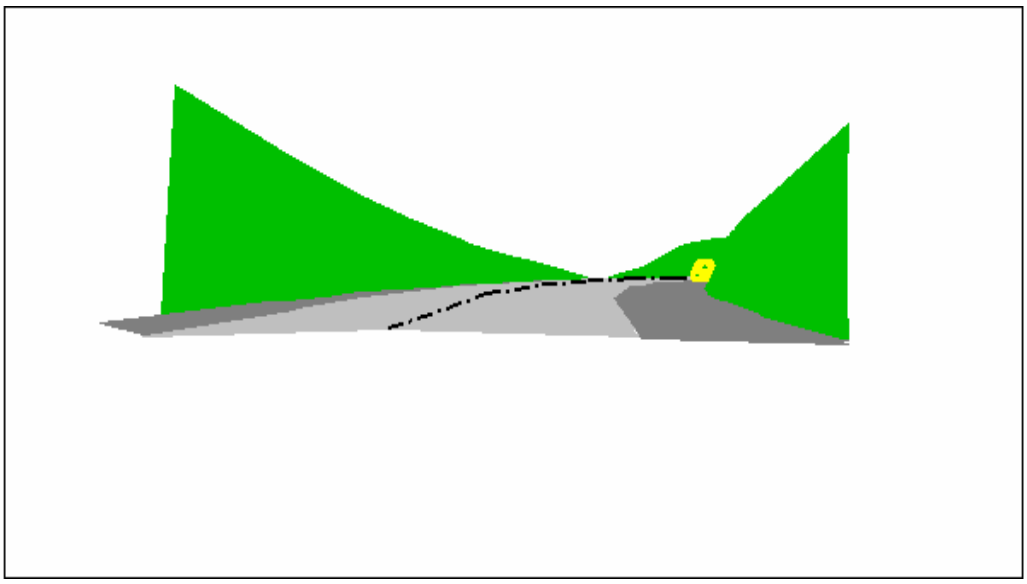
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ. ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Φ. ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΔΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ – ΒΙΚΤΩΡΙΑ Ι. ΧΑΤΖΗ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η επιθυμία ενασχόλησης με τον κλάδο της Οδοποιίας και με το λογισμικό οδοποιίας H8, δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του 10^{ου} εξαμήνου της φοίτησής μου στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, στο πλαίσιο της παρακολούθησης του μαθήματος "Ειδικά Θέματα Σχεδιασμού Οδών" με διδάσκοντα τον κ. Φ. Μερτζάνη. Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος της Διπλωματικής Εργασίας προέκυψε κατόπιν συζητήσεως με τον κ. Μερτζάνη και με τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γ. Κανελλαΐδη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κανελλαΐδη για την ανάθεση αλλά και την επίβλεψη της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο αλλά και για τις πολύτιμες παρεμβάσεις του. Παράλληλα, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον κ. Μερτζάνη για την παροχή πολύτιμου υλικού, για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και την υπομονή του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών για τις γνώσεις και τις ευκαιρίες που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Ε.Μ.Π., καθώς και όλους τους δικούς μου ανθρώπους που με στηρίζουν, υλικά και ηθικά, όλα αυτά τα χρόνια.

Ιούλιος 2010
Βιβιάνα Χατζή

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ..... **i**
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ..... **iii**
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ ..... **vi**
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ..... **vi**

ΣΥΝΟΨΗ **1**

ABSTRACT **2**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **3**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ **5**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ **8**
2.1 Γενικά 8
2.2 Χάραξη των οδών στο χώρο και αισθητική 9
2.3 Γενικές αρχές χάραξης στο χώρο 10
2.4 Επιρροή της οριζοντιογραφίας στην προοπτική εικόνα της οδού 14
2.4.1 Οριζοντιογραφική ευθυγραμμία 14
2.4.2 Οριζοντιογραφική καμπύλη 15
2.5 Επιρροή της μηκοτομής στην προοπτική εικόνα της οδού 17
2.5.1 Κατά μήκος κλίση 17
2.5.2 Κοίλωμα 19
2.5.3 Κύρτωμα 21
2.5.4 Αλληλουχία στοιχείων στη μηκοτομή 21
2.6 Επιρροή του συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής στην προοπτική εικόνα της οδού . 23
2.6.1 Σχέση μεγεθών στοιχείων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής 23
2.6.2 Σύμπτωση σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής 23
2.6.3 Επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κύρτωμα 25
2.6.4 Επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κοίλωμα μηκοτομής 26
2.6.5 Φαινόμενο άλματος 29
2.6.6 Μέγιστος αριθμός θλάσεων σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή 29
2.6.7 Χάραξη στο χώρο και ισόπεδοι κόμβοι – τεχνικά έργα 30
2.7 Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση 31
2.8 Υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση 34
2.8.1 Γενικά 34
2.8.2 Ύψη οφθαλμών και εμποδίου 35
2.8.3 Μήκος ορατότητας για στάση σε καμπύλη οριζοντιογραφίας 36
2.8.4 Μήκος ορατότητας για στάση σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής 39
2.8.5 Μήκος ορατότητας για στάση σε κοίλες καμπύλες μηκοτομής 42
2.9 Σύνοψη – Συμπεράσματα 43
2.10 Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών μοντέλων και νέων τεχνολογιών για την προοπτική απεικόνιση των οδών 45

2.11 Συνοπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων προοπτικής απεικόνισης οδών άλλων προγραμμάτων οδοποιίας ευρείας χρήσης 48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ 52
3.1 Γενικά 52
3.2 Ανάπτυξη επιλεχθείσας μεθοδολογίας για τη σύνταξη του νέου λογισμικού 52
3.3 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες του νέου προγράμματος 60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 64
4.1 Πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας H8 64
4.1.1 Περιβάλλον εργασίας 64
4.1.2 Εγκατάσταση και εκκίνηση 67
4.1.3 Εισαγωγή δεδομένων 67
4.1.4 Προγράμματα 68
4.1.5 Αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων και παραγόμενα σχέδια 70
4.1.6 Διαγραφή αρχείων 71
4.2 Πρόγραμμα “Προοπτικό” 72
4.2.1 Γενικά 72
4.2.2 Λειτουργία του προγράμματος “Προοπτικό” 72
4.2.3 Επεξήγηση του αλγόριθμου του προγράμματος “Προοπτικό” 75
4.2.4 Υπορουτίνα foto 79
4.2.5 Υπορουτίνα clip 80
4.2.6 Υπορουτίνα edge 82
4.3 Πρόγραμμα “Ταχύτητες” 83
4.3.1 Γενικά 83
4.3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο του προγράμματος Ταχύτητες 83
4.3.3 Λειτουργία του προγράμματος “Ταχύτητες” 90
4.3.4 Επεξήγηση του αλγόριθμου του προγράμματος “Ταχύτητες” 92
4.4 Πρόγραμμα “Ορατότητες” 99
4.4.1 Γενικά 99
4.4.2 Λειτουργία του προγράμματος “Ορατότητες” 100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ 107
5.1 Εφαρμογή σε οδικά τμήματα που αντιστοιχούν σε αποφευκτέες και επιθυμητές περιπτώσεις τρισδιάστατης χάραξης που επισημαίνονται στους κανονισμούς 107
5.2 Εφαρμογή σε πραγματική υπό μελέτη οδό 124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 141
6.1 Συμπεράσματα 141
6.2 Προτάσεις 143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ 145

