο χώρο για συνδυασμό της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

### Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα θεωρητικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της Διπλωματικής αυτής εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του μήκους ορατότητας για στάση (ΜΟΣ), καθώς και η επεξήγηση της διαφοράς του απαιτούμενου ΜΟΣ με το διατιθέμενο ΜΟΣ. Στη συνέχεια, αναφέρονται θεωρητικά στοιχεία του γεωμετρικού σχεδιασμού, τα οποία αφορούν την οριζοντιογραφία, τη μηκοτομή καθώς και τις διατομές. Τέλος, γίνεται αναφορά στην πλατφόρμα του R studio, στον τρόπο λειτουργίας της καθώς και σε βασικές έννοιες που αφορούν την στατιστική ανάλυση μέσω της οποίας έγινε η επιλογή των τελικών μοντέλων.

### Κεφάλαιο 4: Συλλογή στοιχείων

Μέσω του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της εν λόγω μελέτης. Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσω πινάκων των οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ από τις οποίους συλλέχτηκαν οι οριακές τιμές των στοιχείων του γεωμετρικού σχεδιασμού (ακτίνες οριζόντιας και κυρτής κατακόρυφης καμπύλης, κλίσεις και επικλίσεις οδού). Στη συνέχεια, όλοι οι διαφορετικοί συνδυασμοί των παραπάνω στοιχείων εισήχθησαν σε έναν αλγόριθμο στο υπολογιστικό φύλλο του excel και έγινε ανάλυση του αλγόριθμου μέσω του οποίου υπολογίστηκαν τα μήκη ορατότητας καθώς και τα μήκη στα οποία ο οδηγός δεν έχει ορατότητα.

### Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή μεθοδολογίας και επεξεργασία δεδομένων

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής της μεθοδολογίας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν. Παρουσιάζεται δηλαδή, η διαδικασία συλλογής δεδομένων, η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχτηκαν, καθώς και η πορεία της στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο τρόπος με τον οποίο έγινε η εισαγωγή όλων των πιθανών συνδυασμών των στοιχείων ( $R$ ,  $H_k$ ,  $s_1/s_2$ ,  $e_2$ ) στον αλγόριθμο του υπολογιστικού φύλλου excel. Στη συνέχεια, από τον αλγόριθμο παράχθηκαν το απαιτούμενο ΜΟΣ και το μήκος που ο οδηγός δεν βλέπει μέσα στην καμπύλη και από τον λόγο τους προέκυψε ένα ποσοστό και έγινε η εισαγωγή τους με τον κατάλληλο τρόπο στην πλατφόρμα του R. Τέλος, εξηγείται η διαδικασία μέσω της οποίας προέκυψε ο καλύτερος συνδυασμός μεταξύ των μεταβλητών για τη δημιουργία των τελικών μοντέλων και τέλος ακολουθεί η παρουσίαση των τελικών αποτελεσμάτων.

### Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα-Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται προσπάθεια να διερευνηθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα της έρευνας, ώστε να προκύψουν τα τελικά συμπεράσματα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης. Τέλος, παρουσιάζονται διάφορες προτάσεις για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων καθώς και για περαιτέρω μελλοντικές έρευνες.

### Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία-Αναφορές

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τις βιβλιογραφικές αναφορές της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ώστε να είναι εύκολη η εύρεση, από τον αναγνώστη, κάποιου συγκεκριμένου βιβλίου ή άρθρου σχετικού με το θέμα.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιλαμβάνει έρευνες και μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε τρισδιάστατα μοντέλα για τον προσδιορισμό του διατιθέμενου μήκος ορατότητας για στάση συνδυάζοντας την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή. Πιο συγκεκριμένα για κάθε επιστημονική έρευνα παρατίθεται σύνοψη της, η οποία περιλαμβάνει το πλαίσιο της έρευνας, τη μεθοδολογία και τα βασικά αποτελέσματά της με έμφαση σε αυτά που σχετίζονται με τη Διπλωματική εργασία. Μέσω αυτής της ανασκόπησης επιδιώκεται η συλλογή χρήσιμων στοιχείων και μεθοδολογιών που θα βοηθήσουν στην επίτευξη του στόχου της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 2.2 Συναφείς έρευνες

Το υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα βασικά σημεία των ερευνών οι οποίες σχετίζονται με την αξιολόγηση του διατιθέμενου μήκος ορατότητας για στάση στον τρισδιάστατο χώρο για συνδυασμό στοιχείων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Οι έρευνες αυτές βασίζονται σε πειραματικές εκτιμήσεις και υπολογιστικές μεθόδους. Σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες έρευνες, οι οποίες έχουν παρεμφερές περιεχόμενο.

#### 2.2.1 Sanchez E., Three-Dimensional Analysis of Sight Distance on Interchange Connectors (1994)

Ένας από τους πρώτους ερευνητές που αξιολόγησαν το διατιθέμενο ΜΟΣ στον τρισδιάστατο χώρο, ο Sanchez (1994), ανέπτυξε μια γραφική μέθοδο με σκοπό την μελέτη της αλληλεπίδρασης του μήκους ορατότητας και της τρισδιάστατης χάραξης, σε συνδετήριους κλάδους (ράμπες ανταλλαγής), σε



περιοχές κόμβων αυτοκινητόδρομων με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού (Inroads). Ο μελετητής δημιούργησε προοπτικές όψεις της οδού από την θέση του οδηγού στον τρισδιάστατο χώρο (Εικόνα 2.1). Οι διαφορετικές όψεις που προκύπτουν, δείχνουν ότι η οπτική γωνία του οδηγού παρεμποδίζεται. Αυτό συμβαίνει γιατί στην μέθοδο αυτή σε συνδεδημένους κλάδους αυτοκινητόδρομων χρησιμοποιήθηκαν τα ελάχιστα μεγέθη σχεδιασμού στις οριζοντιογραφικές καμπύλες και στις κυρτές καμπύλες της μηκοτομής. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής ήταν πιο ακριβή σε σχέση με αυτά των αντίστοιχων μεθόδων σε δυσδιάστατο χώρο. Ωστόσο, η μεθοδολογία αυτή ήταν πολύ χρονοβόρα καθώς το διατιθέμενο μήκος ορατότητας προσδιορίστηκε γραφικά και όχι αναλυτικά.

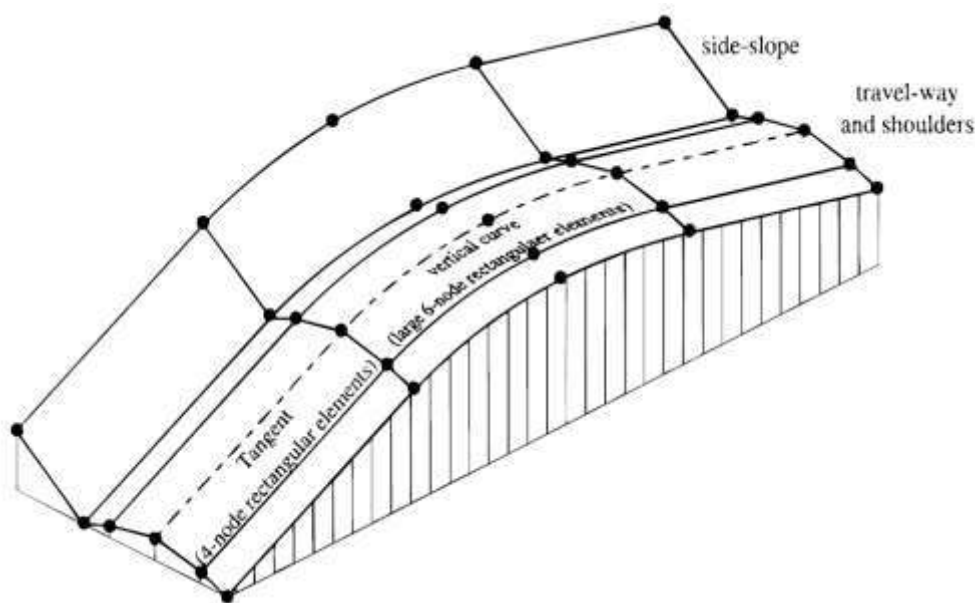


Εικόνα 2-1: Προοπτική όψη της οδού από τη θέση του οδηγού (Sanchez, 1994)

### **2.2.2 Hassan Y., Easa S. M. and Abd El Halim, A.O., Analytical Model for Sight Distance Analysis on Three-Dimensional Highway Alignments (1996).**

Ο Hassan και άλλοι παρουσίασαν (1996) ένα αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό του διατιθέμενου μήκους ορατότητας σε τρισδιάστατο χώρο συνδυάζοντας στοιχεία οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Το μοντέλο τους χρησιμοποίησε παραμετρικά πεπερασμένα στοιχεία καμπύλης μορφής (ορθογώνια στοιχεία 4, 6 και 8 σημείων, καθώς και τριγωνικά στοιχεία 3 σημείων), τα οποία συμβολίζουν τα διάφορα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του αυτοκινητοδρόμου και των εμποδίων που περιορίζουν την ορατότητα (Εικόνα 2.2). Το διατιθέμενο μήκος ορατότητας προσδιορίζεται αναλυτικά εξετάζοντας την τομή μεταξύ της γραμμής όρασης και των στοιχείων που

συμβολίζουν την επιφάνεια του αυτοκινητόδρομου και τα εμπόδια της όρασης. Το συμπέρασμα της έρευνας αυτής μετά από την ανάπτυξη μοντέλου για τον προσδιορισμό του διατιθέμενου ΜΟΣ είναι, ότι ο δισδιάστατος σχεδιασμός ενδέχεται να υπερεκτιμήσει ή να υποεκτιμήσει το διατιθέμενο ΜΟΣ και επομένως, να μην παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια ή να αυξήσει το κόστος κατασκευής του αυτοκινητόδρομου.



**Εικόνα 2-2: Αναπαράσταση κυρτής καμπύλης μηκοτομής με χρήση πεπερασμένων στοιχείων (Hassan, Easa & Abd E1 Halim, 1996)**

### **2.2.3 Ismail K. and Sayed T., New algorithm for calculating 3-D available sight distance (2007)**

Οι Ismail & Sayed (2007) περιέγραψαν ένα νέο αλγόριθμο για τον υπολογισμό του διατιθέμενου ΜΟΣ σύμφωνα με το τρισδιάστατο πρότυπο ανάλυσης, τον οποίο χαρακτηρίζουν ως πιο αποτελεσματικό, λιγότερο απαιτητικό στους υπολογισμούς και πιο ευέλικτο σε σχέση με τις έως τότε αντίστοιχες προσεγγίσεις. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην παραμετρική αναπαράσταση της οδού και των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντός της και αποτελεί επέκταση του δισδιάστατου μοντέλου που προτάθηκε από τον Lovell (1999), ώστε να συμπεριλαμβάνει και τα στοιχεία της μηκοτομής. το κυριότερο συμπέρασμα που προκύπτει από τη μελέτη αυτή είναι, ότι η σχετική θέση των σημείων μέγιστης καμπυλότητας και εμποδίων, καθώς και η διαφορά των

τιμών των μηκών ορατότητας από τις δισδιάστατες επιμέρους αναλύσεις σε αυτά τα σημεία, αποτελούν βασικούς παράγοντες που καθορίζουν την ανάγκη για την τρισδιάστατη ανάλυση της οδού

#### **2.2.4 Kim D. and Lovell D., A Procedure for 3-D Sight Distance Evaluation Using Thin Plate Splines (2011)**

Οι Kim & Lovell (2010) παρουσίασαν μια τρισδιάστατη μέθοδο αξιολόγησης του μήκους ορατότητας, σύμφωνα με την οποία ένας αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του μέγιστου διατιθέμενου ΜΟΣ, χρησιμοποιώντας υπολογιστική γεωμετρία (Computational Geometry) και καμπύλες ελεύθερης μορφής τύπου (Thin-Plate Spline Interpolation) για να απεικονίσουν την επιφάνεια της οδού. Στη μέθοδο αυτή, η οδός ορίζεται ως ένα πλέγμα συντεταγμένων που λαμβάνει υπόψη στοιχεία της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής, της διατομής της οδού, καθώς και του περιβάλλοντα χώρου. Η παρούσα μέθοδος αποτελεί συνέχεια και εξέλιξη μιας παλαιότερης μεθόδου υπολογισμού του διατιθέμενου ΜΟΣ που είχε δημοσιευτεί από τους Lovell και άλλους (2001) κατά την οποία ο υπολογισμός του μήκους ορατότητας γινόταν με βάση την οριζοντιογραφία χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της μηκοτομής. Τέλος, ο αλγόριθμος αυτός θα μπορούσε εύκολα να ενσωματωθεί σε λογισμικό σχεδιασμένο να κάνει γεωμετρικούς ελέγχους, ελέγχους οδικής ασφάλειας ή αυτοματοποιημένο σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων.

#### **2.2.5 Moreno Chou, Perez V., Garcia A. and Rojas M., Evaluation of 3-D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two – Lane Roads (2014).**

Ο Moreno και άλλοι (2010) επιχείρησαν να βελτιστοποιήσουν το διατιθέμενο ΜΟΣ σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής που συνδυάζονται με οριζόντιες καμπύλες, σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας πεπερασμένα στοιχεία για την αναπαράστασή τους. Στη συνέχεια ανέπτυξαν μια εφαρμογή λογισμικού στο Matlab για να υπολογίσουν το μέγιστο

διατιθέμενο ΜΟΣ. Προκειμένου να προσομοιωθούν πολλά πιθανά σενάρια, λήφθηκαν υπόψη πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί στοιχείων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Ο στόχος της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η μεγιστοποίηση του διατιθέμενου ΜΟΣ και το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτή είναι ότι το διατιθέμενο ΜΟΣ επηρεάζεται σημαντικά από τις παραμέτρους της οριζοντιογραφικής καμπύλης και της κυρτής καμπύλης της μηκοτομής.

### **2.2.6 Jha M., Kumar Karri, GA and Kuhn W., A New 3-Dimensional Highway Design Methodology for Sight Distance Measurement (2011)**

Ο Jha και άλλοι (2011) πρότειναν μια ακόμα τρισδιάστατη μεθοδολογία για τη μέτρηση του μήκους ορατότητας κατά μήκος της κεντρικής γραμμής οδοστρώματος χρησιμοποιώντας στον τρισδιάστατο χώρο ένα σύνολο ισομηκών ευθειών μικρού μήκους (ή τρισδιάστατων στοιχείων) και τη μέθοδο του τριγωνισμού. Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει αναπροσαρμογές στη χάραξη κατά το στάδιο του σχεδιασμού, μέσω επαναληπτικής διαδικασίας προσομοίωσης, ανάλογα με τις αντιδράσεις του οδηγού, όμως επειδή χρησιμοποιούνται μεγάλο πλήθος διαφορετικών λογισμικών, δε θεωρείται αρκετά ευέλικτη.

### **2.2.7 Mavromatis S., S. Palaskas and B. Psarianos., Continuous Three-Dimensional Stopping Sight Distance Control on Crest Vertical Curves (2012)**

Ο Μαυρομάτης και άλλοι (2012) παρουσίασαν μία μέθοδο τρισδιάστατου προσδιορισμού του ΜΟΣ σε υφιστάμενα οδικά τμήματα, λαμβάνοντας υπόψη τη χάραξη της οδού και του περιβάλλοντα χώρου. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την πραγματοποίηση των σαρώσεων της οδού για τη συλλογή των πληροφοριών (Εικόνα 2.3), έπειτα την ενοποίηση των επιμέρους σαρώσεων και τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου της οδού, ούτως ώστε να προκύψει η δημιουργία διατομών από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Ακόμη, η συγκεκριμένη μέθοδος προτείνεται και για οδούς δύο

λωρίδων κυκλοφορίας και το πλεονέκτημά της είναι η δυνατότητα εντοπισμού προβλημάτων ορατότητας σε μία υφιστάμενη οδό σε μικρό χρονικό διάστημα.



**Εικόνα 2-3: Τρισδιάστατη απεικόνιση διατομής από τρισδιάστατη σάρωση οδού (Μαυρομάτης, Παγούνης, Παλάσκας & Μαρούδας, 2012)**

### 3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίστηκε η συλλογή δεδομένων, η επεξεργασία και η ανάλυση του αντικειμένου της Διπλωματικής Εργασίας καθώς και βασικές στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης. Για το σκοπό της παρούσας εργασίας συλλέχτηκαν δεδομένα από τις οριακές τιμές των ελληνικών οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ και ακολούθησε η επεξεργασία τους με ειδικό αλγόριθμο στο υπολογιστικό φύλλο excel. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν τα δεδομένα εφαρμόζοντας γραμμική παλινδρόμηση, με σκοπό την εξαγωγή μοντέλων που θα προβλέπουν το ποσοστό του μήκους προβληματικής ορατότητας συναρτήσει διάφορων παραμέτρων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

#### 3.2 Στοιχεία μελέτης για την οριζοντιογραφία

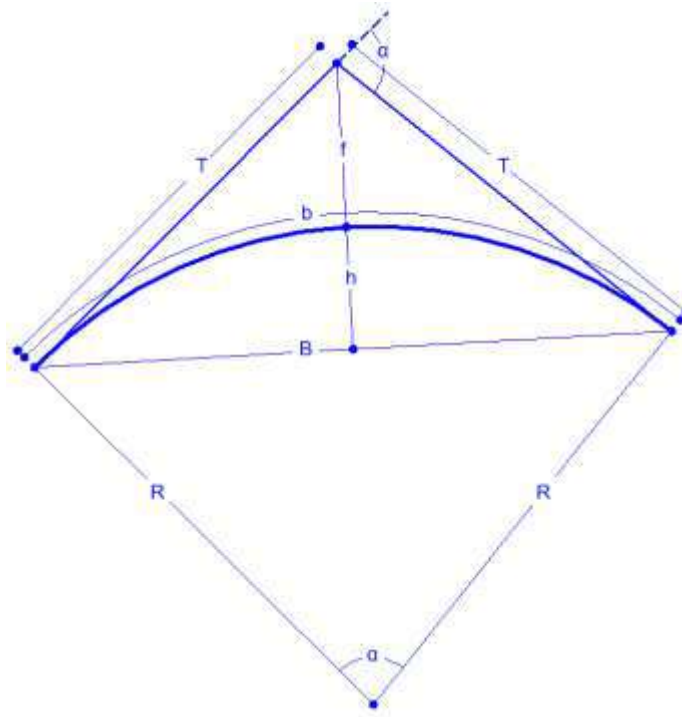
Η οριζοντιογραφία της οδού συνίσταται από τα εξής τρία στοιχεία μελέτης:

- Ευθυγραμμίες
- Κυκλικά τόξα
- Τόξα συναρμογής

Σε ό,τι αφορά στα στοιχεία αυτά αλλά και στις μεταξύ τους συνδέσεις, ισχύουν κανόνες οι οποίοι περιγράφονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

##### 3.2.1 Κυκλικό Τόξο

Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται τόξο κύκλου με τα κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 3-1: Τόξο κύκλου και κυριότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του.