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική ευθυγραμμία) [16] 12
Σχήμα 2-2: Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική καμπύλη) [16] 13
Σχήμα 2-3: Ευθυγραμμία α) με σταθερή κατά μήκος κλίση και β) σε κοίλωμα μεγάλης ακτίνας [25] 14
Σχήμα 2-4: α) Αποτυχημένος, β) Αποδεκτός και γ) ορθός συνδυασμός ευθυγραμμιών και καμπυλών [26] 16
Σχήμα2-5: Αλληλοδιαδοχή μικρών καμπυλών [4] 16
Σχήμα 2-6: Σύγκριση οριζοντιογραφικών καμπυλών μικρής και μεγάλης ακτίνας. Η μικρή δίνει την εντύπωση έντονης κάμψης [4] 16
Σχήμα 2-7: Η σύνδεση δύο ευθυγραμμιών με κυκλικό τόξο πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακτίνα [26] 17
Σχήμα 2-8: Μηκοτομή με τμήμα της οδού να χάνεται από το οπτικό πεδίο (βύθισμα) [4] 17
Σχήμα 2-9: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία και πρόταση εναλλακτικής μηκοτομής για αντιμετώπιση του προβλήματος [30] 18
Σχήμα 2-10: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική καμπύλη και πρόταση εναλλακτικής μηκοτομής για αντιμετώπιση του προβλήματος [30] 18
Σχήμα 2-11: Τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου του βυθίσματος [4]. 19
Σχήμα 2-12: Οπτικό κύρτωμα λόγω τεταμένης μηκοτομής [26] 19
Σχήμα 2-13: Μικρό κοίλωμα μεταξύ τμημάτων με σταθερή κλίση σε οριζοντιογραφική α) ευθυγραμμία και β) καμπύλη [25] 19
Σχήμα 2-14: Σχέση μήκους κοιλώματος – απόστασης κορυφής κοίλης καμπύλης [30] 20
Σχήμα 2-15: Τεθλασμένο κατάστρωμα οδού [26] 21
Σχήμα 2-16: Σχέση ακτινών κοίλων και κυρτών τόξων μηκοτομής α) σε λοφώδη-ορεινά και β) σε πεδινά εδάφη [25] 22
Σχήμα 2-17: Κυματισμός καταστρώματος σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία (αριστερά) και οριζοντιογραφική καμπύλη (δεξιά) [25] 22
Σχήμα 2-18: Ευχάριστη προοπτική εικόνα που επιτυγχάνεται με τη σύμπτωση των σημείων καμπής σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή [16] 24
Σχήμα 2-19: Συσχέτιση κορυφών σε οριζοντιογραφία-μηκοτομή. α) Απόλυτη σύμπτωση κορυφών β) Παράλειψη μιας φάσης γ) Ανεπιτυχής συνδυασμός [1] 24
Σχήμα 2-20: Έναρξη οριζοντιογραφικής καμπύλης μετά από κύρτωμα [4] 25
Σχήμα 2-21: Η οριζοντιογραφική καμπύλη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την καμπύλη μηκοτομής [4] 25
Σχήμα 2-22: Οριζοντιογραφική ευθυγραμμία σε α) ευθεία μηκοτομής, β) κυρτή καμπύλη και γ) κοίλη καμπύλη μηκοτομής [20] 27
Σχήμα 2-23: Οριζοντιογραφική καμπύλη σε α) ευθεία μηκοτομής, β) κυρτή καμπύλη και γ) κοίλη καμπύλη μηκοτομής [20]. 27
Σχήμα 2-24: Οπτικό βύθισμα οδού λόγω σύμπτωσης μικρού κοιλώματος με μεγάλη οριζοντιογραφική καμπύλη [26]. 28
Σχήμα 2-25: α) Άλμα οδού β) Άλμα με μετατόπιση [25] 29
Σχήμα 2-26: Οπτική μετατόπιση οδού λόγω σύμπτωσης μικρού τόξου οριζοντιογραφίας με μικρό κυρτό τόξο μηκοτομής [26] 29
Σχήμα 2-27: Μέγιστος αριθμός θλάσεων σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή [1] 30

Σχήμα 2-28: Τεχνικό έργο σε περιοχή οριζοντιογραφικής καμπύλης. Αριστερά, ο οδηγός δεν έχει καμία ένδειξη ότι ακολουθεί καμπύλη. Δεξιά, η καμπυλότητα του τεχνικού επιτρέπει πολύ καλή αναγνώριση της καμπύλης [25] 30
Σχήμα 2-29: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση [24] 31
Σχήμα 2-30: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση S_h [16] 33
Σχήμα 2-31: Πιθανή πορεία της ακτίνας παρατήρησης από τη θέση οφθαλμού ως τη θέση εμποδίου, για το μήκος ορατότητας για στάση σε αριστερές και δεξιές οριζοντιογραφικές καμπύλες. (ZP: πιθανές θέσεις εμποδίου) [16] 35
Σχήμα 2-32: Διάγραμμα στοιχείων υπολογισμού πλευρικής εκτροπής E [1] 37
Σχήμα 2-33: Στοιχεία ελέγχου ορατότητας από τον πλευρικό, ελεύθερο εμποδίων χώρο [28]. 38
Σχήμα 2-34: Γεωμετρικό μοντέλο για τον προσδιορισμό των υφιστάμενων μηκών ορατότητας σε αριστερές στροφές οδοστρωμάτων μίας κατεύθυνσης κυκλοφορίας [16] 38
Σχήμα 2-35: Δυνατές θέσεις οδηγού και εμποδίου σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής [25] 39
Σχήμα 2-36:Διάγραμμα ορατότητας και χαρακτηριστικές θέσεις οδηγού σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής [31] 40
Σχήμα 2-37: Ελάχιστο μήκος κυρτής καμπύλης μηκοτομής προκειμένου για ορατότητα για στάση [1]…42
Σχήμα 2-38: Γράφημα οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που συνοδεύει την κινούμενη προοπτική εικόνα του αντίστοιχου οδικού τμήματος στο μοντέλο των Janikula & Garrick [12] 46
Σχήμα 2-39: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο ΟΔΟΣ V8 [34] 48
Σχήμα 2-40: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο Anadelta Tessera [35] 49
Σχήμα 2-41: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο DIOLKOS 6 [36] 50
Σχήμα 2-42: Φωτορεαλιστική προσομοίωση οδού με τη συνεργασία του Autocad Civil με κατάλληλα λογισμικά [37] 51

Σχήμα 3-1: Προοπτική εικόνα αντικειμένου [21] 52
Σχήμα 3-2: Αρχές Προοπτικής Γεωμετρίας [21] 53
Σχήμα 3-3: Απεικόνιση των 3 θεωρούμενων σημείων που ορίζουν το επίπεδο προβολής 55
Σχήμα 3-4: Τομή ευθείας που ορίζεται από τα σημεία l_a , l_b με επίπεδο που ορίζεται από τα σημεία P_0,P_1,P_2 [33] 56
Σχήμα 3-5: Μετάθεση και περιστροφή συστήματος αξόνων ως προς άλλο, με κοινή αρχή και διαφορά γωνίας θ. 58
Σχήμα 3-6: Σχέση ταχύτητας – σημείου εστίασης όρασης – γωνίας περιφερειακής όρασης [17] 59
Σχήμα 3-7: Σημείο παρατήρησης, οπτικός άξονας και γωνία πεδίο ορατότητας (α) στην οριζοντιογραφία και (β) στη μηκοτομή [30] 60
Σχήμα 3-8: Διαδικασία εμφάνισης των παραγόμενων προοπτικών εικόνων στο Microstation 62

Σχήμα 4-1: Περιβάλλον εργασίας μορφής EMP 65
Σχήμα 4-2: Περιβάλλον εργασίας μορφής MENU 66
Σχήμα 4-3: Πλαίσια αρχείων εισαγωγής δεδομένων 67
Σχήμα 4-4: Παράδειγμα αρχείου εισαγωγής δεδομένων 68
Σχήμα 4-5: Πλήκτρα κλήσης βασικών προγραμμάτων 69
Σχήμα 4-6: Πλήκτρα κλήσης βοηθητικών προγραμμάτων 69
Σχήμα 4-7: Παράδειγμα παραθύρου Command Prompt 69
Σχήμα 4-8: Πλαίσια που αντιστοιχούν σε αρχεία εξαγωγής δεδομένων 70
Σχήμα 4-9: Πλήκτρα εξαγόμενων σχεδίων 70
Σχήμα 4-10: Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής αποτελεσμάτων (*.dat) ανοιγμένου με Notepad 71
Σχήμα 4-11: Πλήκτρα διαγραφής αρχείων 71

Σχήμα 4-12: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος “Προοπτικό” υπό μορφή διαγράμματος ροής 73
Σχήμα 4-13: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για την εξαρτημένη ευθυγραμμία (Περίπτωση 1)..... 87
Σχήμα 4-14: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για την ανεξάρτητη ευθυγραμμία (Περίπτωση 2)..... 88
Σχήμα 4-15: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για τη μερικώς ανεξάρτητη ευθυγραμμία (Περίπτωση 3)..... 89
Σχήμα 4-16: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος “Ταχύτητες”, υπό μορφή διαγράμματος ροής 91
Σχήμα 4-17: Διάγραμμα ταχυτήτων που εξάγεται από το πρόγραμμα “Ταχύτητες” 98
Σχήμα 4-18: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος “Ορατότητες”, υπό μορφή διαγράμματος ροής..... 101
Σχήμα 4-19: Απεικόνιση της διαθέσιμης ορατότητας λόγω μηκοτομής σε τμήμα οδού 102
Σχήμα 4-20: Λεπτομέρεια του Σχήματος 4-19: Διαθέσιμη ορατότητα για στάση για μία μόνο θέση οφθαλμού.. 103
Σχήμα 4-21: Απεικόνιση της διαθέσιμης ορατότητας λόγω τρισδιάστατης χάραξης σε τμήμα οδού....104
Σχήμα 4-22: Λεπτομέρεια του Σχήματος 4-21: Διαθέσιμη ορατότητα για στάση στο χώρο για μία μόνο θέση οφθαλμού.. 104
Σχήμα 4-23: Ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια του Σχήματος 4-21. 105
Σχήμα 4-24: Γενικό διάγραμμα ορατοτήτων 105
Σχήμα 4-25: Διάγραμμα ορατοτήτων με απεικόνιση μόνο της απαιτούμενη ορατότητας για στάση και της διαθέσιμης ορατότητας για στάση στο χώρο..... 106