Ισχύει:

$$a = b/R \quad (3.1)$$

$$T = R \tan(\alpha/2) \quad (3.2)$$

$$f = R[1 - \cos(\alpha/2)] \quad (3.3)$$

$$B = 2R \sin(\alpha/2) \quad (3.4)$$

$$h = R[1 - \cos(\alpha/2)] \quad (3.5)$$

όπου :

$\alpha$  : επίκεντρη γωνία (rad)

R : ακτίνα (m)

b : τόξο (m)

T : εφαπτόμενη (m)

f : απόσταση από κορυφή (m)

B : χορδή (m)

h : βέλος (m)

Η ακτίνα του κυκλικού τόξου επιλέγεται με βάση την ταχύτητα μελέτης με τέτοιο τρόπο ώστε η οδός να προσαρμόζεται κατά μορφή και μέγεθος με το ανάγλυφο. Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ, 2001 τα κυκλικά τόξα πρέπει να έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με εκείνο που διανύεται σε 2 δευτερόλεπτα από όχημα κινούμενο με την ταχύτητα μελέτης. Δηλαδή ισχύει:

$$\min b = 2/3.6V_e$$

όπου :

$\min b$  : ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου (m)

$V_e$  : ταχύτητα μελέτης οδού (km/h)

### 3.2.2 Τόξο Συναρμογής

Το τόξο συναρμογής είναι καμπύλη η οποία χρησιμεύει:

- για την ομαλή μετάβαση από μια καμπυλότητα σε άλλη εξυπηρετώντας γραμμική μεταβολή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης και άρα εξασφάλιση κατά το δυνατό πιο ομοιόμορφης  $V_{85}$
- ως μήκος συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης

Η εφαρμογή τόξων συναρμογής επιβάλλεται στις οδούς κατηγορίας AI – AIV και BI – BII και είναι επιθυμητή στην κατηγορία οδών BIII και BIV.

Στην οδοποιία, ως τόξο συναρμογής χρησιμοποιείται η κλωθοειδής.

Η κλωθοειδής καμπύλη σε πολλά συγγράμματα αναφέρεται ως σπειροειδής καμπύλη (spiral curve). Σε κάθε περίπτωση, η κλωθοειδής είναι μια καμπύλη με μεταβαλλόμενη καμπυλότητά, όπου η μαθηματική της έκφραση έχει ως εξής:

$$A^2 = R \times L \quad (3.6)$$

όπου :

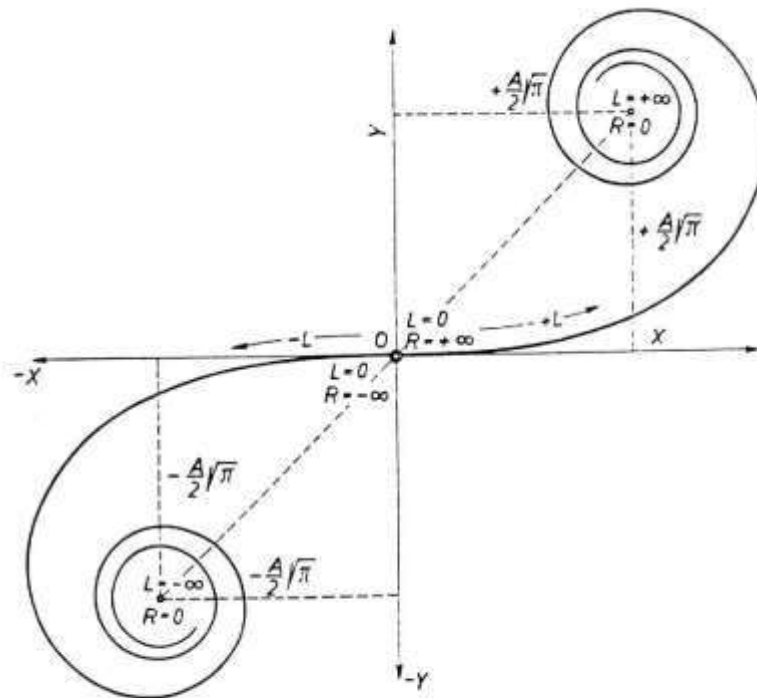
A : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

R : ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς (m)



$L$  : μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του ( $R=\infty$ ) μέχρι την ακτίνα  $R$  (m)

Η καμπυλότητα της κλωθοειδούς μεταβάλλεται γραμμικά με το μήκος της και ταυτόχρονα το γινόμενο μήκους – καμπυλότητας είναι σταθερό ( $A^2$ ), έτσι ώστε η αύξηση του μήκους της καμπύλης να επιφέρει ανάλογη αύξηση στην καμπυλότητά της. Κατά συνέπεια, το μέγιστο θεωρητικό μήκος της καμπύλης προκύπτει όταν η ακτίνα καμπυλότητας τείνει να μηδενιστεί.



Εικόνα 3-2: Πλήρες ανάπτυγμα της κλωθοειδούς καμπύλης

Με βάση εμπειρικά δεδομένα, προκειμένου η κλωθοειδής καμπύλη να γίνει αντιληπτή από τον οδηγό, πρέπει η γωνία αλλαγής της διεύθυνσής της να είναι ίση τουλάχιστον με  $3.50g$ . γεγονός το οποίο σημαίνει ότι:

$$A_{\min} = R/3$$

Η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου  $A$ , υπόκειται και σε έναν επιπλέον περιορισμό, ο οποίος αφορά στη χρήση της κλωθοειδούς ως μήκος

συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου ή μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων. Συγκεκριμένα πρέπει το μήκος της κλωθοειδούς να είναι επαρκές ώστε η μεταβολή της επίκλισης να γίνεται ομαλά μέσα στο τόξο συναρμογής, με την έννοια να μην υπάρχει υπέρβαση στη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της πρόσθετης κατά μήκος κλίσης των οριογραμμών. Η σχετική εξίσωση που εφαρμόζεται για την επιλογή του  $A_{\min}$ , δίδεται στο εδάφιο των επικλίσεων.

Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας, ως μέγιστη τιμή της παραμέτρου της κλωθοειδούς λαμβάνεται:

$$A_{\max} = R$$

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε γωνία αλλαγής της διεύθυνσής στο τέλος του τόξου συναρμογής ίσο με 31.8g.

### 3.3 Στοιχεία μελέτης για τη μηκοτομή

Η μηκοτομή οδού αφορά στον υψομετρικό σχεδιασμό της. Σχεδιάζεται σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων, όπου στον άξονα των τετμημένων απεικονίζονται οι χιλιομετρικές θέσεις (ΧΘ) των σημείων της γραμμής αναφοράς στη στάθμη της ασφάλτου (συνήθως άξονας οδού) και στον άξονα των τεταγμένων τα αντίστοιχα υψόμετρα τους.

Στο σχέδιο της μηκοτομής απεικονίζονται επίσης και τα υψόμετρα που προκύπτουν από την τομή του άξονα της οδού με το έδαφος, γνωστά ως μηκοτομή εδάφους τα οποία εξαρτώνται από τη θέση της οριζοντιογραφίας της οδού.

Γενικά οι κλίσεις σε μια οδό πρέπει να προσαρμόζονται κατά το δυνατό στο ανάγλυφο του εδάφους προκειμένου να προστατευθούν το περιβάλλον και οι οικιστικές περιοχές αλλά ταυτόχρονα να μειωθεί και το κόστος κατασκευής.

Η μηκοτομή της οδού συνίσταται από τμήματα σταθερής κλίσης καθώς και τμήματα με μεταβαλλόμενη κλίση.

Περιοχές με μεταβαλλόμενη κλίση προκύπτουν κατά τη μετάβαση από περιοχή σταθερής κλίσης  $s_1$  σε περιοχή με σταθερή κλίση  $s_2$ . Οι περιοχές αυτές αφορούν σε στρογγύλευση της μηκοτομής. Στην οδοποιία η στρογγύλευση της μηκοτομής γίνεται συνήθως με χρήση της τετραγωνικής παραβολής ως προσέγγισης του εγγύτατου κύκλου της καμπύλης, του οποίου η ακτίνα ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας  $H$  στην κορυφή της παραβολής.

Στην Εικόνα 3.3 απεικονίζεται σκαρίφημα κατακόρυφης καμπύλης, όπου όλες οι αποστάσεις εφαρμόζονται οριζόντια και όλες οι υψομετρικές διαφορές κατακόρυφα.

Οι βασικές σχέσεις υπολογισμού μίας κυρτής ή κοίλης κατακόρυφης καμπύλης είναι:

$$T=H/2 \cdot (s_2-s_1)/100 \quad (3.7)$$

$$y(x)=s_1/100 \cdot x + x^2/2H \quad (3.8)$$

$$s_x=s_1 + x/H \cdot 100 \quad (3.9)$$

$$f=T^2/2H = T/4 \cdot (s_2-s_1)/100 = H/8 \cdot [(s_2-s_1)/100]^2 \quad (3.10)$$

όπου:

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

$T$ : μήκος εφαπτόμενης (m)

$s_1, s_2$ : κατά μήκος κλίσεις (%)





$y(x)$ : τεταγμένη καμπύλης σε τυχαία απόσταση " $x$ " από την αρχή της (m)

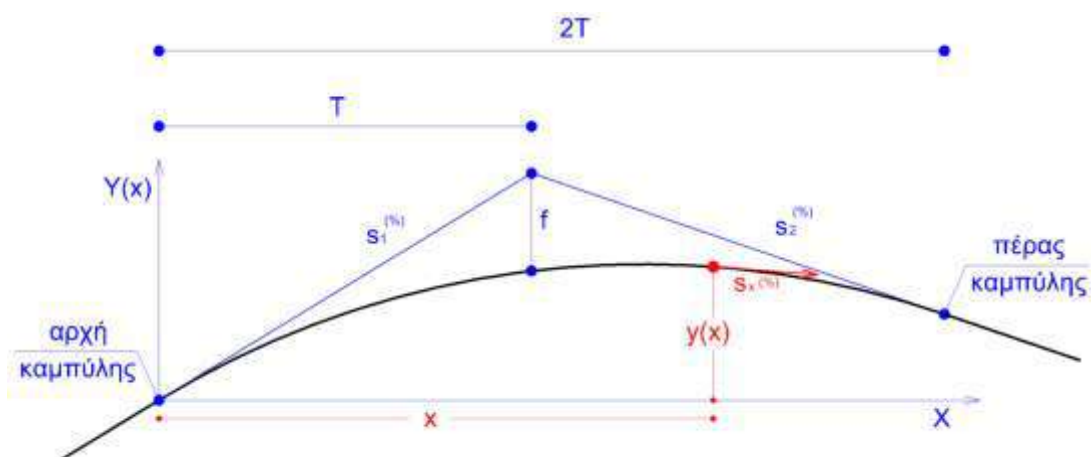
$s_x$ : κατά μήκος κλίση σε τυχαία απόσταση " $x$ " από την αρχή της καμπύλης (%)

$f$ : βέλος καμπύλης (m)

Επισημαίνεται ότι οι παραπάνω τιμές εισάγονται αλγεβρικά ως εξής:

Πίνακας 3-1: Κανόνες προσήμων των παραμέτρων μηκοτομής.

Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδα	Πρόσημο
Κλίση ανωφέρειας	$s$ 	(%)	(+)
Κλίση κατωφέρειας	$s$ 	(%)	(-)
Παράμετρος κυρτής κατακόρυφης καμπύλης	$H_k$ 	(m)	(-)
Παράμετρος κοίλης κατακόρυφης καμπύλης	$H_w$ 	(m)	(+)



Εικόνα 3-3: Σκαρίφημα κατακόρυφης καμπύλης (κυρτή)

### 3.4 Στοιχεία μελέτης για τις διατομές

#### 3.4.1 Επικλίσεις


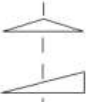
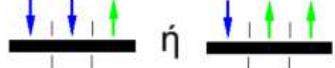

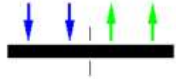
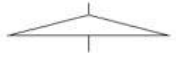
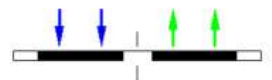
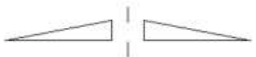
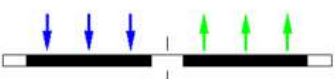

Η διατομή της οδού προκύπτει από την προβολή στο κατακόρυφο επίπεδο της κάθετης τομής στον άξονα της οδού. Η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος στη διατομή ονομάζεται επίκλιση. Η επίκλιση είναι αναγκαία τόσο σε ευθύγραμμα όσο και σε καμπύλα τμήματα οδών.

### 3.4.2 Επίκλιση σε Ευθύγραμμα Τμήματα

Σε ευθύγραμμα τμήματα, η επίκλιση εξυπηρετεί την απορροή των ομβρίων και η τιμή της εξαρτάται κυρίως από βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Γενικά, ως τυπική τιμή ελάχιστης επίκλισης στις ευθυγραμμίες κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001 λαμβάνεται:

$$e_{\min} = 2.50\%$$

Η επίκλιση του οδοστρώματος στα ευθύγραμμα τμήματα μπορεί να έχει μονοκλινή ή αμφικλινή διαμόρφωση (Εικόνα 3.4), όπου σε κάθε περίπτωση υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μονοκλινή διαμόρφωση είναι πιο εύκολη κατασκευαστικά και υπερτερεί ως προς το κόστος των υδραυλικών διατάξεων στις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Η αμφικλινή διάταξη επικλίσεων, παρέχει ισοσταθμία μεταξύ των οριογραμμών και από υδραυλικής άποψης προτιμάται στις οδούς με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας δεδομένου ότι αποφεύγονται υδραυλικά έργα στην κεντρική νησίδα. Κατά κανόνα, σε οδούς δύο λωρίδων και άνω ανά κατεύθυνση, επιλέγεται αμφικλινή διαμόρφωση επικλίσεων.

Οδόστρωμα	Επίκλιση
	
	
	
	
	

Εικόνα 3-4: Διαμόρφωση οδοστρώματος σε ευθύγραμμα τμήματα

### 3.4.3 Επίκλιση σε Καμπύλα Τμήματα

Σε καμπύλα τμήματα η εφαρμογή επίκλισης σχετίζεται με τη δυναμική της κίνησης όπου γενικά ανασηκώνεται η εξωτερική στην καμπύλη οριογραμμή, εκτός και αν επιβάλλεται η εφαρμογή αρνητικής επίκλισης. Στις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας εφαρμόζεται πάντα μονοκλινής διαμόρφωση επικλίσεων και κατά κανόνα (εξαρτάται από τη δυνατότητα απορροής ομβρίων), στις περιπτώσεις οδών με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας.

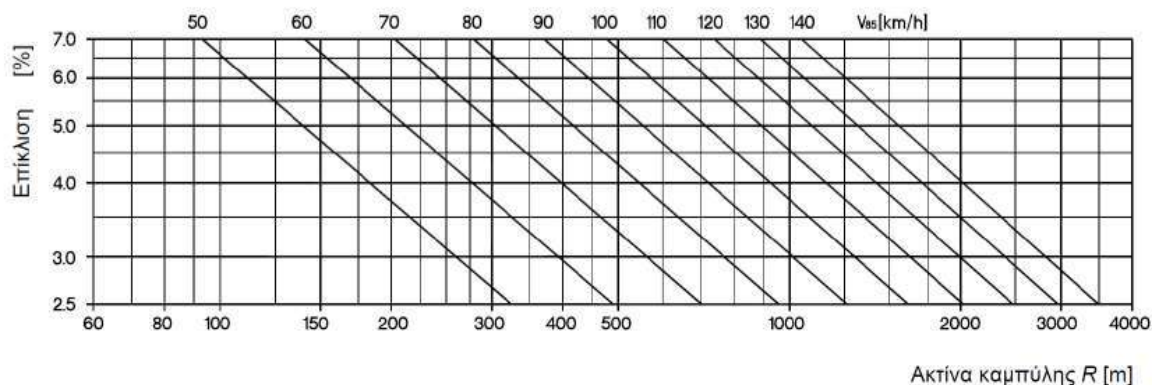
Κατά την κίνηση οχημάτων σε καμπύλες, προκειμένου να αποφευχθεί εγκάρσια ολίσθηση λόγω παγετού, υπάρχουν άνω όρια στην εφαρμογή της επίκλισης, η οποία κυμαίνεται από:

$$2.50\% \leq e_{\max} = 6.00\% - 7.00\% (8.00\% - 9.00\%)$$

Οι τιμές εντός παρένθεσης αφορούν σε πεδινά εδάφη κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001 όπου η πιθανότητα παγετού είναι μικρή. Επιπλέον, η τιμή 9.00% εφαρμόζεται όταν σε εξαιρετικές περιπτώσεις για ορισμένες τιμές ταχυτήτων μελέτης, οι ελάχιστες ακτίνες πρέπει να μειωθούν.