Σχήμα 5-1: Σταθερή κατά μήκος κλίση σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμία..... 108
Σχήμα 5-2: Επιλογή μεγάλου μήκους κοιλώματος σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμία, προκειμένου να αποφευχθεί η δυσμενής οπτική εντύπωση που δημιουργεί η σταθερή κατά μήκος κλίση..... 108
Σχήμα 5-3: Οπτική θλάση λόγω επιλογής οριζοντιογραφικής καμπύλης με πολύ μικρή ακτίνα..... 109
Σχήμα 5-4: Επιλογή μεγάλου οριζοντιογραφικού τόξου με καμπύλες συναρμογής, για την αποφυγή του φαινομένου οπτικής θλάσης 109
Σχήμα 5-5: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία 110
Σχήμα 5-6: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική καμπύλη 111
Σχήμα 5-7: Ασυνέχεια οδού – Φαινόμενο άλματος..... 112
Σχήμα 5-8: Επαλληλία μικρής οριζοντιογραφικής καμπύλης με μικρό κύρτωμα μηκοτομής..... 113
Σχήμα 5-9: Φαινόμενο έντονου κυματισμού (roller-coaster effect)..... 114
Σχήμα 5-10: Κυματισμός σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία..... 115
Σχήμα 5-11: Κυματισμός σε οριζοντιογραφική καμπύλη 116
Σχήμα 5-12: Οπτικό κύρτωμα (τοπική υπερύψωση) 117
Σχήμα 5-13: Κοίλωμα μικρού μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με ενιαία κατά μήκος κλίση, σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία 118
Σχήμα 5-14: Επιλογή κοιλώματος μεγάλου μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της οπτικής θλάσης στην οριζοντιογραφική ευθυγραμμία..... 118
Σχήμα 5-15: Κοίλωμα μικρού μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, σε οριζοντιογραφική καμπύλη..... 119
Σχήμα 5-16: Επιλογή κοιλώματος μεγάλου μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της οπτικής στρέβλωσης στην οριζοντιογραφική καμπύλη 119

Σχήμα 5-17: Τεθλασμένο κατάστρωμα οδού 120
Σχήμα 5-18: Οριζοντιογραφική καμπύλη ξεκινά μετά από κύρτωμα 121
Σχήμα 5-19: Κυρτό τόξο μηκοτομής εμπεριέχεται σε οριζοντιογραφική καμπύλη 122
Σχήμα 5-20: Ταύτιση σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής 123

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Συντελεστής d υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση S_h [28] 34
Πίνακας 2-2: Συγκεντρωτικός πίνακας των θεωρούμενων υψών οφθαλμού και εμποδίου από τις επίσημες οδηγίες οδοποιίας για τον προσδιορισμό του υφιστάμενου μήκους ορατότητας για στάση... 36

Πίνακας 4-1: Σχέση μεταξύ μηκών ευθυγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας V_{85} κατά την αλληλουχία ευθυγραμμία - καμπύλη. 87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτ. 2-1: Χάραξη καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον [26] 11
Φωτ. 2-2: Χάραξη όχι καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον [4] 11
Φωτ. 2-3: Μικρή ενδιάμεση ευθυγραμμία μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων [26] 15
Φωτ. 2-4: Φαινόμενο “roller-coaster” 18
Φωτ. 2-5: Οπτική μετατόπιση οδού 29

ΣΥΝΟΨΗ

Από τη μελέτη των σύγχρονων οδηγιών για το γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών αλλά και συναφών δημοσιευμένων εργασιών, προκύπτει πως η σύνταξη προοπτικών εικόνων από τη θέση του οδηγού προκειμένου για τον έλεγχο του ορθού συνδυασμού της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής των οδών, πρέπει να αποτελεί κύριο μέλημα των μελετητών και, μάλιστα, κατά το στάδιο της προμελέτης. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός προγράμματος που θα παράγει προοπτικές εικόνες της οδού, οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη αυτού να αξιολογεί την τρισδιάστατη χάραξη των υπό μελέτη οδών από άποψη ασφάλειας και αισθητικής, αλλά και να ελέγχει οπτικά την ύπαρξη της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί επέκταση του λογισμικού οδοποιίας H8 και η λειτουργία του βασίζεται στις αρχές της Προοπτικής Γεωμετρίας, καθώς και σε έναν αριθμό απλοποιήσεων και παραδοχών. Με τη βοήθειά του, απεικονίζονται, ενδεικτικά, οδικά τμήματα που αντιστοιχούν στους βασικότερους επιθυμητούς και μη επιθυμητούς συνδυασμούς οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που επισημαίνονται στις οδηγίες, αλλά και ένα επαρκώς μεγάλο τμήμα μιας πραγματικής οδού μελετημένης με το H8. Οι προοπτικές εικόνες που εξάγονται με το πρόγραμμα αυτό, μπορεί να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της τρισδιάστατης χάραξης των οδών και την πρόληψη τυχόν σφαλμάτων.

<u>Λέξεις – κλειδιά</u>

Συνδυασμός οριζοντιογραφίας-μηκοτομής, Τρισδιάστατη χάραξη, Προοπτική απεικόνιση οδού, Αισθητική της οδού, Λογισμικό οδοποιίας, Απόσταση ορατότητας για στάση

ABSTRACT

From the study of the contemporary road design guides and of relevant published studies, it is concluded that the creation of perspective views from the driver's point of view, in order to evaluate the coordination of horizontal and vertical alignment of the roads, should be primary concern for the designers during the preliminary design phase. The objective of the present diploma thesis is to develop software which will produce perspective views of the road. These views will enable the software's users not only to examine and evaluate the three-dimensional design but, also, to visually evaluate the available stopping sight distance. This new program constitutes part of the computer aided highway design program H8 and its operation is based on the principles of Perspective Geometry and on a number of simplifications and assumptions. It is being used in order to visualize road segments which correspond to the main desirable and non desirable combinations of horizontal and vertical alignments that are pointed out by the design guides, but also to visualize an adequately big segment of a real road, designed with the aid of H8. The perspective images produced by the developed program could become a useful tool for the evaluation of the roads' 3-D design and for the prevention of possible design errors.

Keywords

Coordination of horizontal and vertical alignment, Three-Dimensional design, Road perspective visualization, Aesthetics of the road, Computer aided highway design programs, Stopping sight distance

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων για τη δημιουργία ενός προγράμματος Η/Υ το οποίο θα παράγει προοπτικές εικόνες της οδού, από τη θέση του οδηγού και όχι μόνο. Οι εικόνες αυτές θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη του προγράμματος να αξιολογεί την τρισδιάστατη χάραξη των υπό μελέτη οδών από άποψη ασφάλειας και αισθητικής, αλλά και να ελέγχει οπτικά, άμεσα και χωρίς κανέναν επιπλέον υπολογισμό την ύπαρξη της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο αυτών.

Προηγείται της ανάπτυξης των αλγορίθμων μία βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου συγκεντρώνονται και σχολιάζονται οι διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών οδοποιίας (AASHTO 2004, RAA 2008, Austroads 2009) που αφορούν στην τρισδιάστατη χάραξη των οδών. Για εμβάθυνση σε ορισμένες από αυτές, αναζητούνται πληροφορίες από συναφείς δημοσιευμένες εργασίες καθώς και από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες του Ε.Μ.Π. Ακόμη, παρουσιάζονται με συντομία οι βασικότερες διατάξεις των AASHTO 2004, των RAA 2008 και των OMOE 2001που αφορούν στην πολύ βασική έννοια της απόστασης ορατότητας για στάση στις οδούς. Τέλος, επιχειρείται μία συνοπτική παρουσίαση μεθοδολογιών και νέων τεχνολογιών των οποίων έχουν κάνει χρήση ερευνητές των τελευταίων χρόνων προκειμένου να απεικονίσουν προοπτικά οδούς, καθώς και των δυνατοτήτων τρισδιάστατης απεικόνισης των οδών των κυριότερων προγραμμάτων οδοποιίας που χρησιμοποιούν οι Έλληνες μελετητές. Από το σύνολο της παραπάνω ανασκόπησης, προκύπτει η ανάγκη επέκτασης του πακέτου προγραμμάτων οδοποιίας Η8, το οποίο διδάσκεται στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, με τη δημιουργία του νέου αυτού προγράμματος.

Στη συνέχεια, επιλέγεται η μεθοδολογία της οποίας θα γίνει χρήση για τη δημιουργία του νέου προγράμματος. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας αυτής, παρουσιάζονται οι δυνατότητες του νέου προγράμματος, ενώ, παράλληλα, επισημαίνονται οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έγιναν για τις ανάγκες της σύνταξής του.

Ακολουθεί η σύνταξη των απαραίτητων αλγορίθμων. Γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού οδοποιίας Η8, στο περιβάλλον του οποίου λειτουργεί το νέο πρόγραμμα προοπτικής απεικόνισης των οδών. Της παρουσίασης αυτής, έπεται μία αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζεται το σύνολο των εντολών από τις οποίες αυτοί αποτελούνται, ο τρόπος λειτουργίας τους και ο τρόπος επικοινωνίας τους με το χρήστη. Οι αλγόριθμοι αυτοί παρατίθενται στο παράρτημα.