Ο προσδιορισμός της επίκλισης εντός κυκλικού τμήματος οδού είναι συνάρτηση της ακτίνας του κυκλικού τόξου στην οριζοντιογραφία (R) και της λειτουργικής ταχύτητας  $V_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ. Εντός κυκλικών τόξων η τιμή της επίκλισης γενικά παραμένει σταθερή.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε αριστερόστροφη καμπύλη αυτοκινητόδρομου σε λοφώδες και ορεινό έδαφος γι' αυτό και παρακάτω δίνεται το διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης κατά ΟΜΟΕ-Χ σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α – λοφώδη και ορεινά εδάφη.



**Γράφημα 3-1: Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α - λοφώδη και ορεινά εδάφη**

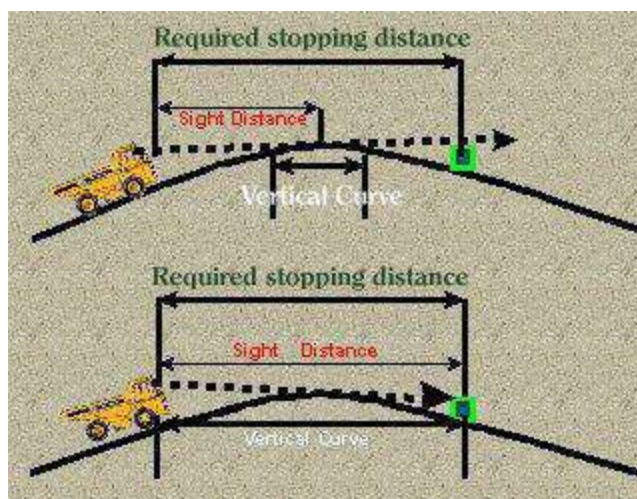
### 3.5 Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ)

Το ελάχιστο μήκος ορατότητας, γνωστό ως μήκος ορατότητας για στάση (ΜΟΣ) αποτελεί καθοριστικής σημασίας παράμετρο προκειμένου να αξιολογηθούν οι συνθήκες ορατότητας σε όλες τις κατηγορίες οδών. Ορίζεται ως η ελάχιστη απόσταση που χρειάζεται ένα όχημα το οποίο κινείται με την επιτρεπόμενη ή τη λειτουργική ταχύτητα, ώστε να μπορεί να ακινητοποιηθεί πριν προσκρούσει σε απροσδόκητο σταθερό εμπόδιο. Το μήκος ορατότητας για στάση πρέπει να διατίθεται σε όλο το μήκος μιας οδού. Διακρίνονται δύο είδη μήκους ορατότητας για στάση:

1. Απαιτούμενο, το οποίο αφορά στη δυνατότητα στάσης του οχήματος και εξαρτάται από την οδό ως προς τη γεωμετρία της, τον οδηγό ως προς την ικανότητα αντίληψης – αντίδρασης του και το όχημα ως προς τα δυναμικά χαρακτηριστικά του
2. Διατιθέμενο, το οποίο αφορά στην οπτική ακτίνα μεταξύ οδηγού και εμποδίου και σχετίζεται κυρίως με το οδικό περιβάλλον (εμπόδια, βλάστηση κλπ.) αλλά και την γεωμετρία της οδού

Είναι σαφές ότι η επάρκεια ορατότητας για στάση υπάρχει όταν:

**Απαιτούμενο ΜΟΣ  $\leq$  Διατιθέμενο ΜΟΣ (SSD Required  $\leq$  SSD Provided)**



**Εικόνα 3-5: Επάρκεια ορατότητας σε σχέση με το Απαιτούμενο (Required stopping distance) και το Διατιθέμενο (Sight Distance) ΜΟΣ.**

Σύμφωνα με την εικόνα 3.5, στην πρώτη περίπτωση (πάνω) το Διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας (Sight Distance) είναι μικρότερο του Απαιτούμενου ΜΟΣ (Required stopping distance) οπότε η επάρκεια ορατότητας, σύμφωνα με την παραπάνω συνθήκη, δεν εξασφαλίζεται. Ενώ στη δεύτερη περίπτωση (κάτω) το Διατιθέμενο (Sight Distance) είναι ίσο με το Απαιτούμενο ΜΟΣ (Required stopping distance) οπότε η επάρκεια ορατότητας εξασφαλίζεται οριακά.

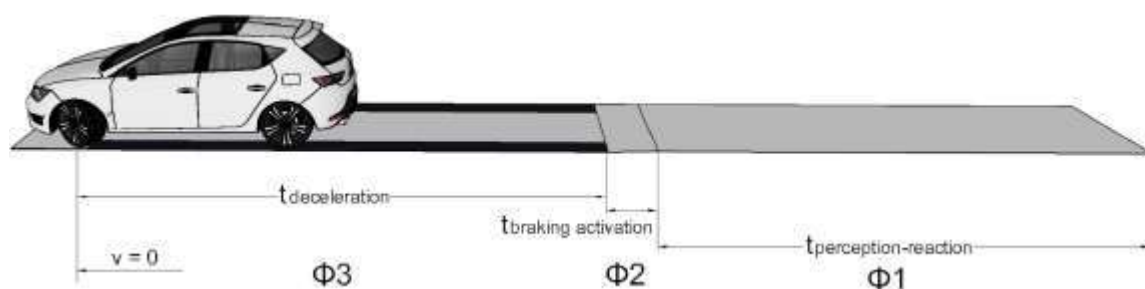
Όταν η επάρκεια του ΜΟΣ είναι συνεχώς οριακή, τότε ο οδηγός βρίσκεται σε διαρκή ένταση και εγρήγορση που προκαλεί κόπωση. Γι' αυτό το λόγο επιβάλλεται να εξασφαλίζονται συνολικά στο 70% της οδού μήκη ορατότητας κατά 30% μεγαλύτερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα. Επίσης, συνιστάται οι ελάχιστες τιμές να μην χρησιμοποιούνται σε περιοχές κόμβων. (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)

### 3.5.1 Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Στάση

Κατά τη διαδικασία ακινητοποίησης του οχήματος, διακρίνονται οι εξής τρεις φάσεις (Εικόνα 3.6):



- $\Phi_1$ : Μήκος που διανύεται κατά το χρόνο αντίληψης – αντίδρασης ( $D_{\text{perception-reaction}}$ )
- $\Phi_2$ : Μήκος που διανύεται κατά το χρόνο έναρξης της ενεργοποίησης του συστήματος πέδησης με αυξανόμενη ένταση έως πλήρους ενεργοποίησης ( $D_{\text{braking activation}}$ )
- $\Phi_3$ : Μήκος που διανύεται κατά το χρόνο αμιγούς πέδησης με σταθερή επιβράδυνση ( $D_{\text{deceleration}}$ )



**Εικόνα 3-6: Διαδικασία ακινητοποίησης του οχήματος**

Τα εύρη τιμών του χρόνου αντίληψης – αντίδρασης ( $t_{\text{perception-reaction}}$ ) κυμαίνονται μεταξύ 0.5sec – 2.5sec, με τυπική τιμή το 1.0sec. Δεδομένου ότι γενικά παρατηρείται αυξητική τάση στη μέση ηλικία οδήγησης, ως τιμή σχεδιασμού του χρόνου αντίληψης – αντίδρασης λαμβάνονται τα 2.0sec όπου πρακτικά ενσωματώνεται και ο χρόνος ενεργοποίησης του συστήματος πέδησης ( $t_{\text{braking activation}}$ ). Κατά συνέπεια, μπορεί να θεωρηθεί ότι:

$$t_{\text{braking activation}} = 0$$

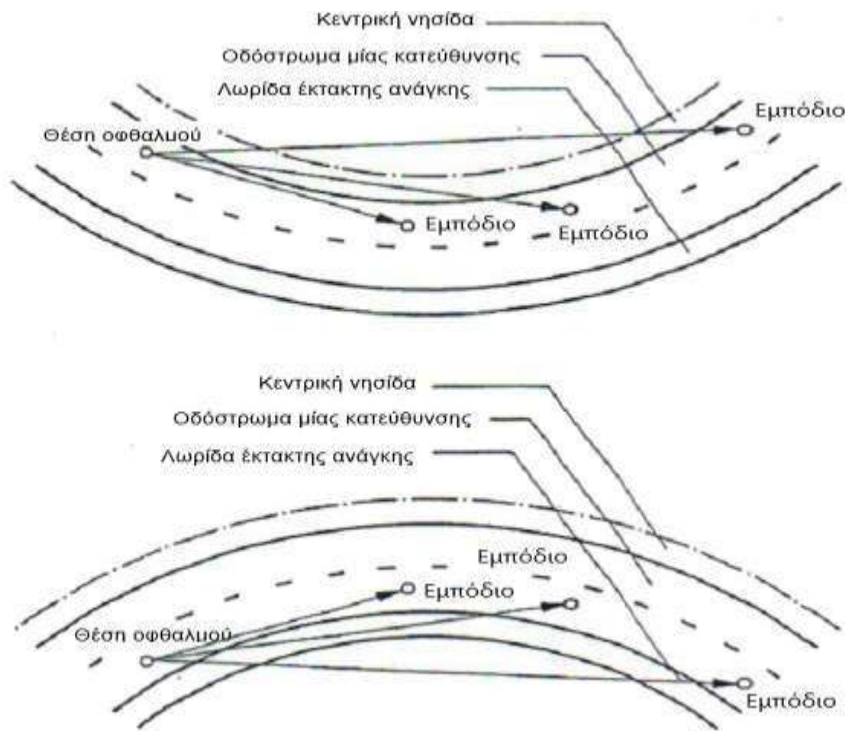
Άρα καθώς  $D_{\Phi_2} = 0$ , το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση (SSD) προκύπτει από το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών: του διαστήματος που διανύει το όχημα κατά το χρόνο αντίληψης αντίδρασης του οδηγού έως τη στιγμή που αρχίζει η διαδικασία πέδησης με ακινητοποιημένους τροχούς και της απόστασης που διανύει το όχημα έως την πλήρη στάση του (μήκος αμιγούς πέδησης).

### 3.5.2 Διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Στάση

Το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για στάση περιγράφεται με τη βοήθεια της οριακής οπτικής ακτίνας μεταξύ οφθαλμού οδηγού και εμποδίου όπου το τυπικό ύψος οφθαλμού είναι 1.00m στα επιβατηγά και 2.00m στα φορτηγά, ενώ το τυπικό ύψος εμποδίου κυμαίνεται από 0.50m έως 1.00m.

Διαφορετικές οδηγίες μελετών ορίζουν διαφορετικές τιμές για το ύψος οφθαλμών του οδηγού και το ύψος του εμποδίου. Για παράδειγμα στις Αμερικάνικες οδηγίες (AASHTO 2011) το ύψος του εμποδίου θεωρείται 0.60m, στις Γερμανικές οδηγίες (RAA 2008) 0.50m, στις Ελληνικές οδηγίες (ΟΜΟΕ-Χ 2001) ορίζεται ανάλογα με τη  $V_{85}$ , ενώ σύμφωνα με άλλες προσεγγίσεις το ύψος εμποδίου σχετίζεται με το ύψος των οπίσθιων φανών στάσης.

Η παροχή ικανού διατιθέμενου μήκους ορατότητας για στάση, ιδιαίτερα στις αριστερόστροφες καμπύλες αυτοκινητόδρομων με υψηλές ταχύτητες, αποτελεί κρίσιμο ζήτημα οδικής ασφάλειας, δεδομένου ότι πρέπει έγκαιρα οι οδηγοί να αντιληφθούν πιθανή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για αυτό το λόγο, ο υπολογισμός του διατιθέμενου μήκους ορατότητας για στάση είναι σύνθετος και απαιτεί στοιχεία ταυτόχρονα από την οριζοντιογραφία, τη μηκοτομή, τις διατομές και τον περιβάλλοντα χώρο της οδού συμπεριλαμβανομένων των αντικειμένων που υπεισέρχονται στον οδικό και παρόδιο χώρο (στηθαία ασφαλείας, διαχωριστικές νησίδες, πινακίδες, δενδροφυτεύσεις κλπ.). Παρακάτω αποτυπώνεται το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για τρεις διαφορετικές θέσεις εμποδίου σε αριστερόστροφη και δεξιόστροφη καμπύλη.



**Εικόνα 3-7: Διατιθέμενο μήκος ορατότητας σε αριστερόστροφες και δεξιόστροφες καμπύλες**

Ο τρόπος υπολογισμού του διατιθέμενου και του απαιτούμενου μήκος ορατότητας για στάση περιγράφεται παρακάτω.

#### **Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας:**

$$SSD = V_o t + \frac{V_o^2}{2g\left(\frac{a}{g} + s\right)} \quad (3.11)$$

όπου:

$V_o$  (m/sec): αρχική ταχύτητα οχήματος

$t$  (sec): χρόνος αντίληψης-αντίδρασης οδηγού

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

$a$  (m/sec<sup>2</sup>): επιβράδυνση οχήματος

$s$  (%/100): κλίση οδού [(+) ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια]

$$f_T = \sqrt{\left(\frac{a}{g}\right)^2 - \left(\frac{V^2}{gR} - e\right)^2} \quad (3.12)$$

όπου:

$f_T$ : διαμήκης συντελεστής τριβής

$V$  (m/sec): ταχύτητα οχήματος

$a$  (m/sec<sup>2</sup>): επιβράδυνση οχήματος

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

$R$  (m): ακτίνα οριζοντιογραφίας

$e$  (%/100): επίκλιση οδού

$$V_{i+1} = V_i - g(f_T + s)t$$

$$BD_i = V_i t - \frac{1}{2} g(f_T + s)t^2 \quad (3.13) \text{ \& } (3.14)$$

όπου:

$V_i$  (m/sec): ταχύτητα οχήματος στη θέση  $i$

$V_{i+1}$  (m/sec): απομειωμένη ταχύτητα οχημ. για χρονικό περιθώριο 0.01sec

$t$  (sec): χρονικό περιθώριο ( $t = 0.01\text{sec}$ )

$s$  (%/100): κλίση οδού στη θέση  $i$  [(+) ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια]

$f_T$ : διαμήκης συντελεστής τριβής

$BD_i$  (m): καθαρό μήκος πέδησης

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

$$SSD_{\text{demand}} = V_o t + \sum BD_{k-1} \quad (3.15)$$

όπου:

$V_o$  (m/sec): αρχική ταχύτητα οχήματος

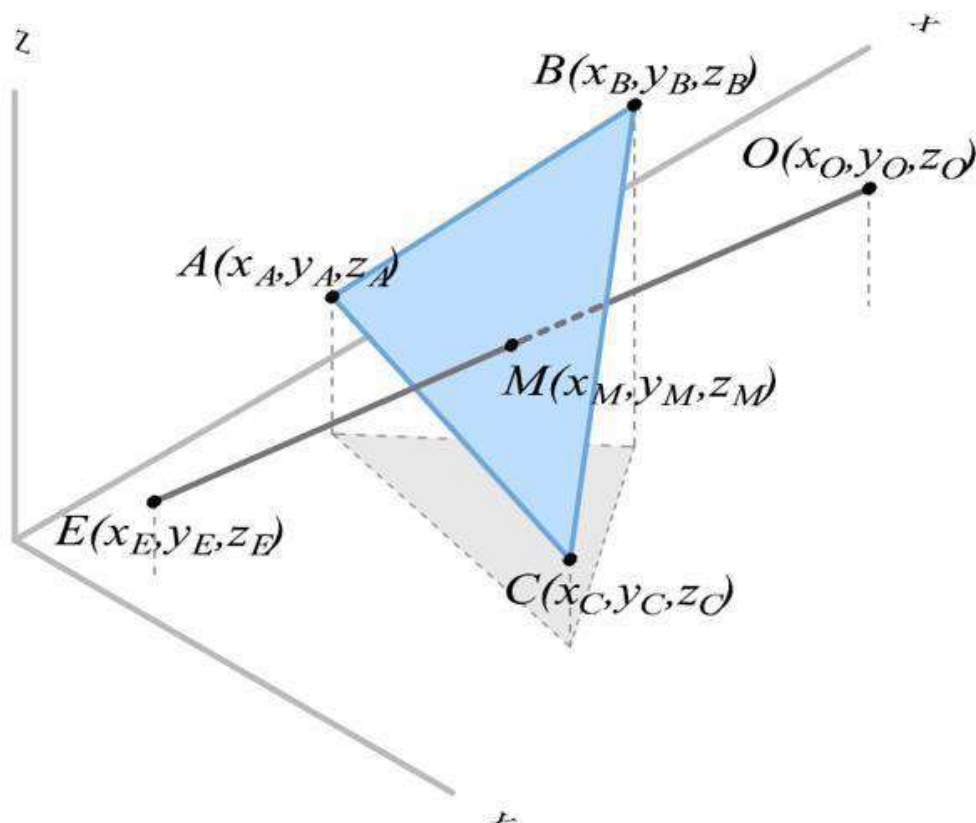
$t$  (sec): χρόνος αντίληψης-αντίδρασης οδηγού

$\Sigma BDk-1$  (m): σύνολο μήκους πέδησης για την αρχική ταχύτητα του οχήματος

### Διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας:

Αναπτύχθηκε μία επαναληπτική διαδικασία η οποία χωρίζει το συνολικό μήκος ορατότητας σε επιμέρους τμήματα του ενός μέτρου (1m) και ελέγχει για κάθε ένα από αυτά αν η γραμμή οράσεως του οδηγού προσπίπτει σε κάποιο σταθερό εμπόδιο (στη περίπτωση μας το ενδιαμέσο New\_Jersey). Οπότε πλέον είναι γνωστό για το σύνολο του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση [SSDdemand] σε ποιο τμήμα αποκρύπτεται από το στηθαίο και σε ποιο είναι ελεύθερη η οπτική του οδηγού.

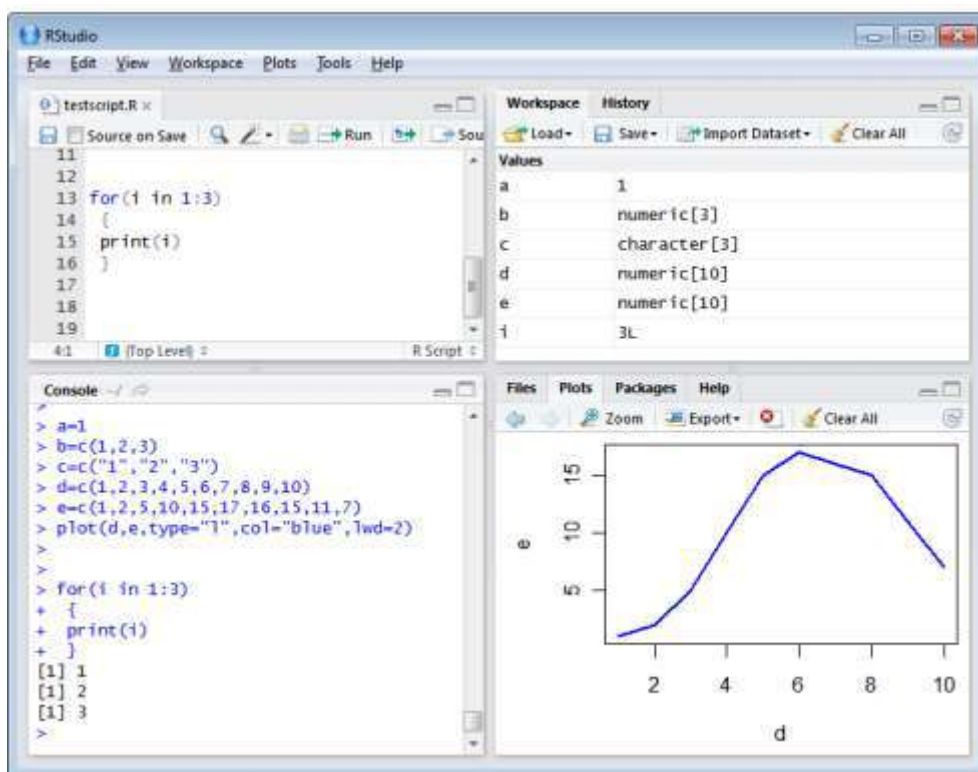
Στην παρακάτω εικόνα εικονίζεται η πρακτική που εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό της ορατότητας:



Εικόνα 3-8: Παράδειγμα ορατότητας του οδηγού που τέμνει ένα χαρακτηριστικό εμπόδιο δρόμου

### 3.6 Υπολογιστικό περιβάλλον R

Η R-Studio είναι μια γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα και ταυτόχρονα ένα περιβάλλον που επιτρέπει στον χρήστη να κάνει υπολογισμούς και αναλύσεις, καθώς και να δημιουργήσει γραφήματα. Αρχικοί δημιουργοί ήταν οι Robert Gentleman και Ross Ihaka ενώ αργότερα συνέβαλλαν και άλλοι στην ανάπτυξή της. Η R είναι δωρεάν για διάφορους τύπους λειτουργικών συστημάτων, όπως Windows, Unix (π.χ. Linux), καθώς και MacOS, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να επέμβουν στον κώδικα και να προχωρήσουν σε διορθώσεις και βελτιώσεις. Παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία όπως είναι η δημιουργία τυχαίων δειγμάτων, διακριτές και συνεχείς μεταβλητές (Poisson, Gamma, Exponential κτλ), ελέγχους υποθέσεων, στατιστικά τεστ, δημιουργία γραφημάτων (ιστόγραμμα, qq plot και άλλα), προκειμένου να υλοποιηθεί μία στατιστική ανάλυση. Στην συγκεκριμένη μελέτη, γίνεται αξιοποίηση της R με σκοπό την μοντελοποίηση του ποσοστού του προβληματικού μήκους ορατότητας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το περιβάλλον προγραμματισμού R-studio.



Εικόνα 3-9: R-studio

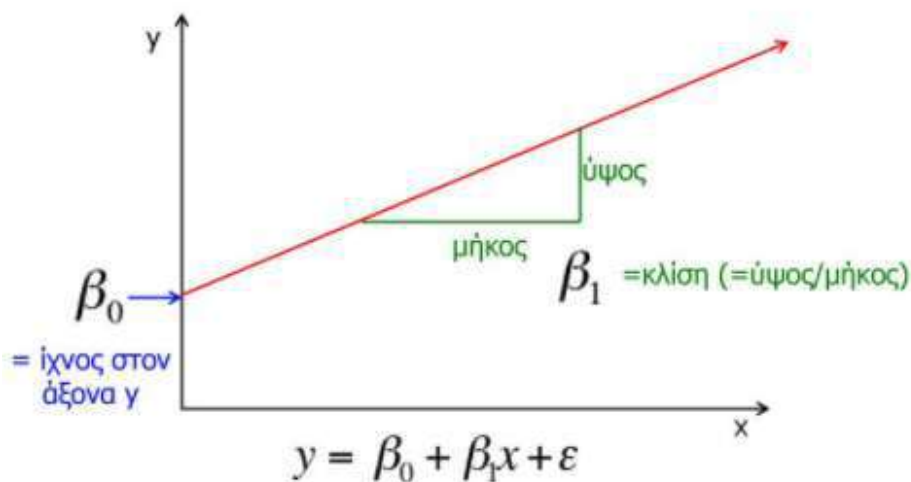
- Στο πάνω αριστερά μέρος βρίσκεται το παράθυρο επεξεργαστή κειμένου στο οποίο γράφονται οι εντολές του κώδικα.
- Στο κάτω αριστερά μέρος βρίσκεται το παράθυρο κονσόλας στο οποίο εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- Στο πάνω δεξιά μέρος φαίνονται τα δεδομένα και οι τιμές που εισέρχονται στο κώδικα.
- Στο κάτω δεξιά μέρος εμφανίζονται τα διαγράμματα καθώς και πληροφορίες για τα υποπρογράμματα που χρησιμοποιούνται από την R-studio.

### 3.6.1 Μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης

Στόχος της είναι η μοντελοποίηση μιας βαθμωτής εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  ως μαθηματική συνάρτηση μίας ή περισσότερων ανεξαρτήτων μεταβλητών  $X$ , έτσι ώστε χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο να μπορούμε να υπολογίσουμε την μεταβλητή  $Y$  όταν είναι γνωστό μόνο το  $X$ . Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει την μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

όπου,  $\beta_0$  είναι το σημείο τομής με τον άξονα  $y$  και  $\beta_1$  είναι η κλίση. Αυτοί οι δύο συντελεστές ονομάζονται συντελεστές παλινδρόμησης, ενώ ο όρος  $\varepsilon$  είναι ο όρος σφάλματος, δηλαδή το μέρος του  $Y$  το οποίο δεν μπορεί να εξηγήσει το μοντέλο. Η σχηματική απεικόνιση της εξίσωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 3-10: Μορφή γραμμικού μοντέλου**

Η εκτίμηση των παραμέτρων στην γραμμική παλινδρόμηση πραγματοποιείται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

### 3.6.2 Λογαριθμική γραμμική παλινδρόμηση

Οι λογαριθμικοί μετασχηματισμοί μεταβλητών στα μοντέλα παλινδρόμησης είναι χρήσιμοι όταν δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών. Επιπρόσθετα, βοηθούν στη μετατροπή μίας μεταβλητής μεγάλης κλίσης σε διάγραμμα διασποράς με τιμές που έχουν πιο ήπια κλίση. Οι μαθηματικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφραστεί ένα λογαριθμικό μοντέλο φαίνονται στην Εικόνα 3.7, όπου ισχύει ότι:

- 1)  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$ 
  - $y$ : Εξαρτημένη μεταβλητή
  - $\beta_0$ : Σταθερός όρος
  - $\beta_1$ : συντελεστής λογαρίθμου της ανεξάρτητης μεταβλητής. Εκφράζει την ελαστικότητα της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  σε σχέση με την ανεξάρτητη μεταβλητή  $x$ .
- 2)  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$ 
  - $\beta_1$ : ποσοστό μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  για αλλαγή μιας μονάδας στην τιμή  $x$ .



3)  $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$

- $\beta_1$ : μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής για 100% μεταβολή τιμής  $x$ .

**Interpretation of Log Models**

- ◆  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$ 
  - $\beta_1$  is the elasticity of  $y$  with respect to  $x$
- ◆  $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 x + u$ 
  - $\beta_1$  is approximately the percentage change in  $y$  given a 1 unit change in  $x$
- ◆  $y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) + u$ 
  - $\beta_1$  is approximately the change in  $y$  for a 100 percent change in  $x$

Εconometrics 8

Εικόνα 3-11: Μαθηματικές σχέσεις λογαριθμικών γραμμικών μοντέλων

### 3.7 Κριτήρια επιλογής μοντέλου

Υπάρχουν συγκεκριμένα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγεται ένα μοντέλο. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

- Οι τιμές και τα πρόσημα των συντελεστών  $\beta_i$
- Η στατιστική σημαντικότητα (t-test)
- Η τιμή σημαντικότητας (p-value)
- Τα μέτρα προσαρμογής (F-statistic, Std. Error, AIC, BIC)
- Η ποιότητα ( $R^2$ )

#### 3.7.1 Συντελεστές $\beta_i$

Οι συντελεστές παλινδρόμησης  $\beta_i$ , εκτιμούνται με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. Όταν το πρόσημο τους είναι θετικό σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνεπάγεται και αύξηση της εξαρτημένης ενώ

αντίθετα αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης.

### 3.7.2 Έλεγχος t-test

Σημαντικός έλεγχος για την αξιολόγηση του μοντέλου είναι ο έλεγχος t-test. Το t-test χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επιρροή μίας μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής τόσο μεγαλύτερη είναι και επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής. Η σχέση που εκφράζει το t-test είναι η παρακάτω.

$$t = \frac{\beta_i}{s.e.}$$

όπου s.e. το τυπικό σφάλμα (standard error).

Όπως φαίνεται, η τιμή του τυπικού σφάλματος (s.e: standard error) είναι αντιστρόφως ανάλογη της τιμής του t. Δηλαδή όσο επιτυγχάνεται μείωση του τυπικού σφάλματος τόσο θα αυξάνεται και η τιμή του t. Το t μπορεί να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές αφού εξαρτάται από το πρόσημο των συντελεστών παλινδρόμησης β<sub>i</sub>. Οι μεγαλύτερες τιμές του t κατά απόλυτη τιμή, δείχνουν μεγαλύτερη στατιστική σημαντικότητα της εκάστοτε μεταβλητής που εξετάζεται. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t για το εκάστοτε επίπεδο εμπιστοσύνης.

Βαθμοί Ελευθερίας	Επίπεδο Εμπιστοσύνης				
	0,900	0,950	0,975	0,990	0.995
80	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

**Πίνακας 3-2: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t της κατανομής Student**

Για επίπεδο εμπιστοσύνης η τιμή του t είναι 1,96. Επομένως, προκύπτει ότι για να συμπεριληφθεί κάποια μεταβλητή στο μοντέλο θα πρέπει να έχει συντελεστή t μεγαλύτερο του 1,96 κατά απόλυτη τιμή, έτσι ώστε να κρίνεται στατιστικά σημαντική. Στα μοντέλα λογαριθμικής παλινδρόμησης ισχύει ότι και σε αυτά της γραμμικής παλινδρόμησης.

### 3.7.3 Τιμή σημαντικότητας p-value

Οι τιμή p-value ορίζεται ως η πιθανότητα λήψης αποτελέσματος ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό που παρατηρήθηκε μέσω των δεδομένων. Αφού οριστεί η τιμή p-value συγκρίνεται με μια προκαθορισμένη τιμή στατιστικής σημαντικότητας, η οποία συνήθως είναι η 0,05. Αν η τιμή p-value είναι μικρότερη από 0,05 τότε ένα γραμμικό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντικό. Αυτό μπορεί να φανεί και από τα αστέρια που υπάρχουν δίπλα από την τιμή p-value, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Όσα περισσότερα είναι, με μέγιστο τα 3 αστέρια, τόσο η μεταβλητή κρίνεται σημαντική για το μοντέλο.