Μετά το πέρας της σύνταξης των αλγορίθμων, δημιουργούνται, με τη βοήθεια του Η8, 20 οδικά τμήματα. Οι διάφοροι συνδυασμοί οριζοντιογραφίας και μηκοτομής αυτών, αντιστοιχούν στις βασικότερες περιπτώσεις επιθυμητού και μη επιθυμητού συνδυασμού που επισημαίνονται στις διατάξεις των οδηγιών για την τρισδιάστατη χάραξη των οδών. Με τη βοήθεια του νέου προγράμματος που δημιουργήθηκε, εξάγονται οι προοπτικές εικόνες των οδικών αυτών τμημάτων, οι οποίες παρατίθενται μαζί με τα σχέδια των εκάστοτε οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Το νέο πρόγραμμα εφαρμόζεται, προκειμένου να εξάγει προοπτικές εικόνες, και σε μία πραγματική υπό μελέτη οδό, τα στοιχεία της οποίας έχουν προκύψει με χρήση των προγραμμάτων του H8.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διατυπώνονται τα κυριότερα συμπεράσματα αυτής και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος και ευθύνη του μηχανικού είναι να μελετά και να κατασκευάζει οδούς που θα εξυπηρετούν την κυκλοφορία εξασφαλίζοντας στους οδηγούς την απαραίτητη ορατότητα, άνεση και σταθερότητα των οχημάτων τους ενώ, ταυτόχρονα, θα έχουν την απαραίτητη αποστράγγιση αλλά και μια εικόνα ευχάριστη και φιλική προς το περιβάλλον. Επιπλέον, κατά τη μελέτη, ο μηχανικός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις διαφοροποιήσεις των οδηγών ανάλογα με την εμπειρία, την εκπαίδευση και την ηλικία τους, καθώς και όλους τους περιορισμούς που τίθενται από τις ικανότητες των οδηγών, τα χαρακτηριστικά των οχημάτων και την υπάρχουσα τοπογραφία [10].

Γίνεται κατανοητό ότι, στην πραγματικότητα, η χάραξη ενός αυτοκινητόδρομου αποτελεί ένα πολύπλοκο τρισδιάστατο πρόβλημα το οποίο δεν μπορεί να εκφραστεί με απλές μαθηματικές σχέσεις. Ιστορικά, οι μηχανικοί έχουν αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζοντας την πολύπλοκη τρισδιάστατη χάραξη ως δύο ξεχωριστές δισδιάστατες χαράξεις (οριζοντιογραφία και μηκοτομή). Σε κάθε μία από αυτές, η χάραξη συνίσταται σε γεωμετρικά στοιχεία τα οποία είναι εύκολο να υπολογιστούν και, στη συνέχεια, να κατασκευαστούν. Ακόμη και με τη βοήθεια των υπολογιστών, αυτή η προσέγγιση έχει αποδειχθεί πιο βολική όσον αφορά τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην κατασκευή. Η χρήση πολύπλοκων τρισδιάστατων μοντέλων εκτιμάται ότι θα περιέπλεκε και θα καθυστερούσε τη διαδικασία χωρίς λόγο [4].

Παρ’ όλα αυτά, είναι απαραίτητο ο μηχανικός να είναι σίγουρος πως η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή συνδυάζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή δεν πρέπει να σχεδιάζονται ανεξάρτητα και ο συνδυασμός τους δεν πρέπει να αφήνεται στην τύχη. Συμπληρώνουν η μία την άλλη, με αποτέλεσμα ανεπιτυχείς συνδυασμοί τους να υποβαθμίζουν τα καλά στοιχεία και να επιδεινώνουν τα ελαττώματα καθεμιάς τους. Αντίθετα, άρτια μελέτη και σωστός συνδυασμός τους αυξάνει τη λειτουργικότητα και ασφάλεια, επιτρέπει τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και ενισχύει την εμφάνιση της οδού, σχεδόν πάντα χωρίς επιπλέον κόστος [4].

Η αρτιότητα της οδού στις τρεις διαστάσεις πρέπει να είναι κυρίαρχος στόχος του μηχανικού. Ο Cron το 1959 [6] υπέδειξε πως τα περισσότερα προβλήματα που εμφανίζονται στους αυτοκινητόδρομους οφείλονται στο γεγονός πως ο μελετητής δεν έχει καταφέρει να φανταστεί την οδό στις τρεις διαστάσεις στη φάση της μελέτης. Ακόμη, η σημασία της αντίληψης που έχει ο οδηγός για το οδικό τμήμα στο οποίο βρίσκεται, δεν πρέπει να υποτιμάται. Η διαδικασία της οδήγησης συνίσταται σε μια αλληλεπίδραση μεταξύ του οδηγού, του οχήματος και της οδού. Κατά τη διάρκεια αυτής της αλληλεπίδρασης, περίπου το 90% των πληροφοριών που χρειάζονται οι οδηγοί για να μπορέσουν να αντεπεξέλθουν στη διαδικασία αυτή, λαμβάνεται οπτικά. Ανεπιτυχής τρισδιάστατη εικόνα της οδού ενδέχεται να δώσει στον οδηγό λανθασμένη εντύπωση για τη μορφή της στο χώρο, να τον ξαφνιάσει, να τον μπερδέψει και, εν τέλει, να τον οδηγήσει σε απότομες και επικίνδυνες κινήσεις, ακόμη και σε ατύχημα [5],[2]. Είναι, λοιπόν, πολύ σημαντικό οι μελετητές των οδών να μάθουν να βλέπουν την οδό με τα μάτια του κοινού οδηγού αλλά και οι διατάξεις των οδηγιών χάραξης αυτοκινητοδρόμων να διατυπώνονται με μοναδικό γνώμονα το χρήστη [13].

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει εκτενείς έρευνες πάνω στο θέμα της αντίληψης της προοπτικής εικόνας της οδού από τους οδηγούς ενώ από τις αρχές του 1960 έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα μοντέλων στον υπολογιστή με στόχο τη δημιουργία προοπτικών σχεδίων των οδών. Οι σύγχρονες οδηγίες σχεδιασμού και χάραξης αυτοκινητοδρόμων των διάφορων χωρών (RAA 2008 [16], AASHTO 2004 [1], Austroads 2009 [4]), αναγνωρίζοντας τη σημασία του τρισδιάστατου αποτελέσματος της χάραξης των οδών, έχουν συμπεριλάβει στις διατάξεις τους γενικές οδηγίες για το βέλτιστο συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Μάλιστα, στις οδηγίες AASHTO [1] και Austroads [4] επισημαίνεται πως ο συνδυασμός τους θα πρέπει να αποφασίζεται στο στάδιο της προμελέτης, κατά τη διάρκεια της οποίας μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν τυχόν τροποποιήσεις ενώ εκ των υστέρων, είναι ιδιαίτερα δύσκολο και δαπανηρό να διορθωθούν τυχόν λάθη στη χάραξη. Επιπλέον, όλα τα σύγχρονα προγράμματα οδοποιίας που χρησιμοποιούνται από τους Έλληνες μελετητές, έχουν τη δυνατότητα αυτόματης παραγωγής ολοκληρωμένων φωτορεαλιστικών προοπτικών εικόνων των οδών, αλλά και βίντεο που προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στα επιθυμητά οδικά τμήματα, είτε με είτε χωρίς τη συνεργασία με άλλα λογισμικά.

Πρέπει να σημειωθεί πως στη σύνταξη των διατάξεων των επίσημων οδηγιών και στις διάφορες έρευνες σχετικά με την τρισδιάστατη χάραξη των οδών, υπεισέρχεται και παίζει πρωταρχικό ρόλο η έννοια της ορατότητας. Το μήκος ορατότητας ορίζεται ως το μήκος της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού κάθε χρονική στιγμή Όσο μικρότερο είναι αυτό, τόσο λιγότερες οπτικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες για αξιολόγηση, με αποτέλεσμα ένας οδηγός να χρειάζεται πιο συχνά να ανανεώνει τις προβλέψεις του και, φυσικά, η εμπειρία του με την οδό να αποκτά μεγαλύτερη σημασία [28].