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2098.23945   337.44347    6.218 3.69e-08 ***
FINAL$lat12   -45.27961    11.93359   -3.794 0.000321 ***
FINAL$latism12 -173.77027    28.73089   -6.048 7.31e-08 ***

```

Πίνακας 3-3: Στατιστική σημαντικότητα μεταβλητών (p-value)

### 3.7.4 Μέτρα προσαρμογής

F-statistic: Χρησιμοποιείται για να κρίνει πολλαπλούς συντελεστές που λαμβάνονται μαζί ταυτόχρονα, αντί να κρίνονται μεμονωμένα μέσω του t-test. Η σχέση είναι η παρακάτω.

$$F - statistic = \frac{MSR}{MSE}$$

Μέση τετραγωνική παλινδρόμηση:  $MSR = \frac{\sum_i^n (y_i - \bar{y})}{(q-1)} = \frac{SST - SSE}{(q-1)}$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα:  $MSE = \frac{SSE}{n-q}$

- Άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων:  $SSE = \sum ni(y_i - \hat{y}_i)$
- Άθροισμα συνόλου τετραγώνων:  $SST = \sum ni(y_i - \bar{y}_i)$
- $\hat{y}_i$  : Προσαρμοσμένη τιμή παρατήρησης i

- $\bar{y}_i$  : Μέση τιμή του Y
- n: Αριθμός των παρατηρήσεων
- q: Αριθμός των συντελεστών

Std.Error (Standard Error): Το τυπικό σφάλμα είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής δειγματοληψίας. Η σχέση που το περιγράφει είναι η παρακάτω.

$$Std. Error = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{SSE}{n - q}}$$

AIC και BIC : Τα Akaike Information Criterion(Akaike, 1974) και Bayesian Information Criterion (Schwarz, 1978) με συντομογραφίες AIC και BIC αντίστοιχα, εξαρτώνται από τη μέγιστη τιμή της συνάρτησης πιθανότητας L(Likelihood function) και χρησιμοποιούνται για την επιλογή μοντέλου. Οι μαθηματικές τους σχέσεις φαίνονται παρακάτω.

$$AIC = -2 \cdot \ln(L) + 2 \cdot k$$

$$BIC = -2 \cdot \ln(L) + k \cdot \ln(n)$$

όπου, n: Αριθμός του δείγματος  
k: Αριθμός παραμέτρων στο μοντέλο

### 3.7.5 Κριτήριο καλής προσαρμογής $R^2$ – Adjusted $R^2$

Το κριτήριο του  $R^2$ , χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου. Η μαθηματική σχέση που το εκφράζει είναι η παρακάτω:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Οι όροι SSE και SST αναλύθηκαν παραπάνω.(Βλ. παράγραφο 3.5.4) Πρόκειται για ένα στατιστικό μέτρο που δείχνει το πόσο κοντά είναι τα δεδομένα στην γραμμή παλινδρόμησης. Είναι ουσιαστικά, το ποσοστό της μεταβλητής απόκρισης που εξηγείται από ένα γραμμικό μοντέλο. Βρίσκεται πάντα μεταξύ 0% και 100%. Το 0% δείχνει ότι το μοντέλο δεν εξηγεί καμία από τις μεταβλητές δεδομένων απόκρισης σε αντίθεση με το 100% που δηλώνει ότι το μοντέλο εξηγεί όλη τη μεταβλητότητα των δεδομένων. Γενικά,

όσο υψηλότερο είναι το  $R^2$  τόσο καλύτερα εκφράζει το μοντέλο την εξαρτημένη μεταβλητή.

Το κριτήριο του Προσαρμοσμένου (Adjusted)  $R^2$  χρησιμοποιείται για τον καλύτερο έλεγχο της ποιότητας ενός μοντέλου, αφού όταν γίνεται πρόσθεση μεταβλητών στο μοντέλο, ο συντελεστής  $R^2$  αυξάνεται συγκριτικά με το προηγούμενο μοντέλο λιγότερων μεταβλητών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται το Προσαρμοσμένο  $R^2$  το οποίο λαμβάνει υπόψη την χρήση περισσότερων μεταβλητών και διαμορφώνεται ανάλογα με τον αριθμό αυτών. Η σχέση που το εκφράζει είναι η παρακάτω:

$$adjR^2 = 1 - \frac{MSE}{MST}$$

Όπου ο όρος MST εκφράζει την μέση τιμή του συνόλου των τετραγώνων και δίνεται από την σχέση :  $MST = \frac{SST}{n-1}$

όπου, n ο αριθμός των παρατηρήσεων. Ο όρος MSE αναλύθηκε παραπάνω (Βλ. παράγραφο 3.4.4)

## 4. ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Η μελέτη χάραξης περιλαμβάνει τη μελέτη και τη διερεύνηση των παρακάτω στοιχείων μίας οδού:

- Οριζοντιογραφίας
- Μηκοτομής
- Διατομών
- Ορατότητας
- Προοπτικής της στο χώρο

Στην παρούσα εργασία οι μελέτες πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) και παρακάτω προσδιορίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά που ελέγχθηκαν καθώς και οι προτεινόμενες οριακές τους τιμές.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μέθοδος με την οποία συλλέχτηκαν τα δεδομένα για την επεξεργασία και την ανάλυση ώστε να ολοκληρωθεί η μελέτη.

### 4.2 Κυκλικό Τόξο Οριζοντιογραφίας

Οι ελάχιστες ακτίνες των καμπυλών της οριζοντιογραφίας διακρίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1). Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από την ταχύτητα μελέτης και για λόγους καλύτερης προσαρμογής στις κλιματολογικές και τις τοπογραφικές συνθήκες της Ελλάδας, η επιλογή των τιμών  $R_{min}$  εξαρτάται εκτός από την ομάδα στην οποία ανήκει η οδός και από την κατηγορία του εδάφους (πεδινό, λοφώδες ή ορεινό) (ΟΜΟΕ-Χ, 2001).

$V_e$ (km/h)	$f_{Hmax}$	Α			Β	
		πεδινά εδάφη	ημιορεινά και ορεινά εδάφη	όλες οι κατηγορίες εδαφών	όλες οι κατηγορίες εδαφών	
		$e=8\%$ (9%)	$e=7\%$	$e=2.5\%$	$e=6\%$	$e=2.5\%$
		$n=45\%$	$n=40\%$	$n=10\%$	$n=60\%$	$n=30\%$
		$R_{min}$ (m)	$R_{min}$ (m)	$R_{min}$ (m)	$R_{min}$ (m)	$R_{min}$ (m)
50	0.36	82 (79)	93	325	72	149
60	0.33	125 (120)	141	491	111	230
70	0.30	179 (171)	203	701	161	335
80	0.28	247 (235)	279	958	223	467
90	0.26	327 (311)	371	1263	299	628
100	0.24	422 (401)	478	1618	390	820
110	0.22	531 (503)	601	2022	494	1043
120	0.21	652 (617)	739	2473	-	-
130	0.20	786 (742)	890	2966	-	-

**Πίνακας 4-1: Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών οριζοντιογραφίας για οδούς των ομάδων Α και Β**

Στην παρούσα εργασία για ταχύτητα μελέτης 130 km/h και για οδούς ομάδας Α – ημιορεινά και ορεινά εδάφη χρησιμοποιήθηκε ελάχιστη ακτίνα καμπύλης οριζοντιογραφίας ίση με 900 m. Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, καθώς και για την ύπαρξη ενός ικανοποιητικού δείγματος παραμέτρων για την στατιστική ανάλυση που ακολούθησε χρησιμοποιήθηκαν άλλες έξι ακτίνες οριζοντιογραφίας.

Άρα, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 7 ακτίνες οριζοντιογραφίας, οι οποίες είναι οι εξής:

- R = 900 m
- R = 1000 m
- R = 1500 m
- R = 2000 m
- R = 2500 m
- R = 3000 m
- R = 3500 m

### 4.3 Κυρτή Κατακόρυφη Καμπύλη Συναρμογής

Οι ελάχιστες ακτίνες κυρτών κατακόρυφων καμπυλών συναρμογής σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ- Χ δίνονται στον Πίνακα 4.2. Παρέχουν επαρκή περιθώρια ασφαλείας σε ζητήματα ορατότητας για στάση και για προσπέραση. Με την εφαρμογή αυτών των ακτίνων δεν προκύπτουν μεγάλα ορύγματα και η μηκοτομή μπορεί να προσαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στο ανάγλυφο του εδάφους.

V <sub>e</sub> (km/h)	Ορατότητα για στάση	Ορατότητα για προσπέραση	
	επιτρεπόμενη περιοχή διατίθεται SSD	περιοχή προς αποφυγήν ΔΕΝ διατίθεται PSD	επιτρεπόμενη περιοχή διατίθεται PSD
Οδοί ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας και διαχωρισμένων επιφανειών με ΙΚ			
50	800 - 7000	7000 - 27000	27000
60	2000 - 7600	7600 - 30000	30000
70	3000 - 8400	8400 - 34000	34000
80	4500 - 10000	10000 - 40000	40000
90	6200 - 12000	12000 - 48000	48000
100	8500 - 14000	14000 - 55000	55000
Οδοί διαχωρισμένων επιφανειών με ΑΚ			
60	3000	-	-
70	4500	-	-
80	6200	-	-
90	8500	-	-
100	11000	-	-
110 - 130	15000	-	-

Σημείωση. ΙΚ: ισόπεδοι κόμβοι, ΑΚ: ανισόπεδοι κόμβοι.

**Πίνακας 4-2: Οριακές τιμές κυρτών κατακόρυφων καμπυλών για οδούς των ομάδων Α και Β**

Στην παρούσα εργασία για οδούς ομάδας Α ορίστηκε ελάχιστη τιμή κυρτής κατακόρυφης καμπύλης ίση με |15000| m. Στην συνέχεια, για τις ανάγκες της στατιστικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν άλλες 3 ακόμη τιμές κυρτών κατακόρυφων καμπυλών έχοντας συνολικά τις εξής:

- Hk = - 15000 m
- Hk = - 20000 m
- Hk = - 25000 m
- Hk = - 30000 m



#### 4.4 Κατά Μήκος Κλίση στη Μηκοτομή

Οι κατά μήκος κλίσεις πρέπει για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας, λειτουργικού κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας, μειωμένης ρύπανσης και ποιότητας κυκλοφοριακής ροής να διατηρούνται κατά το δυνατό σε χαμηλές τιμές. Επιπλέον, οι κατά μήκος κλίσεις της οδού πρέπει να προσαρμόζονται στο ανάγλυφο του εδάφους, προκειμένου να προστατευθεί το περιβάλλον και οι οικιστικές περιοχές, καθώς και να μειωθεί το κόστος κατασκευής. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.3) υποδεικνύονται οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις.

$V_e$ (km/h)	$S_{max}$ (%) κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001					
	ομάδα Α			ομάδα Β (εκτός ΒΙ)	ΒΙ	
	πεδινά εδάφη	λοφώδη εδάφη	ορεινά εδάφη	όλες οι κατηγορίες εδαφών	όλες οι κατηγορίες εδαφών	max μήκος εφαρμογής (m)
50	7 (8)	8 (9)	10 (11)	8 (12)	8 (12)	100
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)	7 (10)	7	200
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)	6 (9)	6	300
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)	5 (7)	5	600
90	4 (5)	5 (6)	7 (8)	-	-	
100	3 (5)	4 (6)	6 (8)	-	-	
110	3 (5)	4 (6)	5 (6)	-	-	
120	3 (5)	4 (6)	-	-	-	
130	3 (4)	-	-	-	-	

Σημείωση. Οι τιμές σε ( ) εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

**Πίνακας 4-3: Μέγιστες κατά μήκος τιμές κλίσεων για οδούς των ομάδων Α και Β**

Στην παρούσα εργασία για οδούς ομάδας Α (λοφώδη εδάφη) χρησιμοποιήθηκε μέγιστη κατά μήκος κλίση ίση με 4%. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε κλίση 4% σε ανωφέρεια και σε κλίση -4% για κατωφέρεια. Στην συνέχεια, για να αξιολογήσουμε και άλλα σενάρια χρησιμοποιήθηκαν και οι κλίσεις 3%, 2% και 1% με την τελευταία να λαμβάνεται ως ελάχιστη εφικτή. Γι' αυτό χρειάστηκε να εξεταστεί ένα πλήθος διαφορετικών συνδυασμών κατά μήκος κλίσεων  $s_1 / s_2$ , όπου  $s_1$  είναι η κλίση στην ανωφέρεια και  $s_2$  είναι η

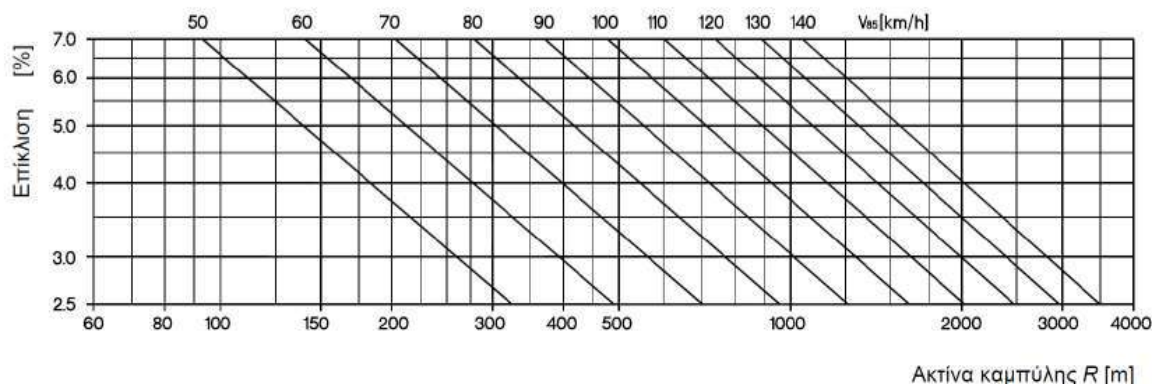
κλίση σε κατωφέρεια με δυσμενέστερο τον συνδυασμό 4% / -4%. Παρακάτω παρουσιάζονται όλοι 16 πιθανοί συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν.

- $s_1 = 4\% / s_2 = -1\%$
- $s_1 = 3\% / s_2 = -1\%$
- $s_1 = 2\% / s_2 = -1\%$
- $s_1 = 1\% / s_2 = -1\%$
- $s_1 = 4\% / s_2 = -2\%$
- $s_1 = 3\% / s_2 = -2\%$
- $s_1 = 2\% / s_2 = -2\%$
- $s_1 = 1\% / s_2 = -2\%$
- $s_1 = 4\% / s_2 = -3\%$
- $s_1 = 3\% / s_2 = -3\%$
- $s_1 = 2\% / s_2 = -3\%$
- $s_1 = 1\% / s_2 = -3\%$
- $s_1 = 4\% / s_2 = -4\%$
- $s_1 = 3\% / s_2 = -4\%$
- $s_1 = 2\% / s_2 = -4\%$
- $s_1 = 1\% / s_2 = -4\%$

#### 4.5 Προσδιορισμός Επίκλισης σε Κυκλικά Τμήματα

Ο προσδιορισμός της επίκλισης εντός κυκλικού τμήματος οδού είναι συνάρτηση της ακτίνας του κυκλικού τόξου στην οριζοντιογραφία (R) και της λειτουργικής ταχύτητας V85 κατά ΟΜΟΕ-Χ. Εντός κυκλικών τόξων η τιμή της επίκλισης γενικά παραμένει σταθερή.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε αριστερόστροφη καμπύλη αυτοκινητόδρομου σε λοφώδες και ορεινό έδαφος γι' αυτό και παρακάτω δίνεται το διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης κατά ΟΜΟΕ-Χ σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α – λοφώδη και ορεινά εδάφη.



**Γράφημα 4-1: Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών ομάδας Α - λοφώδη και ορεινά εδάφη**

Θέλουμε να προσδιορίσουμε την επίκλιση ( $e$ ) των κυκλικών τμημάτων της αριστερόστροφης καμπύλης αυτοκινητόδρομου σε λοφώδες και ορεινό έδαφος που εξετάζουμε για τις επτά διαφορετικές ακτίνες  $R$  της οριζοντιογραφίας που έχουμε. Αυτό γίνεται με αντιστοιχία των καμπύλων της ακτίνας  $R$  με την καμπύλη της ταχύτητας  $V_{85}$ , την οποία λαμβάνουμε ίση με  $130 \text{ km/h}$ , στο παραπάνω διάγραμμα και στη συνέχεια την στρογγυλοποιούμε στο πλησιέστερο  $0,5\%$ . Έτσι, για τις επτά διαφορετικές ακτίνες που διαθέτουμε παίρνουμε τις ακόλουθες επικλίσεις.

- $R = 900 \text{ m} \rightarrow e = 7\%$
- $R = 1000 \text{ m} \rightarrow e = 6,5\%$
- $R = 1500 \text{ m} \rightarrow e = 4,5\%$
- $R = 2000 \text{ m} \rightarrow e = 3,5\%$
- $R = 2500 \text{ m} \rightarrow e = 3\%$
- $R = 3000 \text{ m} \rightarrow e = 2,5\%$
- $R = 3500 \text{ m} \rightarrow e = 2,5\%$

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

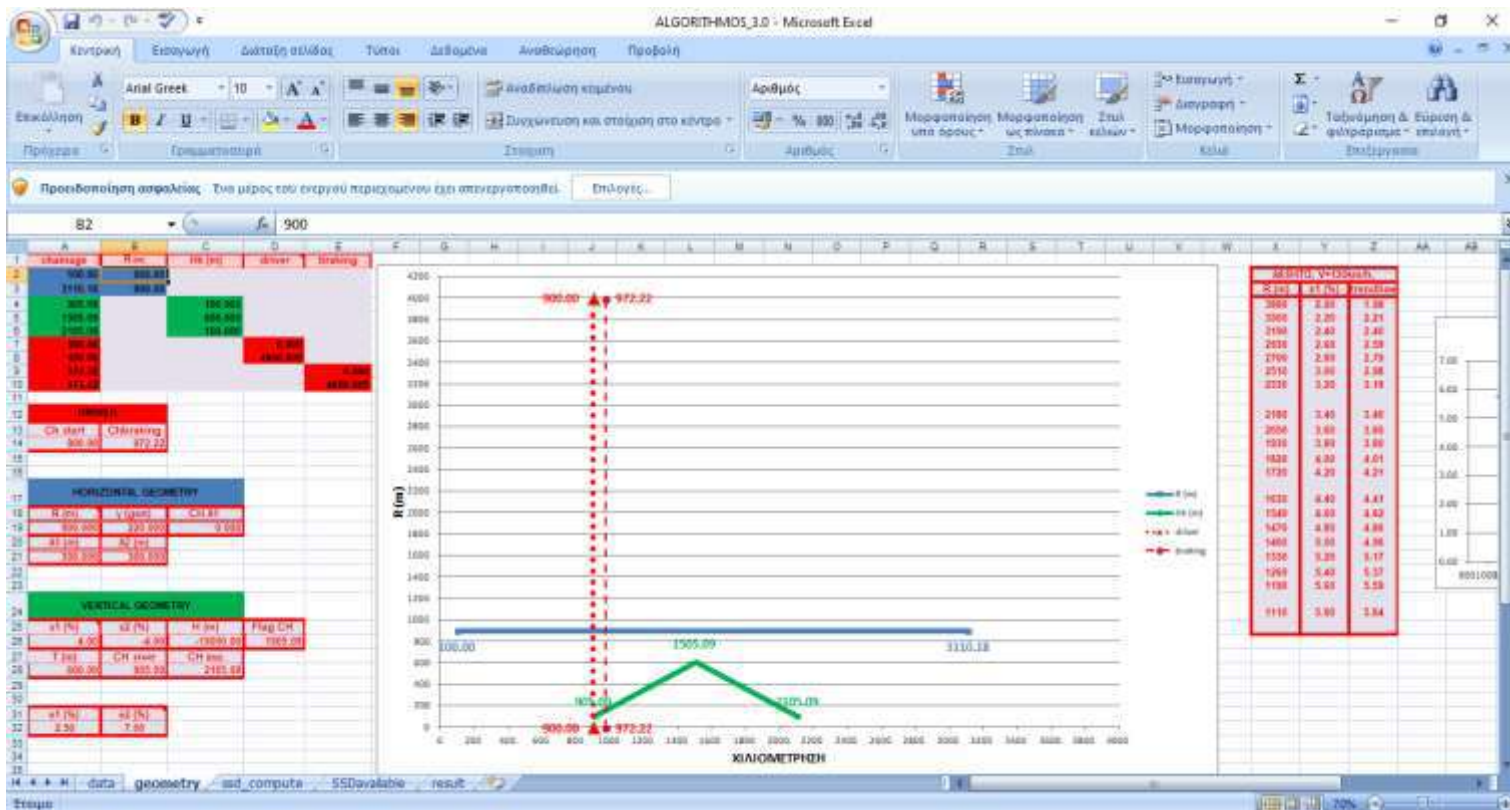
### 5.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αφορά τη μεθοδολογία μέσω της οποίας έγινε αρχικά η καταγραφή και στη συνέχεια η κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων έτσι ώστε να ληφθούν τα τελικά αποτελέσματα για την πραγματοποίηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

### 5.2 Αλγόριθμος Παραγωγής Δεδομένων

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι καρτέλες του αλγορίθμου και επεξηγείται το περιεχόμενό τους.

#### 5.2.1 Καρτέλα Geometry



Εικόνα 5-1: Καρτέλα Geometry του αλγορίθμου στο excel

DRIVER	
Ch start	Chbraking
900.00	972.22

- Ch start: χιλιομετρική θέση αντίληψης εμποδίου
- Chbraking: χιλιομετρική θέση έναρξης πέδησης

HORIZONTAL GEOMETRY		
R (m)	$\gamma$ (gon)	CH A1
900.000	220.000	0.000
A1 (m)	A2 (m)	
300.000	300.000	

- R: ακτίνα κυκλικού τόξου οριζοντιογραφίας
- $\gamma$ : γωνιακή μεταβολή συνολικής καμπύλης
- CH A1: χιλιομετρική θέση της παραμέτρου κλωθοειδούς εισόδου
- A1: παράμετρος κλωθοειδούς εισόδου
- A2: παράμετρος κλωθοειδούς εξόδου

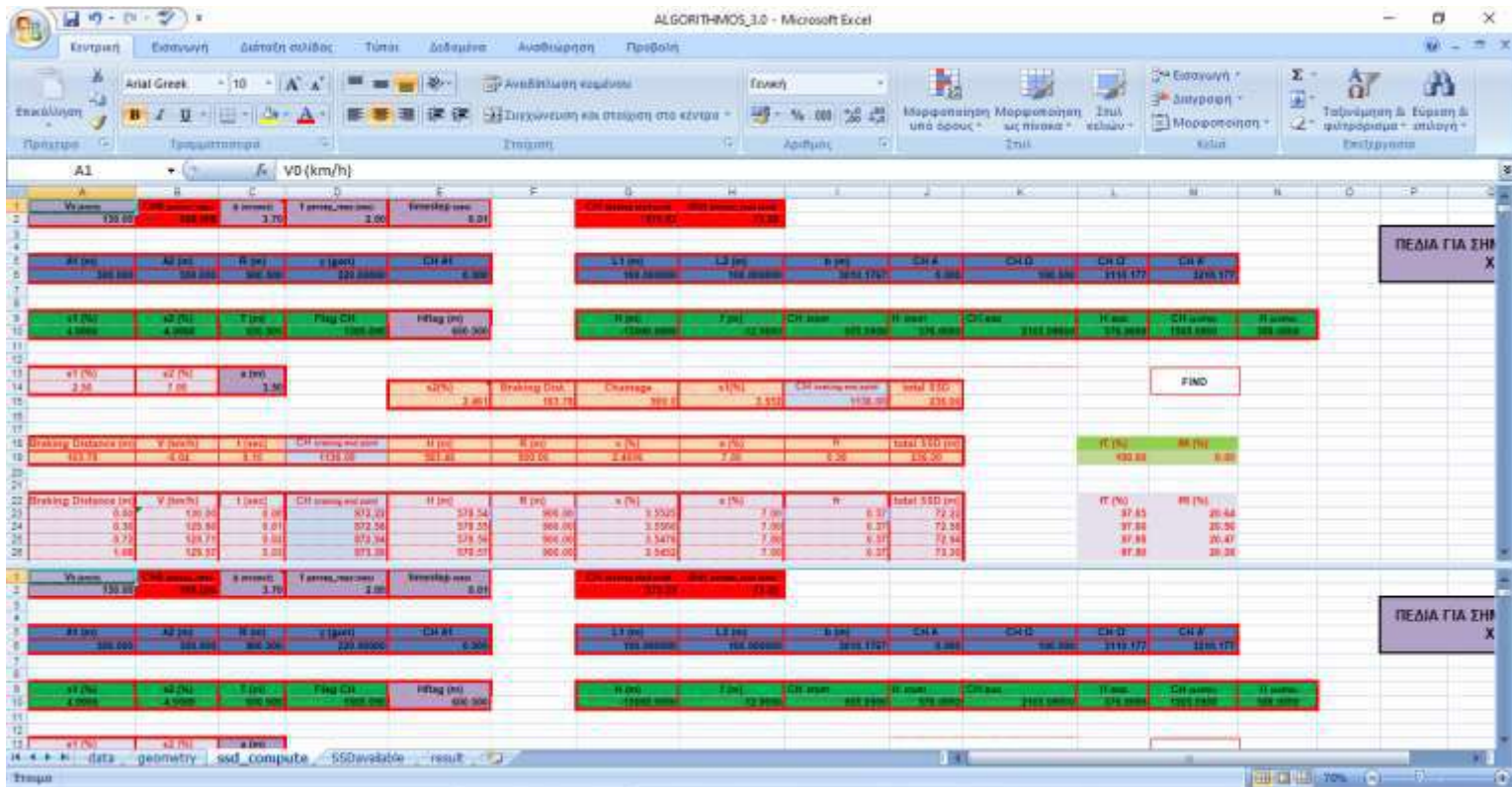
VERTICAL GEOMETRY			
s1 (%)	s2 (%)	H (m)	Flag CH
4.00	-4.00	-15000.00	1505.09
T (m)	CH START	CH END	
600.00	905.09	2105.09	

- s1: κατά μήκος κλίση οδού σε ανωφέρεια
- s2: κατά μήκος κλίση οδού σε κατωφέρεια
- H: ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης της μηκοτομής
- Flag CH: χιλιομετρική θέση σημαίας μηκοτομής
- T: εφαπτόμενη κλωθοειδούς
- CH<sub>START</sub>: χιλιομετρική θέση αρχής μηκοτομής
- CH<sub>END</sub>: χιλιομετρική θέση τέλους μηκοτομής

e1 (%)	e2 (%)
2.50	7.00

- e1: επίκλιση οδού έξω από την καμπύλη
- e2: επίκλιση οδού μέσα στην καμπύλη

5.2.2 Καρτέλα `ssd_compute`



Εικόνα 5-2: Καρτέλα `ssd_compute` του αλγορίθμου στο excel

<b>V0 (km/h)</b>	<b>CH0 percep_reac</b>	<b>a (m/sec<sup>2</sup>)</b>	<b>t percep_reac (sec)</b>	<b>timestep (sec)</b>
130.00	900.000	3.70	2.00	0.01

- **V<sub>0</sub>**: ταχύτητα οχήματος με την οποία εισέρχεται στην καμπύλη
- **CH0 percep\_reac**: χιλιομετρική θέση αντίληψης εμποδίου
- **a**: επιβράδυνση οχήματος
- **t<sub>percep\_reac</sub>**: χρόνος αντίληψης – αντίδρασης οδηγού
- **timestep**: χρονικό βήμα εξέτασης διατομής

<b>CH braking start point</b>	<b>dist percep_reac</b>
972.22	72.22

- **CH braking start point**: χιλιομετρική θέση έναρξης πέδησης
- **dist<sub>percep\_reac</sub>**: απόσταση που έχει διανύσει ο οδηγός μέχρι να εφαρμοστεί η πέδηση



Ισχύει ότι:

$$CH_{\text{percep\_reac}} (900) + \text{dist}_{\text{percep\_reac}} (72.22) = CH_{\text{braking start point}} (972.22)$$

A1 (m)	A2 (m)	R (m)	γ (gon)	CH A1
300.000	300.000	900.000	220.00000	0.000

Όλα τα στοιχεία επεξηγήθηκαν παραπάνω.

L1 (m)	L2 (m)	b (m)	CH A	CH Ω	CH Ω'	CH A'
100.000000	100.000000	3010.1767	0.000	100.000	3110.177	3210.177

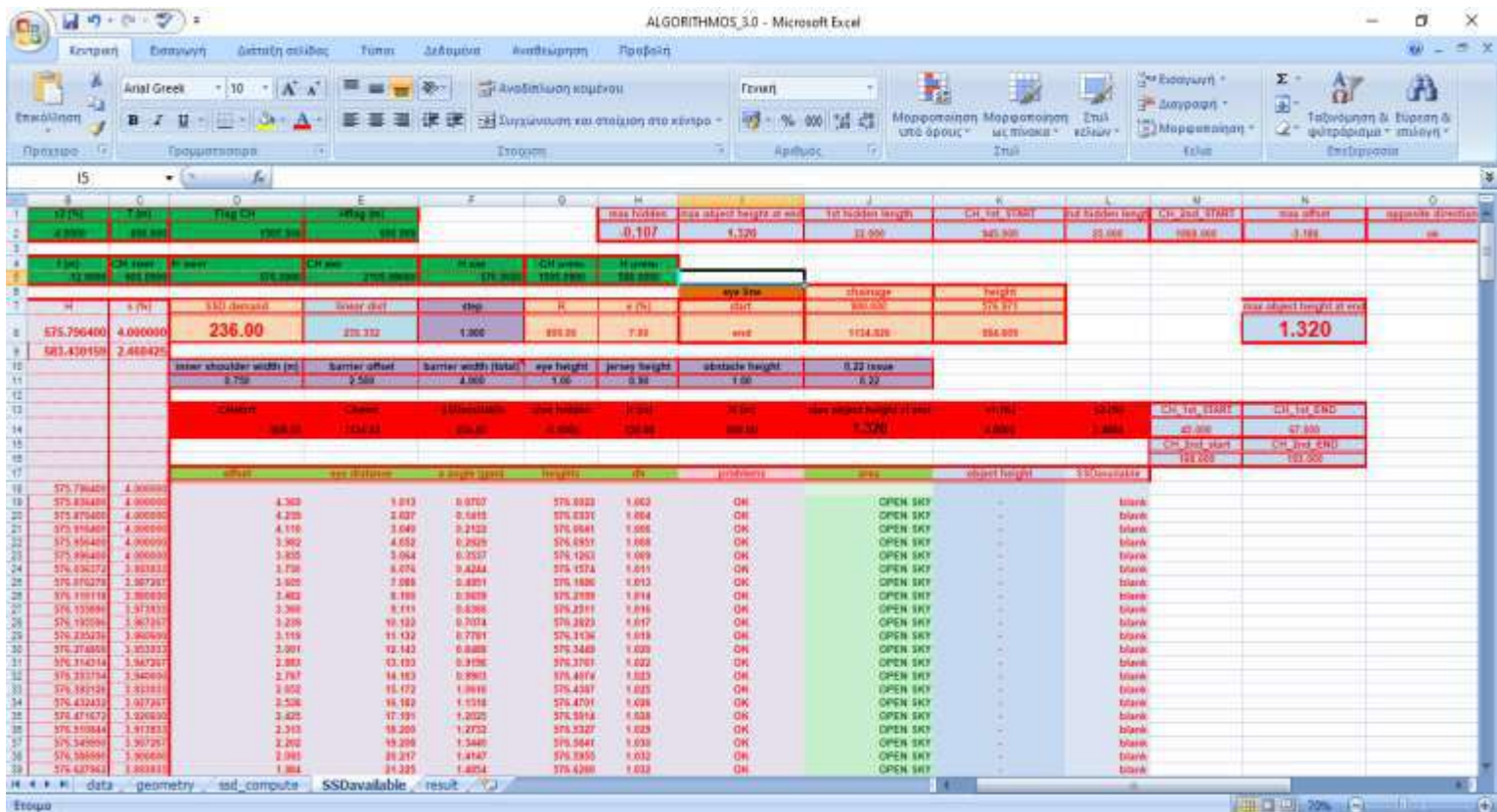
- L1: μήκος του τόξου της κλωθοειδούς εισόδου
- L2: μήκος του τόξου της κλωθοειδούς εξόδου
- b: μήκος κυκλικού τόξου
- CH A: χιλιομετρική θέση αρχής κλωθοειδούς εισόδου
- CH Ω: χιλιομετρική θέση τέλους κλωθοειδούς εισόδου
- CH Ω': χιλιομετρική θέση αρχής κλωθοειδούς εξόδου
- CH A': χιλιομετρική θέση τέλους κλωθοειδούς εξόδου

Braking Distance (m)	V (km/h)	t (sec)	CH braking end point	H (m)	R (m)	s (%)	e (%)	ft	to
0,00	130,00	0,00	972,22	578,54	900,00	3,5525	7,00	0,37	
0,36	129,86	0,01	972,58	578,55	900,00	3,5500	7,00	0,37	

- **Breaking Distance:** Απόσταση Πέδησης
- **V:** ταχύτητα στην υπόψιν θέση
- **t:** χρονική στιγμή πέδησης
- **CH Braking end Point :** τρέχουσα χιλιομετρική θέση πέδησης
- **H:** υψόμετρο τρέχουσας χιλιομετρικής θέσης
- **R:** ακτίνα τρέχουσας χιλιομετρικής θέσης
- **s:** κατά μήκος κλίση τρέχουσας χιλιομετρικής θέσης
- **e:** επίκλιση τρέχουσας χιλιομετρικής θέσης
- **ft:** συντελεστής διαμήκους τριβής τρέχουσας χιλιομετρικής θέσης

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά 1 sec και η ταχύτητα απομειώνεται μέχρι να φτάσει στη τιμή 0 ή αρνητική που σημαίνει ότι το όχημα έχει ακινητοποιηθεί πλήρως όποτε και εκείνο το Breaking Distance είναι το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση.

### 5.2.3 Καρτέλα SSDavailable



Εικόνα 5-3: Καρτέλα SSDavailable του αλγορίθμου στο excel

s2 (%)	T (m)	Flag CH	Hflag (m)