Οι Hassan, Easa και Halim (1998) αναφέρουν πως μια πληθώρα ερευνών του παρελθόντος έχει αναδείξει την ύπαρξη στενής σχέσης μεταξύ της διαθέσιμης απόστασης ορατότητας και της ασφάλειας. Όλες οι οδηγίες σχεδιασμού και χάραξης αυτοκινητοδρόμων επισημαίνουν πως μια οδός πρέπει να παρέχει στους οδηγούς, σε κάθε σημείο καθ’ όλο το μήκος της, μια απόσταση ορατότητας επαρκή, ώστε αυτοί να μπορέσουν να ακινητοποιήσουν το όχημά τους πριν από ένα απροσδόκητο, σταθερό εμπόδιο στο οδόστρωμα. Το μήκος αυτό ονομάζεται απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων για τη δημιουργία ενός προγράμματος προοπτικής απεικόνισης των οδών. Οι παραγόμενες προοπτικές εικόνες θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη όχι μόνο να αξιολογεί την τρισδιάστατη χάραξη των υπό μελέτη οδών από άποψη ασφάλειας και αισθητικής, αλλά και να ελέγχει οπτικά, άμεσα και χωρίς κανέναν επιπλέον υπολογισμό την ύπαρξη της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος αυτών. Το πρόγραμμα αυτό θα ενταχθεί στο πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας Η8, του οποίου η λειτουργία διδάσκεται στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Στο **Κεφάλαιο 2** της παρούσας διπλωματικής ερασίας γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου συγκεντρώνονται και συγκρίνονται οι διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών της οδοποιίας όσον αφορά στην τρισδιάστατη χάραξη των οδών αλλά και στην απαιτούμενη ορατότητα για στάση. Όσον αφορά στο πρώτο, παρατίθενται προοπτικές εικόνες χαράξεων τόσο από τα ίδια τα κείμενα των επίσημων οδηγιών όσο και από άλλες διαθέσιμες πηγές, ώστε να αποδοθούν σαφέστερα οι υποδείξεις των οδηγιών. Ακόμη, προκειμένου κάποια θέματα της τρισδιάστατης χάραξης των οδών να αναλυθούν σε μεγαλύτερο βάθος, παρουσιάζονται στοιχεία που προκύπτουν από δημοσιευμένες εργασίες ([5], [7], [11], [12], [20], [22]) καθώς και από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες του Ε.Μ.Π.([27], [30]). Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται συνοπτικά μεθοδολογίες και μοντέλα που έχουν αναπτύξει και σύγχρονες τεχνολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στην προσπάθεια παραγωγής προοπτικών εικόνων των οδών και εμβάθυνσης στο θέμα της τρισδιάστατης ανάλυσης της χάραξης. Ακόμη, παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατότητες των κυριότερων προγραμμάτων οδοποιίας που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά στο πεδίο της τρισδιάστατης ανάλυσης και της προοπτικής απεικόνισης των οδών.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται περιγράφεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του νέου προγράμματος, ενώ παράλληλα επισημαίνονται οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έγιναν για τις ανάγκες της σύνταξής του. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται αναλυτικά οι δυνατότητες του νέου αυτού λογισμικού καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύεται η λειτουργία και ο τρόπος χειρισμού του πακέτου προγραμμάτων H8, επέκταση του οποίου αποτελεί το νέο πρόγραμμα. Ακόμη, παρουσιάζεται και αναλύεται το σύνολο των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επεξηγείται ο τρόπος λειτουργίας τους και ο τρόπος επικοινωνίας τους με το χρήστη.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται οι προοπτικές εικόνες που προέκυψαν από το νέο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε, με εφαρμογή του σε έναν αριθμό οδικών τμημάτων – εφαρμογών που δημιουργήθηκαν από τη γράφουσα στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Τα οδικά αυτά τμήματα αντιστοιχούν στις διάφορες περιπτώσεις μη επιθυμητών φαινομένων της χάραξης στο χώρο, λόγω λανθασμένου συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, που επισημαίνονται στις οδηγίες, ενώ κάποια αντιστοιχούν στον επιθυμητό συνδυασμό για επίλυση του αντίστοιχου προβλήματος. Μαζί με τις προοπτικές αυτές εικόνες, παρατίθενται και τα σχέδια της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής του αντίστοιχου οδικού τμήματος. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού, παρουσιάζονται οι προοπτικές εικόνες που προέκυψαν με εφαρμογή του νέου αυτού προγράμματος σε πραγματική υπό μελέτη οδό με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση.

Στο **Κεφάλαιο 6** συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής και γίνονται προτάσεις για συμπλήρωση και βελτίωση του νέου προγράμματος. Στο **Κεφάλαιο 7** παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο **Παράρτημα** παρατίθενται οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν**.**

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, επιχειρείται μια συγκριτική παρουσίαση και ανάλυση των υποδείξεων των σύγχρονων Γερμανικών (RAA 2008), Αμερικανικών (AASHTO 2004) και Αυστραλιανών (Austroads 2009) οδηγιών σχεδιασμού και κατασκευής αυτοκινητοδρόμων όσον αφορά στον ορθό συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής αλλά και στον ορθό σχεδιασμό καθεμίας ξεχωριστά έτσι ώστε να εξασφαλίζεται το βέλτιστο δυνατό τρισδιάστατο αποτέλεσμα. Ακόμη, παρατίθενται στοιχεία από παλαιότερες σχετικές διπλωματικές εργασίες του Ε.Μ.Π καθώς και από αρκετές, σχετικές με το θέμα της τρισδιάστατης χάραξης των οδών, δημοσιευμένες εργασίες, ακόμη και από βιβλία. Η παρουσίαση επιλέχθηκε να γίνει με ταυτόχρονη παράθεση στοιχείων από όλες τις διαθέσιμες, οργανωμένα σε υποενότητες, και όχι με την παράθεση πρώτα των Γερμανικών διατάξεων, έπειτα των Αμερικανικών κ.ο.κ. Θεωρήθηκε ότι με αυτόν τον τρόπο ο αναγνώστης θα αποκτήσει εύκολα μία πλήρη εικόνα επί του θέματος και θα μπορέσει εύκολα να διακρίνει τα κοινά στοιχεία των διαφόρων πηγών καθώς και αυτά που προτείνονται από συγκεκριμένες μόνο πηγές ενώ λείπουν από τις υπόλοιπες.

Για τη σαφέστερη απόδοση των διατάξεων αυτών, παρατίθενται αρκετά σκαριφήματα προοπτικών εικόνων που έχουν ληφθεί από τα κείμενα των ίδιων των οδηγιών, από τη διπλωματική εργασία της Ε. Ταϊγανίδη [30], από τις σημειώσεις [24], [25] του Ε.Μ.Π για τα μαθήματα της Οδοποιίας (οι οποίες, βέβαια, παραθέτουν στοιχεία από τις παλιές Γερμανικές οδηγίες RAS-L 1995, ενώ το παρόν κεφάλαιο φιλοδοξεί να βασιστεί στις διατάξεις των RAA 2008, οι οποίες συντάχθηκαν με σκοπό να τις αντικαταστήσουν), από συναφείς δημοσιευμένες εργασίες [20], αλλά και από το βιβλίο του Ι. Κοφίτσα [26] με θέμα την αισθητική στη χάραξη των αυτοκινητοδρόμων, στο οποίο παρατίθενται συγκεντρωμένες οι βασικότερες σχετικές διατάξεις των επίσημων οδηγιών, ακόμη και φωτογραφίες.

Στη συνέχεια, επιχειρείται μια συγκριτική παρουσίαση των βασικών υποδείξεων των Γερμανικών (RAA 2008) και των Αμερικανικών (AASHTO 2004) οδηγιών σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων καθώς και των OMOE 2001 όσον αφορά στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση και στον ορθό σχεδιασμό μιας οδού με βάση αυτό. Επιλέχθηκε η παρουσίαση των υποδείξεων των συγκεκριμένων πηγών καθώς μεταξύ αυτών και μόνο έχει τη δυνατότητα ο χρήστης να επιλέξει στο πλαίσιο του πακέτου προγραμμάτων H8 (την επέκταση του οποίου φιλοδοξεί να επιτύχει η παρούσα διπλωματική εργασία) προκειμένου να υπολογίσει το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της οδού που εξετάζει και, στη συνέχεια, να ελέγξει την ύπαρξή του ή όχι είτε μέσω διαγραμμάτων ορατότητας είτε, μετά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μέσω προοπτικών εικόνων της οδού.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου, γίνεται ένας σχολιασμός, τόσο προσωπικός όσο και μέσα από όσα έχουν γραφτεί σε όλες τις σχετικές διαθέσιμες πηγές, των διαφορετικών προσεγγίσεων που παρουσιάσθηκαν επί του θέματος του συνδυασμού της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής καθώς και της κάλυψης που παρέχουν ή όχι οι πιο πρόσφατες οδηγίες σχεδιασμού αυτοκινητο-

δρόμων ([1], [4], [16]) στο θέμα αυτό. Ακόμη, σχολιάζεται συνοπτικά ο τρόπος που οι επίσημες οδηγίες αντιμετωπίζουν την έννοια του μήκους ορατότητας για στάση.

Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται συνοπτικά προσεγγίσεις και μοντέλα που ανέπτυξαν και νέες τεχνολογίες που χρησιμοποίησαν ερευνητές των τελευταίων χρόνων ([3], [5], [7], [12], [21]) στην προσπάθειά τους να εμβαθύνουν στην τρισδιάστατη ανάλυση της χάραξης των οδών και να δημιουργήσουν πολύτιμα εργαλεία για τους μελετητές. Ακόμη, παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατότητες προοπτικής απεικόνισης των οδών των κυριότερων προγραμμάτων οδοποιίας που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά και χρησιμοποιούνται ευρέως από τους Έλληνες μελετητές

2.2 Χάραξη των οδών στο χώρο και αισθητική

Οι Janikula και Garrick (2002) αναφέρουν πως η προσέγγιση του σχεδιασμού των μεταφορών έχει αλλάξει. Γίνεται μία προσπάθεια ο τελευταίος να συνάδει και μάλιστα να ενισχύει το πολιτιστικό, κοινωνικό, ιστορικό και, φυσικά, το φυσικό περιβάλλον. Η τάση αυτή απαιτεί από το μηχανικό να εξισορροπεί παράγοντες όπως η εναρμόνιση με το περιβάλλον και η αισθητική με τους γνωστούς, παραδοσιακούς τους στόχους που είναι η λειτουργικότητα, η ασφάλεια και το κόστος.

Οι Smith και Lamm (1993) αναφέρουν πως η επίσημη μελέτη της αισθητικής των αυτοκινητοδρόμων ξεκίνησε στη Γερμανία τη δεκαετία του 1930 με τις εργασίες των Fritz Heller, Hans Lorenz και άλλων. Σχολιάζουν πως οι Γερμανοί μηχανικοί μπήκαν σε μεγάλο κόπο και έξοδα προκειμένου να περιορίσουν ή να τροποποιήσουν συνδυασμούς κατακόρυφων και οριζόντιων καμπυλών των οποίων η προοπτική εικόνα από χαμηλή γωνία ήταν περίεργη. Ακόμη, αναφέρουν πως, αν και τα οφέλη στον τομέα της ασφάλειας από μια αισθητικά ευχάριστη οδό δεν έχουν προσδιοριστεί ποσοτικά, στην “Πρακτική Αισθητική των Αυτοκινητοδρόμων” [15] επισημαίνεται πως υπάρχει σχέση μεταξύ τους και πως στοιχεία που κάνουν την οδό ομορφότερη, όχι μόνο την κάνουν ασφαλέστερη αλλά την κάνουν να φαίνεται ασφαλέστερη στα μάτια του οδηγού, γεγονός που ενισχύει την ευχαρίστηση και την άνεσή του κατά την οδήγηση.

Παρ’ όλα αυτά, όπως επισημαίνουν οι Janikula και Garrick (2002), η αισθητική των οδών παραδοσιακά τυγχάνει μικρότερης προσοχής σε σχέση με το σχεδιασμό των επιμέρους γεωμετρικών στοιχείων στη φάση του σχεδιασμού και υπάρχουν κενά στις γνώσεις των μηχανικών ως προς το ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την αισθητικοί των οδών. Θεωρούν πως η εφαρμογή τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης των οδών και του γύρω περιβάλλοντος είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική μελέτη της επίδρασης των διάφορων επιλογών γεωμετρικών στοιχείων στην οπτική εικόνα της οδού.

Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται και οι διατάξεις των τελευταίων οδηγιών της Οδοποιίας ([1], [4], [16]) στο θέμα του συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, αναγνωρίζοντας τη σημασία της οπτικής εντύπωσης που έχουν οι οδηγοί για την οδό στη διασφάλιση μιας άνετης και ασφαλούς οδήγησης. Ειδικά οι Αυστραλιανές οδηγίες [4] διαχωρίζουν τις υποδείξεις τους σε αυτές που ενισχύουν την ασφάλεια και σε αυτές που ενισχύουν την αισθητική των οδών.

Προς την κατεύθυνση αυτή κινούνται και όλες οι έρευνες των τελευταίων χρόνων πάνω στην τρισδιάστατη προσέγγιση της χάραξης των οδών.

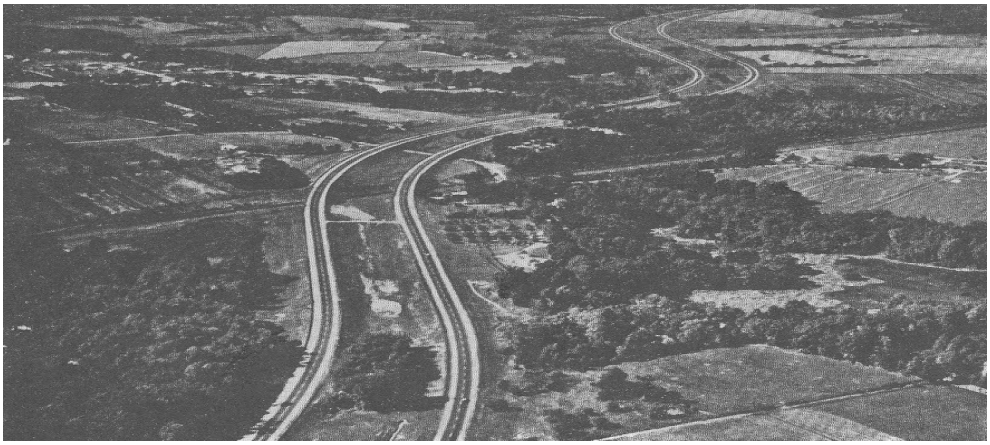
2.3 Γενικές αρχές χάραξης στο χώρο

Στις Γερμανικές οδηγίες [16] επισημαίνεται πως η καλή οπτική καθοδήγηση έχει θετικές συνέπειες στην οδηγική συμπεριφορά και την κυκλοφοριακή ασφάλεια και πως αυτή επιτυγχάνεται με τη διάταξη των στοιχείων σε αρμονική ακολουθία. Ακόμη, τονίζεται πως για επαρκή ασφάλεια και ύψιστη ποιότητα κυκλοφορίας, η πορεία των οδικών τμημάτων θα πρέπει να επιτρέπει επαρκή εποπτεία και, συνεπώς, να γίνεται έγκαιρα αντιληπτή και εύκολα κατανοητή. Στη συνέχεια, τονίζεται η σημασία της τήρησης των ελάχιστων τιμών των στοιχείων μελέτης (ακτίνες και μήκη κυκλικών οριζοντιογραφικών τόξων, ακτίνες και εφαπτομένες τόξων στρογγύλευσης κυρτωμάτων και κοιλωμάτων) αλλά και της επιλογής αρκετά μεγαλύτερων τιμών όταν υπάρχει η δυνατότητα, προκειμένου να βελτιώνεται η οπτική εντύπωση και να αποφεύγονται σε μεγάλο βαθμό στους αυτοκινητόδρομους οι οπτικές στρεβλώσεις και τα ελλείμματα ασφαλείας από την εσφαλμένη επικάλυψη οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

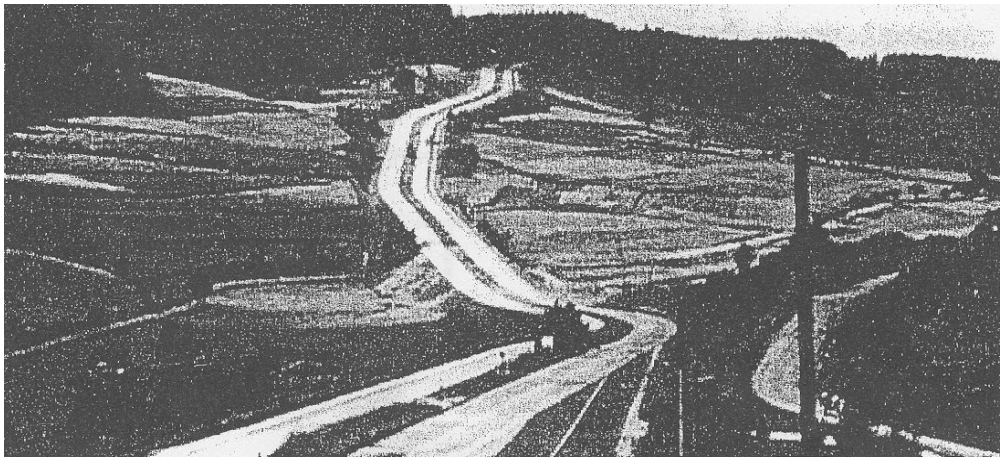
Στις Αμερικανικές οδηγίες [1] θεωρείται επιθυμητό σε διαιρεμένους αυτοκινητόδρομους, εφόσον βέβαια το επιτρέπει το εύρος απαλλοτρίωσης, πράγμα σπάνιο για τα ελληνικά δεδομένα, να ακολουθεί κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας της οδού ανεξάρτητη χάραξη με ενδιάμεση ελεύθερο χώρο. Έτσι, είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα σχεδιασμού και λειτουργίας των οδών μιας κατεύθυνσης.