-4.000	600.000	1505.090	600.000

- s2: κατά μήκος κλίση οδού σε κατωφέρεια
- T: εφαιπόμενη κλωθοειδούς
- FLAG CH: χιλιομετρική θέση σημαίας μηκοτομής
- Hflag: υψόμετρο σημαίας



max hidden	max object height at end	1st hidden length	CH_1st_START	2nd hidden length	CH_2nd_START
-0.107	1.320	22.000	945.000	25.000	1068.000

- max hidden: max dh αν αφαιρέσω το 1.0 m, με αρνητική τιμή
- max object height at end: μέγιστη προβολή εμποδίου στον άξονα
- 1st hidden length: πρώτο προβληματικό μήκος ορατότητας
- CH\_1st\_START: χιλιομετρική θέση πρώτου προβληματικού μήκους ορατότητας
- 2nd hidden length: δεύτερο προβληματικό μήκους ορατότητας
- CH\_2nd\_START: χιλιομετρική θέση δεύτερου προβληματικού μήκους ορατότητας

max offset	opposite direction	Ch start	s end (%)	SSD	SSDreduced	percentage (%)
-3.186	ok	900.000	2.468	236.000	0.000	100.000

- max offset: μέγιστη κάθετη απόσταση χορδής κυκλικού τομέα από τον άξονα της οδού
- opposite direction: έλεγχος αν η γραμμή οράσεως μπαίνει στην αντίθετη κατεύθυνση
- Ch start: χιλιομετρική θέση εξέτασης οδηγού
- s end: κλίση στην τελική θέση εξέτασης του μήκους ορατότητας
- SSD: Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας
- SSDreduced: Απομειωμένο Μήκος Ορατότητας (Δεν χρησιμοποιείται)
- percentage (%): Ποσοστό Απομειωμένου Μήκους Ορατότητας (Δεν χρησιμοποιείται)

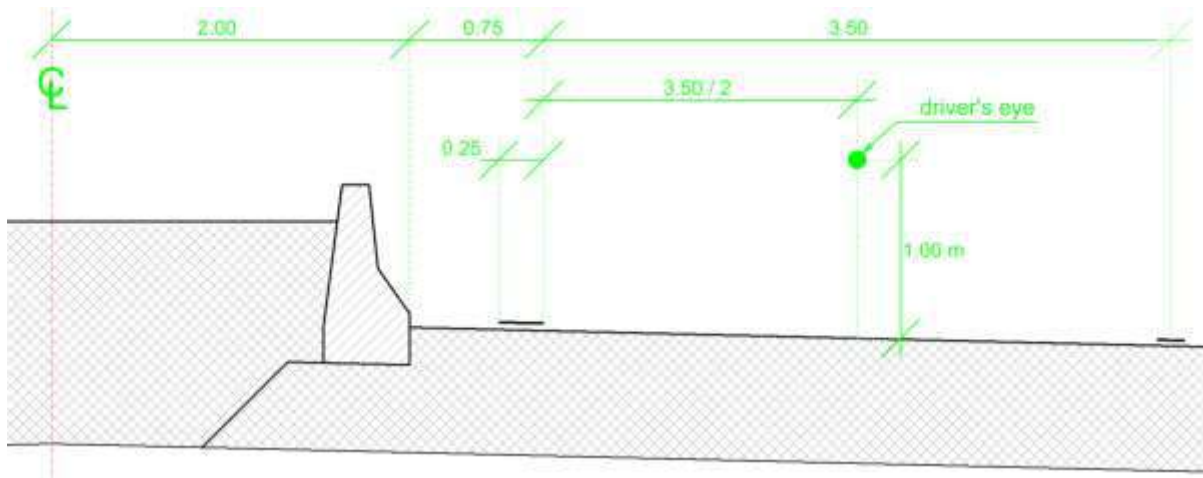
					eye line	chainage	height
SSD demand	linear dist	step	R	e (%)	start	900.000	576.971
236.00	235.332	1.000	900.00	7.00	end	1134.826	584.605

- SSDdemand: απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
- linear dist.: χορδή του κυκλικού τομέα που περιλαμβάνει το SSDdemand
- step: βήμα εξέτασης της παρούσας διατομής σε μέτρα

inner shoulder width (m)	barrier offset	barrier width (total)	eye height	jersey height	obstacle height
0.750	2.500	4.000	1.00	0.90	1.00

- **inner shoulder width:** εξώτερο πλάτος προσαρμογής *New\_Jersey*
- **barrier offset:** απόσταση άξονα οδού από το *New\_Jersey*
- **barrier width (total):** πλάτος *New\_Jersey*
- **eye height:** ύψος ματιών οδηγού
- **jersey height:** ύψος jersey (στηθαίου ασφαλείας)
- **obstacle height:** ύψος εμποδίου

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω.



Εικόνα 5-4: Πρότυπη τομή *New\_Jersey*

offset

eye distance

a angle (gon)

heights

dh

- **offset:** Κάθετη απόσταση χορδής μεταξύ 2 Χιλιομετρικών Θέσεων από άκρο ερείσματος
- **eye distance:** γραμμή οράσεως
- **a angle:** γωνία κυκλικού τομέα μεταξύ 2 Χιλιομετρικών Θέσεων
- **heights:** προβολή ύψους εμποδίου
- **dh:** υψομετρική διαφορά των ματιών του οδηγού με το στηθαίο ασφαλείας

problems

area

object height

SSDavailable

- **problems:** εξέτασή αν  $dh$  δεν είναι αποδεκτό
- **area:** εξέταση αν η γραμμή οράσεως τέμνει το `New_Jersey` ή όχι
- **object height:** ύψος εμποδίου στη συγκεκριμένη θέση
- **SSDavailable:** άθροισμα θέσεων όπου δεν παρουσιάζεται πρόβλημα ορατότητας

Η συγκεκριμένη καρτέλα διατρέχει όλο το μήκος ορατότητας που απαιτείται να έχει ο οδηγός ελεύθερο με βήμα 1 μέτρο και ελέγχει αν η γραμμή οράσεως το οδηγού σε κάθε σημείο περιορίζεται από το ενδιαμέσο στηθαίο ασφαλείας ή αν είναι ελεύθερη να έχει οπτική επαφή με το εμπόδιο. Μόλις ολοκληρωθεί ο έλεγχος όλου του μήκους ορατότητας για στάση που έχει απαιτηθεί αθροίζεται το σύνολο των προβληματικών σημείων που έχουν θέμα ορατότητας και προκύπτει το συνολικό προβληματικό μήκος το οποίο μπορεί να διαχωρίζεται και σε 2 μέρη αν για κάποιο λόγο ο οδηγός ανάμεσα σε αυτά ξανά αποκτά οπτική επαφή με το οδόστρωμα σε ύψος οράσεως 1 μέτρου. Αφού πλέον γνωρίζουμε την χιλιομετρική θέση έναρξης του προβληματικού μήκους ορατότητας μπορούμε αφαιρώντας την χιλιομετρική θέση που εξετάζουμε τον οδηγό να προκύψει το Διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας.

Τέλος, σημειώνεται ότι οι χιλιομετρικές θέσεις στις οποίες εξετάζουμε το μήκος απόκρυψης της καμπύλης και το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, έχουν ως απαραίτητη προϋπόθεση να βρίσκονται στο καμπύλο τμήμα της οριζοντιογραφίας (R) και όχι στα μήκη προσαρμογής εισόδου και εξόδου των κυκλικών τόξων (κλωθοειδής). Με τον τρόπο αυτό εξετάζεται η πιο δυσμενής περίπτωση, δεδομένου ότι στα τόξα συναρμογής η καμπυλότητα είναι μικρότερη και επομένως τα περιθώρια ορατότητας μεγαλύτερα.

### 5.3 Θερμικά διαγράμματα

Έχοντας πλέον υπολογίσει μέσω του αλγορίθμου το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση σε αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη καθώς και το μήκος που δεν έχει ορατότητα ο οδηγός όταν βρίσκεται μέσα στην καμπύλη (hidden length) εισάγουμε τα δεδομένα αυτά σε ένα νέο υπολογιστικό φύλλο excel και βρίσκουμε το λόγο  $\text{hidden length} / \text{SSD}_{\text{demand}}$  σε κάθε χιλιομετρική θέση που βρίσκεται ο οδηγός στην καμπύλη εκφρασμένο σε ποσοστό.

Στην συνέχεια, βρίσκουμε τον σταθμισμένο μέσο όρο των ποσοστών της προβληματικής ορατότητας που έχει ο οδηγός στις διάφορες χιλιομετρικές θέσεις που βρίσκεται στην αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη.

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνονται αναλυτικά όσα επεξηγήσαμε παραπάνω για τον συνδυασμό παραμέτρων:

- $R=900$
- $H_k=-15000$
- $s_1=4 / s_2=-4$
- $e_2=7$

V	R	H <sub>k</sub>	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	e <sub>2</sub>	CH_Driver	hidden length	SSD demand	hidden length / SSD demand ( % )
130	900	-15000	4	-4	7	1100	23.00	238.77	9.63%
130	900	-15000	4	-4	7	1200	22.00	241.65	9.10%
130	900	-15000	4	-4	7	1300	21.00	244.62	8.58%
130	900	-15000	4	-4	7	1400	19.00	247.70	7.67%
130	900	-15000	4	-4	7	1500	19.00	250.89	7.57%
130	900	-15000	4	-4	7	1600	18.00	254.21	7.08%
130	900	-15000	4	-4	7	1700	19.00	257.65	7.37%
130	900	-15000	4	-4	7	1800	18.00	261.23	6.89%
130	900	-15000	4	-4	7	1900	18.00	264.95	6.79%
130	900	-15000	4	-4	7	2000	15.00	268.43	5.59%
130	900	-15000	4	-4	7	2100	0.00	270.08	0.00%
130	900	-15000	4	-4	7	2200	0.00	270.19	0.00%
								<b>AVERAGE</b>	<b>6.36%</b>

**Εικόνα 5-5: Προβληματικό μήκος ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση ανά διατομή (R=900, H<sub>k</sub>=-15000, s<sub>1</sub>=4 / s<sub>2</sub>=-4, e<sub>2</sub>=7)**

Έπειτα, παρατίθεται ένα ακόμη παράδειγμα συνδυασμού δεδομένων ( $R=2000$ ,  $H_k=-30000$ ,  $s_1=4$  /  $s_2=-4$ ,  $e_2=3.5$ ), καθώς και τα αποτελέσματά του (μέσος όρος ποσοστού hidden length /  $SSD_{demand}$  )

V	R	Hk	s1	s2	e2	CH_Driver	hidden length	SSD demand	hidden length / SSD demand ( % )
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2400	97.00	234.03	41.45%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2500	100.00	235.36	42.49%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2600	103.00	236.72	43.51%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2700	105.00	238.10	44.10%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2800	109.00	239.50	45.51%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	2900	112.00	240.92	46.49%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3000	115.00	242.37	47.45%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3100	118.00	243.85	48.39%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3200	121.00	245.35	49.32%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3300	124.00	246.88	50.23%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3400	128.00	248.43	51.52%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3500	130.00	250.02	52.00%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3600	133.00	251.63	52.86%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3700	136.00	253.27	53.70%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3800	140.00	254.95	54.91%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	3900	143.00	256.65	55.72%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4000	145.00	258.39	56.12%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4100	148.00	260.16	56.89%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4200	152.00	261.96	58.02%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4300	155.00	263.80	58.76%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4400	158.00	265.68	59.47%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4500	161.00	267.59	60.17%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4600	89.00	269.02	33.08%
130	-2000	-30000	4	-4	3.5	4700	0.00	269.47	0.00%
								<b>AVERAGE</b>	<b>48.42%</b>

**Εικόνα 5-6: Προβληματικό μήκος ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση ανά διατομή ( $R=2000$ ,  $H_k=-30000$ ,  $s_1=4$  /  $s_2=-4$ ,  $e_2=3.5$ )**

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εύρεση όλων των σταθμισμένων μέσων όρων των ποσοστών του προβληματικού μήκους ορατότητας που έχει ο οδηγός στην αριστερόστροφη κυρτή καμπύλη για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς παραμέτρων, οι οποίοι είναι συνολικά:

**7** ακτίνες R x **4** ακτίνες κυρτής καμπύλης Hk x **16** συνδυασμοί κλίσεων  $s_1/s_2$  x **1** επίκλιση  $e_2$  = **448** συνδυασμοί

Άρα, έχουμε 448 ποσοστά, τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν σε θερμικά διαγράμματα όπως φαίνεται στο παρακάτω, που συμπεριλαμβάνει τα ποσοστά που δείξαμε στις παραπάνω 2 εικόνες ( 6.36% και 48.42% ).

	<b>s1=4/s2=-4</b>			
<b>3500</b>	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>3000</b>	7.92%	7.77%	7.41%	6.96%
<b>2500</b>	32.49%	32.13%	31.58%	31.23%
<b>2000</b>	50.24%	50.61%	50.78%	48.42%
<b>1500</b>	62.32%	61.61%	51.63%	38.01%
<b>1000</b>	11.77%	6.08%	0.00%	0.00%
<b>900</b>	6.36%	0.75%	0.00%	0.00%
<b>R/Hk</b>	<b>-15000</b>	<b>-20000</b>	<b>-25000</b>	<b>-30000</b>

**Γράφημα 5-1: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση**

Το παραπάνω θερμικό διάγραμμα δείχνει όλα τα ποσοστά του λόγου hidden length /  $SSD_{demand}$  για τις διάφορες τιμές R και Hk, αλλά για έναν συνδυασμό κατά μήκος κλίσεων. Επειδή, έχουμε 16 πιθανούς συνδυασμούς κλίσεων προκύπτουν 16 παρόμοια θερμικά διαγράμματα. Στην συνέχεια, αυτά τα 16 θερμικά διαγράμματα ενοποιήθηκαν και προέκυψαν 4 τελικά θερμικά διαγράμματα, ένα για κάθε διαφορετική ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης Hk.

Συγκεκριμένα, τα ποσοστά κατανεμήθηκαν στα διαγράμματα με μια κλίμακα χρώματος από το πράσινο μέχρι το κόκκινο. Το πράσινο δίνεται στις μηδενικές και χαμηλές τιμές των ποσοστών, οι οποίες υποδηλώνουν ότι υπάρχει επάρκεια ορατότητας για στάση στην καμπύλη. Το κόκκινο δίνεται στις μεγάλες τιμές των ποσοστών συγκεκριμένα από 40% και άνω, οι οποίες υποδηλώνουν ότι υπάρχουν μεγάλοι μήκους περιοχές στην αριστερόστροφη καμπύλη όπου ο οδηγός δεν έχει ορατότητα.

Αναλυτικά το εύρος των τιμών των ποσοστών και των χρωμάτων που αντιστοιχούν σε αυτά είναι:

- Πράσινο: 0 - 10 %
- Κίτρινο: 10 – 20 %
- Πορτοκαλί: 20 – 40 %
- Κόκκινο: 40 % και άνω

Παρακάτω παρουσιάζονται τα 4 τελικά θερμικά διαγράμματα.

R																
3500	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.90%	2.33%	2.00%	2.72%	4.60%	5.52%	7.12%	8.75%	7.92%	8.93%	11.12%	13.35%
2500	24.61%	26.32%	25.86%	20.48%	27.24%	29.64%	30.53%	29.30%	30.23%	31.48%	33.46%	34.02%	32.49%	34.53%	34.96%	36.91%
2000	44.08%	43.81%	41.73%	30.67%	45.14%	46.22%	45.89%	44.26%	49.41%	47.22%	48.09%	47.78%	50.24%	51.77%	49.13%	50.02%
1500	55.58%	55.15%	42.15%	36.64%	57.05%	56.70%	56.23%	43.54%	56.58%	58.20%	57.84%	57.34%	62.32%	57.87%	59.46%	58.92%
1000	11.37%	11.17%	7.64%	5.42%	11.17%	10.47%	10.23%	7.02%	10.92%	10.29%	9.53%	9.44%	11.77%	9.88%	9.44%	9.01%
900	7.01%	5.25%	4.75%	3.45%	6.86%	6.48%	4.76%	4.34%	6.75%	6.28%	5.95%	4.60%	6.36%	6.15%	5.90%	5.72%
s1 / s2	s1=4 / s2=-1	s1=3 / s2=-1	s1=2 / s2=-1	s1=1 / s2=-1	s1=4 / s2=-2	s1=3 / s2=-2	s1=2 / s2=-2	s1=1 / s2=-2	s1=4 / s2=-3	s1=3 / s2=-3	s1=2 / s2=-3	s1=1 / s2=-3	s1=4 / s2=-4	s1=3 / s2=-4	s1=2 / s2=-4	s1=1 / s2=-4
Hk	-15000															

**Γράφημα 5-2: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για Hk=-15000m**

R																
3500	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.52%	1.83%	2.28%	3.04%	4.54%	5.30%	6.36%	7.95%	7.77%	8.88%	10.36%	12.44%
2500	24.58%	26.92%	28.00%	27.01%	27.39%	29.82%	31.36%	31.81%	29.90%	32.34%	34.07%	35.10%	32.13%	34.54%	36.35%	37.62%
2000	45.33%	45.13%	43.82%	39.81%	47.32%	47.55%	47.18%	45.62%	49.06%	49.55%	49.65%	49.10%	50.61%	51.25%	51.61%	51.57%
1500	56.60%	55.30%	52.66%	46.52%	58.61%	57.97%	56.66%	53.90%	60.23%	59.97%	59.31%	57.91%	61.61%	61.58%	61.31%	60.58%
1000	6.47%	5.71%	4.91%	3.80%	6.31%	5.67%	5.05%	4.36%	6.20%	5.65%	5.16%	4.66%	6.08%	5.59%	5.17%	4.78%
900	0.70%	0.46%	0.20%	0.10%	0.72%	0.53%	0.35%	0.33%	0.73%	0.57%	0.43%	0.44%	0.75%	0.62%	0.52%	0.54%
s1 / s2	s1=4 / s2=-1	s1=3 / s2=-1	s1=2 / s2=-1	s1=1 / s2=-1	s1=4 / s2=-2	s1=3 / s2=-2	s1=2 / s2=-2	s1=1 / s2=-2	s1=4 / s2=-3	s1=3 / s2=-3	s1=2 / s2=-3	s1=1 / s2=-3	s1=4 / s2=-4	s1=3 / s2=-4	s1=2 / s2=-4	s1=1 / s2=-4
Hk	-20000															

**Γράφημα 5-3: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για Hk=-20000m**

R																
3500	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.75%	1.39%	2.06%	1.80%	3.81%	4.30%	5.75%	7.31%	7.41%	7.74%	8.81%	11.86%
2500	24.42%	26.72%	26.56%	21.40%	25.51%	29.97%	31.15%	30.46%	28.43%	30.24%	34.38%	35.06%	31.58%	33.38%	34.31%	38.26%
2000	46.17%	45.65%	42.81%	32.76%	45.05%	48.44%	47.72%	44.82%	48.34%	47.13%	50.52%	49.74%	50.78%	50.67%	49.21%	52.56%
1500	43.49%	46.21%	41.42%	33.01%	45.99%	45.42%	48.19%	43.56%	49.34%	47.98%	47.39%	50.20%	51.63%	51.59%	49.94%	49.17%
1000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
900	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
s1 / s2	s1=4 / s2=-1	s1=3 / s2=-1	s1=2 / s2=-1	s1=1 / s2=-1	s1=4 / s2=-2	s1=3 / s2=-2	s1=2 / s2=-2	s1=1 / s2=-2	s1=4 / s2=-3	s1=3 / s2=-3	s1=2 / s2=-3	s1=1 / s2=-3	s1=4 / s2=-4	s1=3 / s2=-4	s1=2 / s2=-4	s1=1 / s2=-4
Hk	-25000															

**Γράφημα 5-4: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για Hk=-25000m**

R																
3500	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
3000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.23%	1.06%	1.84%	1.77%	3.62%	4.58%	5.07%	6.87%	6.96%	7.63%	9.27%	10.69%
2500	22.77%	26.33%	25.53%	27.40%	26.25%	28.05%	30.95%	29.27%	28.40%	31.71%	32.30%	34.94%	31.23%	33.22%	36.02%	36.02%
2000	41.21%	42.93%	39.02%	38.98%	44.95%	43.60%	45.46%	40.96%	45.45%	47.46%	45.83%	47.76%	48.42%	47.84%	49.92%	47.96%
1500	30.45%	32.02%	30.67%	29.79%	33.56%	34.07%	35.75%	33.52%	35.22%	37.50%	37.26%	39.12%	38.01%	38.73%	40.96%	40.25%
1000	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
900	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
s1 / s2	s1=4 / s2=-1	s1=3 / s2=-1	s1=2 / s2=-1	s1=1 / s2=-1	s1=4 / s2=-2	s1=3 / s2=-2	s1=2 / s2=-2	s1=1 / s2=-2	s1=4 / s2=-3	s1=3 / s2=-3	s1=2 / s2=-3	s1=1 / s2=-3	s1=4 / s2=-4	s1=3 / s2=-4	s1=2 / s2=-4	s1=1 / s2=-4
Hk	-30000															

**Γράφημα 5-5: Θερμικό διάγραμμα ποσοστού απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση για Hk=-30000m**



## 5.4 Στατιστική ανάλυση

### 5.4.1 Εισαγωγή στοιχείων στην R

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel, το οποίο περιέχει τα δεδομένα όλων των εξεταζόμενων συνδυασμών για τον υπολογισμό του ποσοστού προβληματικής ορατότητας, όπως η οριζοντιογραφική ακτίνα R, η κατακόρυφη ακτίνα Hκ, η επίκλιση στην καμπύλη e, καθώς και οι κατά μήκος κλίσεις  $s_1$  και  $s_2$ . Τα δεδομένα αυτά αφορούν την εξεταζόμενη ταχύτητα  $V=130\text{km/h}$ .

Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή του αρχείου Excel στην R-studio. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση της εντολής `readxl`, η οποία δίνει τη δυνατότητα αναγνώρισης αρχείων τύπου `.xlsx`. Πρώτα γίνεται η εγκατάσταση του πακέτου `read excel` με την εντολή `install.packages(readxl)` και έπειτα με την χρήση της πλέον εγκατεστημένης εντολής `read_excel` και δίνοντας το κατάλληλο `path` εισάγεται το excel στην πλατφόρμα της R. Το `path` καθώς και η εγκατάσταση της εντολής φαίνονται στην Εικόνα 5.7.