Στις Αυστραλιανές οδηγίες [4] αναφέρεται πως, σε γενικές γραμμές, άρτιος συνδυασμός οριζοντιογραφίας και μηκοτομής σημαίνει ότι οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες καμπύλες πρέπει είτε να συμπίπτουν πλήρως είτε να είναι τελείως ξεχωριστές. Τα συσχετιζόμενα οριζόντια και κατακόρυφα γεωμετρικά στοιχεία πρέπει να έχουν παραπλήσιο μήκος ενώ οι κατακόρυφες καμπύλες πρέπει να εμπεριέχονται στις οριζόντιες. Ο συνδυασμός αυτός οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων, παρέχει το περισσότερο δυνατό ευχάριστο τρισδιάστατο αποτέλεσμα, το οποίο μάλιστα είναι πολύ πιθανό να εναρμονίζεται σε μεγάλο βαθμό με το φυσικό περιβάλλον και την υπάρχουσα τοπογραφία, και δίνει τη δυνατότητα στον οδηγό να έχει επαρκή εποπτεία της πορείας του εκάστοτε οδικού τμήματος. Επισημαίνεται, ακόμη, πως μια καμπυλόγραμμη χάραξη που εναρμονίζεται με το φυσικό περιβάλλον ενισχύει την αισθητική εικόνα της οδού ενώ ταυτόχρονα αναφέρεται πως η διαίρεση της επιφάνειας κυκλοφορίας εντείνει την ασυνέχεια στη χάραξη και υποβαθμίζει την εμφάνιση της οδού.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εικόνα της οδού στο χώρο είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Επομένως, μια ανεπαρκής προοπτική εικόνα της οδού μπορεί να οφείλεται σε κακό σχεδιασμό είτε μόνο της οριζοντιογραφίας είτε μόνο της μηκοτομής, είτε σε αποτυχημένο συνδυασμό τους. Στις επόμενες παραγράφους εξετάζεται ξεχωριστά η επίδραση των τριών αυτών στοιχείων στην προοπτική εικόνα της οδού και παρατίθενται οι εκάστοτε υποδείξεις όλων των διαθέσιμων πηγών.

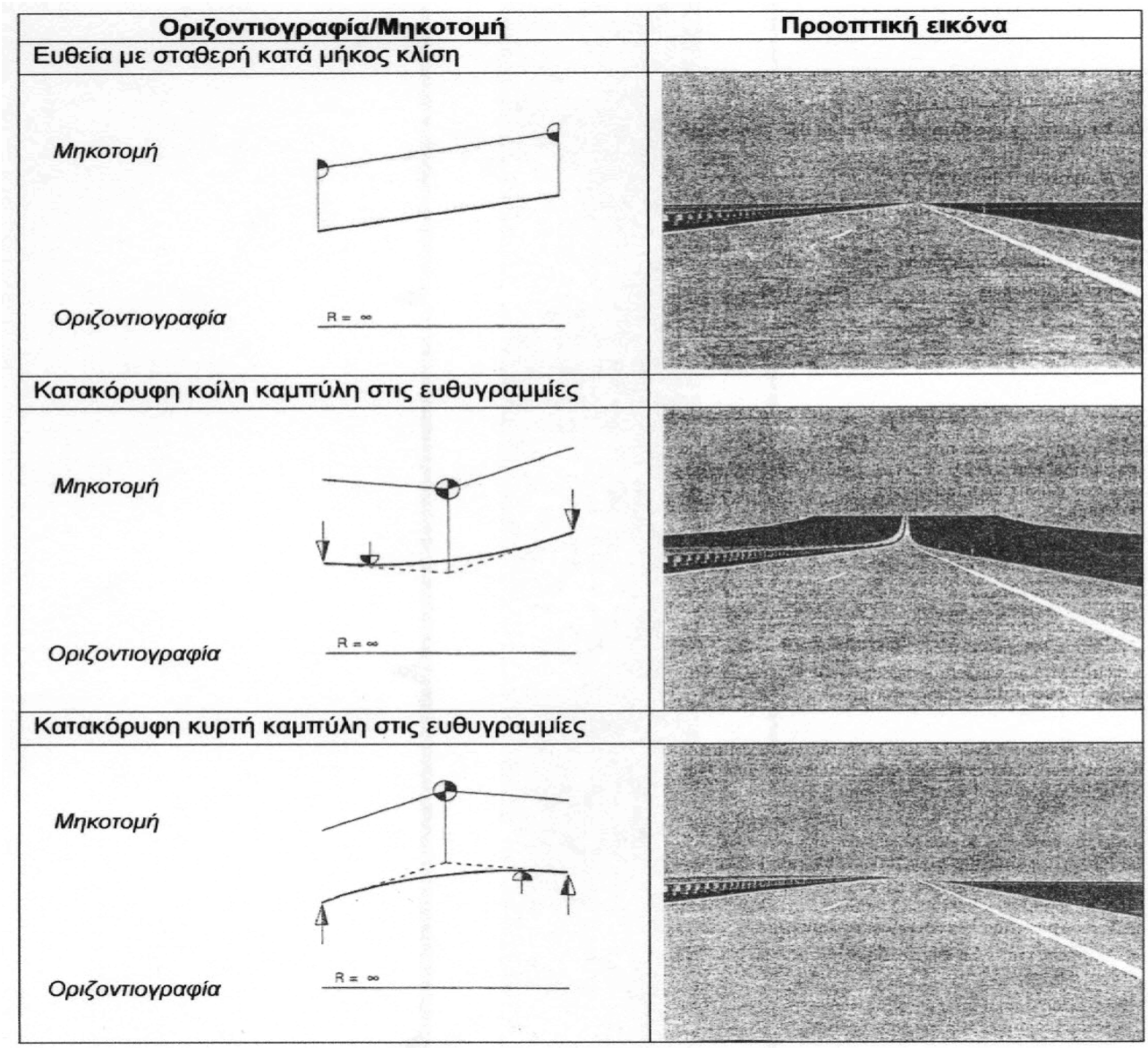


Φωτ. 2-1: Χάραξη καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον [26]

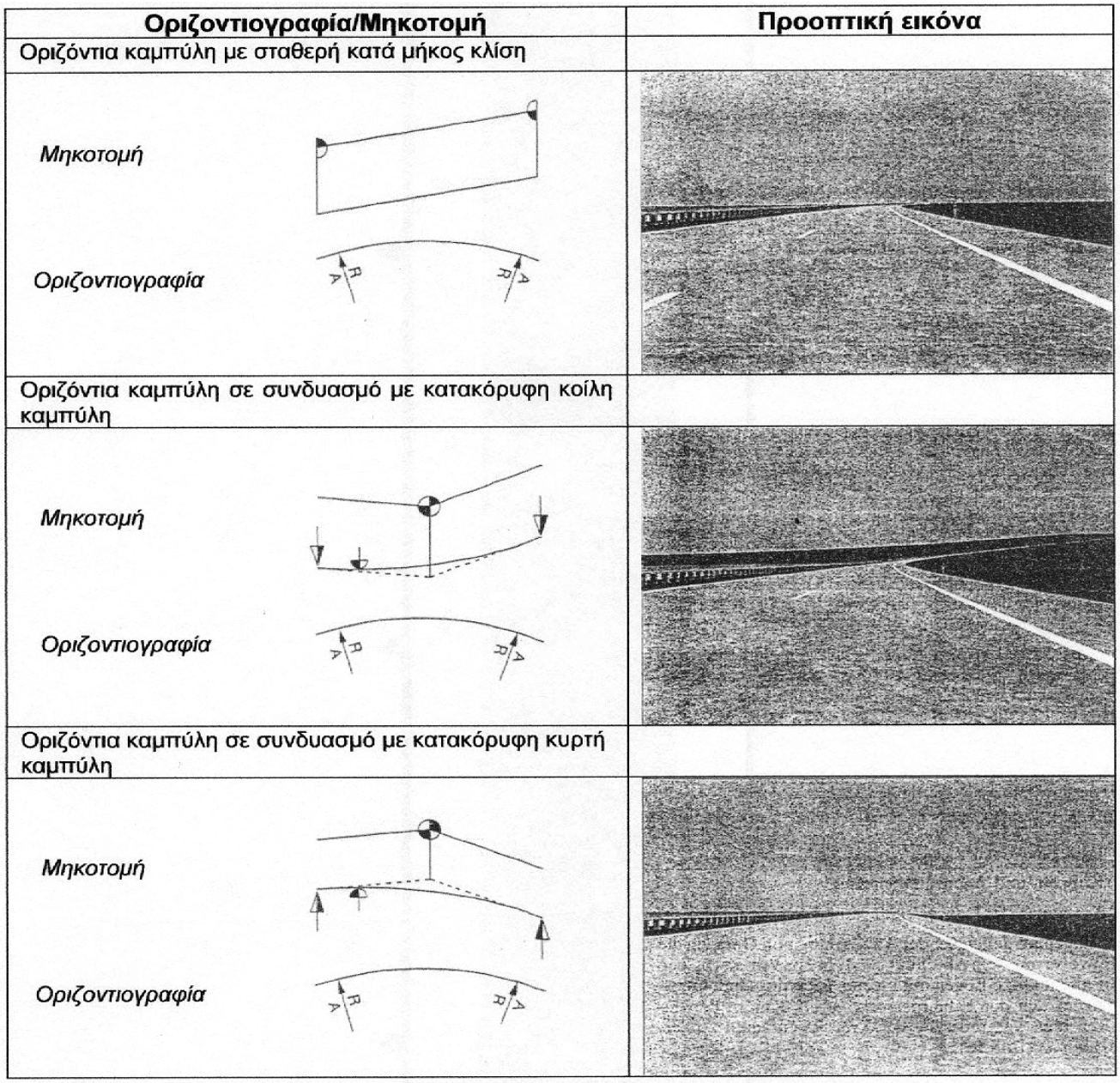


Φωτ. 2-2: Χάραξη όχι καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον [4]

Στα Σχήματα 2-1 (οριζοντιογραφική ευθυγραμμία) και 2-2 (οριζοντιογραφική καμπύλη) που ακολουθούν, παρουσιάζονται προοπτικές απόψεις της οδού, όπως αυτές προκύπτουν από τις συνήθεις περιπτώσεις συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.