```
Analyzed_File <- read_excel("C:/Users/USER/Desktop/data_final.xlsx")  
attach(Analyzed_File)
```

Εικόνα 5-7: Μορφή κώδικα για εντολή `read_excel`

Με τον τρόπο αυτό, το αρχείο Excel με τα δεδομένα, το οποίο αποτελείται από 448 γραμμές και 10 στήλες, βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R και η ονομασία του για την παρούσα διπλωματική ορίστηκε ως «`data_final`». Ένα ενδεικτικό τμήμα του πίνακα φαίνεται στην Εικόνα 5.8.

	V	R	Hk	s1	s2	e2	fpp
1	130	900	15000	1	-4	7.0	0.0572231385
2	130	900	15000	1	-3	7.0	0.0459752992
3	130	900	15000	1	-2	7.0	0.0434268629
4	130	900	15000	1	-1	7.0	0.0344541116
5	130	900	15000	2	-4	7.0	0.0589868985
6	130	900	15000	2	-3	7.0	0.0595180765
7	130	900	15000	2	-2	7.0	0.0475673904
8	130	900	15000	2	-1	7.0	0.0475183736
9	130	900	15000	3	-4	7.0	0.0615214733
10	130	900	15000	3	-3	7.0	0.0628363619
11	130	900	15000	3	-2	7.0	0.0647616005

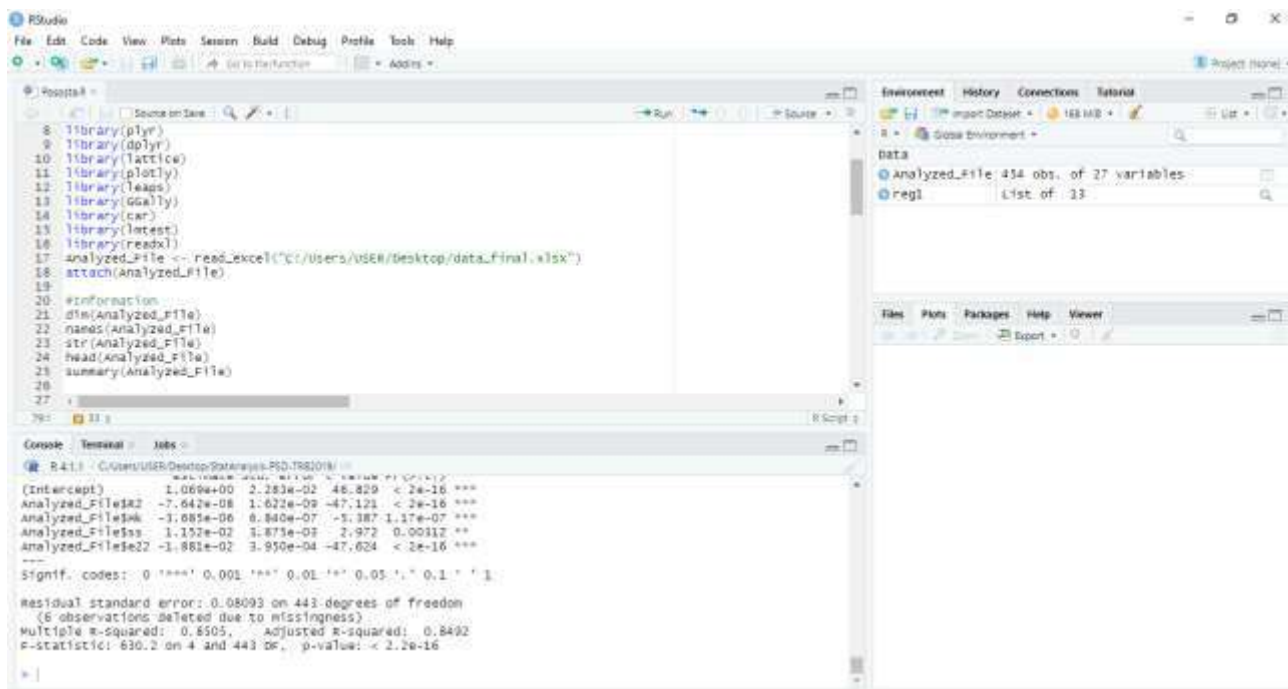
**Εικόνα 5-8: Ενδεικτικό τμήμα πίνακα data\_final**

Το αντικείμενο της στατιστικής ανάλυσης είναι η παροχή ενός εργαλείου στον μελετητή προκειμένου να γνωρίζει εξ' αρχής το ποσοστό του μήκους απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση (fpp) και αντίστοιχα να παρεμβαίνει στη μελέτη.

Οι παρεμβάσεις αφορούν είτε στην επιλογή άλλων συνδυασμών στις παραμέτρους H, R ή αποφυγή ταυτόχρονης εφαρμογής κυκλικού τόξου στην οριζοντιογραφία με κυρτό τόξο συναρμογής στη μηκοτομή.

#### 5.4.2 Κώδικας

Με το αρχείο excel να βρίσκεται πλέον στην πλατφόρμα της R-studio, επόμενο βήμα είναι η σύνταξη του κώδικα με σκοπό τη δημιουργία γραμμικών μοντέλων και διαφόρων διαγραμμάτων για την καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία των μεταβλητών. Η μορφή του κώδικα φαίνεται στην Εικόνα 5.9.



Εικόνα 5-9: Πλατφόρμα R-studio

Σε πρώτο στάδιο γίνεται χρήση της εντολής `library()` στο πάνω αριστερά μέρος της Εικόνας 5.9, στο οποίο γράφεται ο κώδικας. Η εντολή `library(όνομα πακέτου)` ανακαλεί ήδη εγκατεστημένα υποπρογράμματα της R τα οποία είναι απαραίτητα για την δημιουργία του τελικού κώδικα. Κάποια από τα σημαντικότερα υποπρογράμματα παρατίθενται παρακάτω:

- `library(readxl)`: Δίνει τη δυνατότητα να μπορούν να εισαχθούν στη πλατφόρμα αρχεία μορφής `xlsx`
- `library(ggplot2)` : Δυνατότητα δημιουργίας διαγραμμάτων για καλύτερη κατανόηση και εξαγωγή συμπερασμάτων για τα δεδομένα
- `library(lmtest)`: Δυνατότητα δημιουργίας και ποιοτικού ελέγχου γραμμικών μοντέλων.

Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν καινούριες μεταβλητές με σκοπό να επιτευχθεί καλύτερο ποιοτικά μοντέλο. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνα των ήδη υπαρχόντων δεδομένων καθώς και ο λόγος των κλίσεων  $s1/s2$ . Ο κώδικας με τον οποίο επιτεύχθηκε αυτό φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 5.10.

```

Analyzed_File$fpp <- log10(Analyzed_File$fpp)

Analyzed_File$V2 <- (Analyzed_File$V)**2
Analyzed_File$R2 <- (Analyzed_File$R)**2
Analyzed_File$Hk2 <- (Analyzed_File$Hk)**2
Analyzed_File$s12 <- (Analyzed_File$s1)**2
Analyzed_File$s22 <- (Analyzed_File$s2)**2
Analyzed_File$ss <- (Analyzed_File$s1)/(Analyzed_File$s2)
Analyzed_File$e22 <- (Analyzed_File$e2)**2
Analyzed_File$hkr <- (Analyzed_File$Hk)*(Analyzed_File$R)

```

Εικόνα 5-10: Δημιουργία μεταβλητών στην R-studio

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας τελικός πίνακας

	fpp	V	R	s1	s2	e2	R2	Hk	ss	e22
1	0.0572231385	130	900	1	-4	7.0	810000	15000	-0.2500000	49.00
2	0.0459752992	130	900	1	-3	7.0	810000	15000	-0.3333333	49.00
3	0.0434268629	130	900	1	-2	7.0	810000	15000	-0.5000000	49.00
4	0.0344541116	130	900	1	-1	7.0	810000	15000	-1.0000000	49.00
5	0.0589868985	130	900	2	-4	7.0	810000	15000	-0.5000000	49.00
6	0.0595180765	130	900	2	-3	7.0	810000	15000	-0.6666667	49.00
7	0.0475673904	130	900	2	-2	7.0	810000	15000	-1.0000000	49.00
8	0.0475183736	130	900	2	-1	7.0	810000	15000	-2.0000000	49.00
9	0.0615214733	130	900	3	-4	7.0	810000	15000	-0.7500000	49.00
10	0.0628363619	130	900	3	-3	7.0	810000	15000	-1.0000000	49.00
11	0.0647616005	130	900	3	-2	7.0	810000	15000	-1.5000000	49.00
12	0.0525472463	130	900	3	-1	7.0	810000	15000	-3.0000000	49.00
13	0.0635771077	130	900	4	-4	7.0	810000	15000	-1.0000000	49.00
14	0.0675431896	130	900	4	-3	7.0	810000	15000	-1.3333333	49.00
15	0.0686037483	130	900	4	-2	7.0	810000	15000	-2.0000000	49.00
16	0.0700750427	130	900	4	-1	7.0	810000	15000	-4.0000000	49.00
17	0.0054015710	130	900	1	-4	7.0	810000	20000	-0.2500000	49.00

Εικόνα 5-11: Ενδεικτικό τμήμα τελικού πίνακα δεδομένων

Τέλος, ως τελευταίο κομμάτι του κώδικα χρησιμοποιείται η εντολή `lm()` εντός της οποίας δημιουργείται το μοντέλο με εξαρτημένη μεταβλητή ποσοστό προβληματικής ορατότητας. Η μορφή της εντολής φαίνεται στην Εικόνα 5.12.

```
reg1 <-lm(Analyzed_File$fpp ~ Analyzed_File$R2 + Analyzed_File$Hk + Analyzed_File$ss + Analyzed_File$e22)
names(reg1)
abline(reg1)
summary(reg1)
```

Εικόνα 5-12: Κώδικας δημιουργίας τελικού μοντέλου

Αφού γραφτεί η εντολή και τοποθετηθούν οι μεταβλητές, χρησιμοποιώντας την εντολή `summary()`, εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Εικόνας 5.13.

Regression Statistics								
Multiple R	0.92223991							
R Square	0.850526451							
Adjusted R Square	0.849176803							
Standard Error	0.080934974							
Observations	448							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	4	16.51199944	4.12799986	630.1837704	2.7756E-181			
Residual	443	2.901858195	0.00655047					
Total	447	19.41385764						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	1.069052219	0.022828859	46.82898106	1.1454E-173	1.024185899	1.113918539	1.024185899	1.113918539
R2	-7.64215E-08	1.62181E-09	-47.12120026	1.1529E-174	-7.96089E-08	-7.32341E-08	-7.96089E-08	-7.32341E-08
Hk	-3.68465E-06	6.84025E-07	-5.386716313	1.16738E-07	-5.02899E-06	-2.34031E-06	-5.02899E-06	-2.34031E-06
ss	0.011516835	0.003874817	2.972226559	0.003117572	0.003901527	0.019132143	0.003901527	0.019132143
e22	-0.018811875	0.000395007	-47.62419832	2.2647E-176	-0.019588195	-0.018035556	-0.019588195	-0.018035556

Εικόνα 5-13: Αποτελέσματα εντολής `lm`, τελικό μοντέλο

### 5.4.3 Στατιστικά ποιοτικό μοντέλο

Για να κριθεί ένα μοντέλο κατάλληλο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να είναι στατιστικά σημαντικό. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσω βασικών παραμέτρων που πρέπει να ικανοποιούνται. Η πιο βασική παράμετρος είναι αυτή του  $R^2$ .

Όπως έχει προαναφερθεί, η τιμή του  $R^2$  προκύπτει από τη χρήση της εντολής `lm()`. Η επιλογή του μοντέλου συνδέεται άμεσα με το πόσο κοντά είναι η τιμή του  $R^2$  στο 1.

Επιπρόσθετα, εξετάζονται και οι τιμές των t-value και p-value όπου η πρώτη πρέπει κατά απόλυτη τιμή να ξεπερνάει το 1,96 ( $|t| > 1,96$ ) ενώ η τελευταία πρέπει να είναι μικρότερη του 0,05.

Με βάση αυτά έγινε η επιλογή των τελικού γραμμικού μοντέλου που παρουσιάζεται παρακάτω.

### 5.4.4 Αποτελέσματα

Στο υποκεφάλαιο αυτό, παρατίθενται η τελική μορφή του στατιστικού μοντέλου και η επεξήγηση αυτού.

Η επιλογή των μεταβλητών για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου έγινε μετά από πλήθος δοκιμών έτσι ώστε να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών.

Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η τελική μορφή του μοντέλου για τον προσδιορισμό του ποσοστού επιρροής του hidden length στο απαιτούμενο SSD (**fpp**).

**Τελική μορφή μοντέλου**

$$fpp = 1,069 - 7,64 \cdot 10^{-8} \cdot R^2 - 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot Hk + 0,011 \cdot \frac{s1}{s2} - 0,018 \cdot e2^2$$

$$R^2 = 0.8505$$

**Προσαρμοσμένο  $R^2 = 0.8491$** 

- **fpp**: Ποσοστό του μήκους απόκρυψης της καμπύλης ως προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
- **R**: Ακτίνα καμπύλης οριζοντιογραφίας
- **Hk**: Ακτίνα κυρτής καμπύλης μηκοτομής
- **s1/ s2** : Συνδυασμός κατά μήκους κλίσης ανωφέρειας s1 με κατά μήκος κλίση κατωφέρειας s2
- **e2**: Επίκλιση στο καμπύλο τμήμα της οδού

Το βασικότερο συμπέρασμα της στατιστικής ανάλυσης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο είναι σε θέση να προβλέπει το ποσοστό του προβληματικού μήκους ορατότητας και κατά συνέπεια τις περιοχές μειωμένης ορατότητας. Λόγω της μεγάλης τιμής  $R^2$  (84,91%) το μοντέλο αυτό κρίνεται ικανοποιητικό. Επισημαίνεται ακόμα ότι οι εξαρτημένες μεταβλητές του μοντέλου, καθώς και τα πρόσημα των συντελεστών βί έχουν φυσική σημασία και είναι σε συμφωνία με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, αφού από τα πρόσημα των συντελεστών είναι φανερό πως η αύξηση της οριζοντιογραφικής ακτίνας, της κατακόρυφης ακτίνας και της επίκλισης στην καμπύλη μειώνει την πραγματοποιηθείσα ορατότητα, ενώ ο λόγος των δύο κατά μήκος κλίσεων την αυξάνει, αφού έχουν εισαχθεί στο μοντέλο με την αλγεβρική τους τιμή.

Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι πραγματοποιήθηκε έλεγχος συσχέτισης των επιμέρους ανεξάρτητων μεταβλητών του μοντέλου (colinearity test) και οι ανεξάρτητες μεταβλητές παρουσίασαν χαμηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει το πραγματοποιούμενο μοντέλο ακόμα πιο ακριβές.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο τη διερεύνηση του μήκους ορατότητας για στάση σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες, για πληθώρα συνδυασμών οριζοντιογραφικής ακτίνας, ακτίνας μηκοτομής, κατά μήκος κλίσεων και επίκλισης στην καμπύλη, λαμβάνοντας υπόψιν τις οριακές τιμές των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ – Χ). Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί πως πραγματοποιήθηκε εκτενής διερεύνηση του αποκρουπτόμενου μήκους κατά μήκος της αριστερόστροφης κυρτής καμπύλης σε αυτές τις δυσμενείς τιμές, λόγω της κεντρικής διαμόρφωσης της οδού.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το σύνολο των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συνοψίζονται στα εξής:

1. Οι αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες παρουσιάζουν – στους περισσότερους συνδυασμούς – προβλήματα στην ορατότητα για στάση, ιδιαίτερα σε οδούς με αυξημένες ταχύτητες (>100 km/h).
2. Σε αντίθεση με την υφιστάμενη πρακτική όπου ενθαρρύνεται η εφαρμογή κυκλικού τόξου στην οριζοντιογραφία εντός της κυρτής καμπύλης στη μηκοτομή σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, η παρούσα έρευνα έδειξε ότι αυτή η πρακτική ΔΕΝ ισχύει σε οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα.
3. Πραγματοποιήθηκε ποσοτικοποίηση του περιθωρίου ορατότητας για στάση, αναφορικά με την κίνηση των οχημάτων σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες.
4. Αξιολογήθηκε το περιθώριο ορατότητας για στάση, με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις:
  - i. Με τη δημιουργία και χρήση Θερμικών Διαγραμμάτων.



- ii. Με την κατασκευή ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, με υψηλούς συντελεστές ακρίβειας.
5. Οι παραπάνω δύο μέθοδοι είναι σε θέση να αξιολογήσουν ήδη υφιστάμενες καμπύλες, είτε να προβλέψουν την επάρκεια ορατότητας για πληθώρα συνδυασμών γεωμετρικών στοιχείων της οδού.

### **ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ**

Στη Διπλωματική αυτή εργασία γίνεται μία προσπάθεια διερεύνησης του μήκους ορατότητας για στάση σε αριστερόστροφες κυρτές καμπύλες με σταθερή ταχύτητα τη μέγιστη επιτρεπόμενη, η οποία είναι ίση με 130 km/h. Είναι ένα αρχικό και σημαντικό στάδιο το οποίο έχει πολλά περιθώρια για περαιτέρω μελέτη, όπως τα παρακάτω:

1. Διερεύνηση Ορατότητας σε εισόδου τεχνικών έργων, όπου η ανεπάρκεια ορατότητας είναι σύνηθες φαινόμενο (σήραγγες, γέφυρες, κλπ).
2. Εξέταση της ορατότητας και για άλλους τύπους οχημάτων (SUV, κλπ), καθώς και για σύγχρονα οχήματα με ABS, τα οποία έχουν υψηλότερη επιβράδυνση και διαφορετικές τιμές συντελεστών τριβής λόγω των ελαστικών που διαθέτουν.
3. Εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας:
  - i. κατά τη διάρκεια οδήγησης σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού (νυχτερινή οδήγηση).
  - ii. κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων.
4. Διερεύνηση περιθωρίων ορατότητας για βαρέα οχήματα (φορτηγά, νταλίκες, κλπ), κυρίως για νυχτερινή οδήγηση, αφού διαθέτουν υψηλότερο κέντρο βάρους και καλύτερο εξοπλισμό φωτισμού, αλλά μεγαλύτερα μήκη πέδησης.
5. Συσχέτιση και σύγκριση με πραγματικά ατυχήματα που έχουν πραγματοποιηθεί στα εξεταζόμενα οδικά τμήματα.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Κανελλαΐδης Γ., Φ. Μερτζάνης, Γ. Γλαρός, και Σ. Βαρδάκη, 2017. “Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών”, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
2. Μαυρομάτης Σ., 2018, Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθηνά Ελλάδα.
3. ΥΠΕΧΩΔΕ - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001, Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα Ελλάδα.
4. Sanchez, E. Three-Dimensional Analysis of Sight Distance on Interchange Connectors (1994). In Transportation Research Record 1445, TRB, National Research Council, Washington, DC., pp. 101–108.
5. Hassan, Y., Easa, S. M. and Abd El Halim, A.O. Analytical Model for Sight Distance Analysis on Three-Dimensional Highway Alignments (1996). Transportation Research Record, Vol. 1523.
6. Hassan Y. & Easa S., 1998, *Design Considerations of Sight Distance Red Zones on Crest Curves*, Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Volume 124, No. 4.
7. Ismail K. & Sayed T., 2007, New algorithm for calculating 3D available sight distance, Journal of Transportation Engineering, Vol. 133, No.10, pp. 572-581.
8. Moreno Chou, A., Perez, V., Garcia, A. and Rojas M. Evaluation of 3-D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two – Lane Roads (2014). Paper published on The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol. IX, No2.
9. Mavromatis S. & Pagounis V. & Palaskas S. & Maroudas D., 2009, Stopping Sight Distance Assessment via 3-D Road Scanning, 4th National Conference in Highway Safety, Athens Greece.
10. Kim, D. and Lovell D. A Procedure for 3-D Sight Distance Evaluation Using Thin Plate Splines (2011). The 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

11. Lovell D. & Jong J.C. & Chang P., 2001, *Improvements to Sight Distance Algorithm*, Journal of Transportation Engineering, Vol. 127, No.4, pp. 283-288.
12. Jha, M., Kumar Karri, G.A. and Kuhn W. A New 3-Dimensional Highway Design Methodology for Sight Distance Measurement (2011). The 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.