Σχήμα 2-1: Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική ευθυγραμμία) [16]



Σχήμα 2-2: Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική καμπύλη) [16]

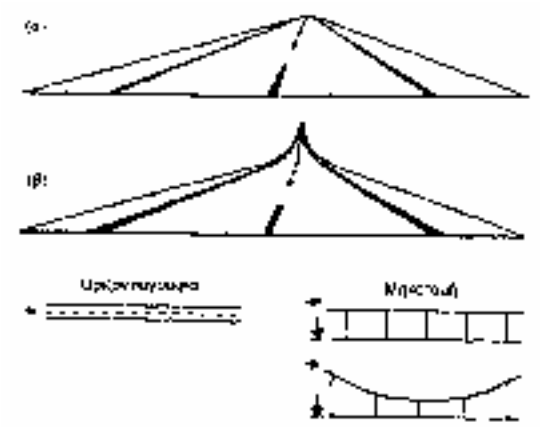
2.4 Επιρροή της οριζοντιογραφίας στην προοπτική εικόνα της οδού

2.4.1 Οριζοντιογραφική ευθυγραμμία

Σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες, [16], οι μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες στην οριζοντιογραφία, ειδικά όταν έχουν σταθερή κατά μήκος κλίση, πρέπει να αποφεύγονται καθώς συνοδεύονται από έναν αριθμό μειονεκτημάτων:

- Σπάνια παρέχουν τη δυνατότητα αρμονικής και σταθερής χάραξης, προσαρμοσμένης στο τοπίο.
- Δυσχεραίνουν την εκτίμηση των αποστάσεων και ταχυτήτων των προπορευόμενων και επόμενων καθώς και των αντίθετα κινούμενων οχημάτων.
- Παρασύρουν τον οδηγό σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Μειώνουν την κυκλοφοριακή ασφάλεια καθώς προκαλούν μονοτονία, ενδεχόμενα και κόπωση.
- Ακόμη, όπως προσθέτει ο Κοφίτσας Ι. (1986) στο βιβλίο του, ενδέχεται να οδηγήσουν σε θάμβωση του οδηγού από τους προβολείς των αντίθετα κινούμενων οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

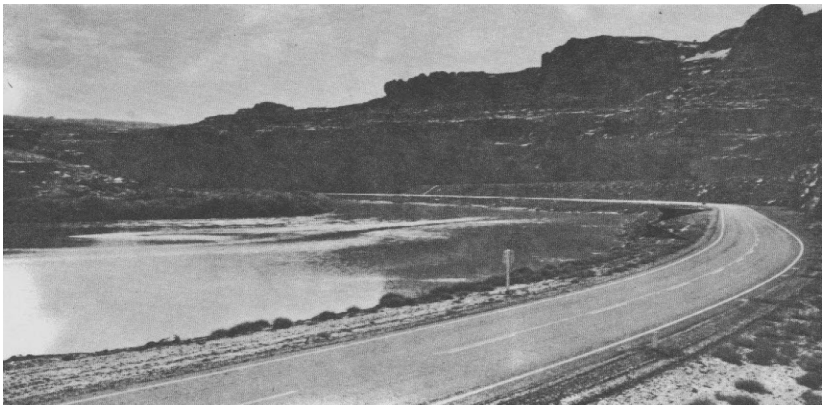
Για να αμβλυνθεί λοιπόν η δυσμενής εντύπωση που προκαλείται από την πολλές φορές επιβεβλημένη για άλλους λόγους οριζοντιογραφική ευθυγραμμία, συνιστάται αυτή να συνοδεύεται από κοίλωμα με μεγάλη ακτίνα τόξου στρογγύλευσης στη μηκοτομή (Σχήμα 2-3). Ακόμη, ενδέχεται να είναι προτιμότερη η χρήση οριζοντιογραφικής καμπύλης με ιδιαίτερα μεγάλη ακτίνα [4]. Για παράδειγμα, σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες με ήπια κατά μήκος κλίση, ένα αντίθετα κινούμενο όχημα σε απόσταση μεγαλύτερη από 2,5 χιλιόμετρα, φαίνεται ακίνητο. Οι δύο παραπάνω προτεινόμενες εναλλακτικές λύσεις όμως, παρέχουν εναλλαγή προοπτικών εικόνων οπότε επιτρέπουν κάποια εκτίμηση της απόσταση και της ταχύτητας [4].



Σχήμα 2-3: Ευθυγραμμία α) με σταθερή κατά μήκος κλίση και β) σε κοίλωμα μεγάλης ακτίνας [25]

Ακόμη, στις RAA [16] επισημαίνεται πως η διάταξη μικρών ενδιάμεσων ευθυγραμμιών μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων πρέπει να αποφεύγεται. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, προτείνεται ένα ελάχιστο μήκος για την ενδιάμεση ευθυγραμμία έτσι ώστε αυτή να αναδεικνύεται ως αυτόνομο στοιχείο μελέτης. Το φαινόμενο επισημαίνει και ο Κοφίτσας Ι., από το βιβλίο του οποίου [26] λήφθηκε η φωτ. 2-3. Το φαινόμενο μελετήθηκε μεταξύ άλλων και στην εργασία των Janikula και Garrick [12], οι οποίοι το ενέταξαν στην κατηγορία “broken-back horizontal curve” και επεσήμαναν πως είναι ανεπιθύμητο καθώς δημιουργεί ασυνεχή προοπτική εικόνα και δεν ανταποκρίνεται σε αυτό που ο οδηγός περιμένει να αντιμετωπίσει.

Τέλος, όπως τονίζουν οι Αυστραλιανές οδηγίες [4] , οι μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες είναι επιρρεπείς στο φαινόμενο «λούνα παρκ» (roller coaster) το οποίο αναφέρεται και παρακάτω.



Φωτ. 2-3: Μικρή ενδιάμεση ευθυγραμμία μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων [26]

2.4.2 Οριζοντιογραφική καμπύλη

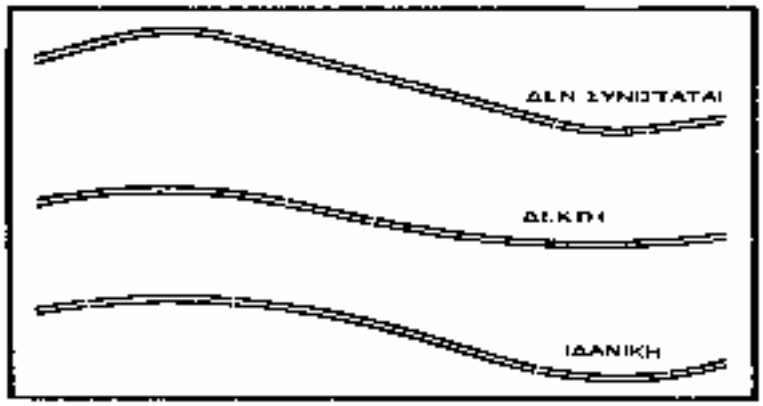
Την αναγκαιότητα κατανόησης της προοπτικής εικόνας που λαμβάνει ο οδηγός σε μία οριζοντιογραφική καμπύλη τονίζουν τόσο η εργασία της Zakowska (1999) όσο και των Bidulka, Sayed και Hassan (2002) αναφέροντας πως έχει παρατηρηθεί ότι τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε οριζοντιογραφικές καμπύλες είναι περισσότερα από αυτά που συμβαίνουν σε αντίστοιχες ευθυγραμμίες.

Οι RAA [16] αναφέρουν πως οι ακτίνες των κυκλικών τόξων πρέπει να είναι τόσο μεγάλες ώστε το μέγεθος και η σειρά τους να εναρμονίζονται με το φυσικό τοπίο και τα χαρακτηριστικά στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου και, κατά περίπτωση, να προσαρμόζονται προσεκτικά στις απαιτήσεις των παρόδιων χρήσεων γης και της αρμονικής χάραξης στο χώρο.

Ακόμη, επισημαίνουν τη σημασία της προσαρμογής διαδοχικών ακτινών κυκλικών τόξων, καθώς αυτή προάγει τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και, συνεπώς, έναν ασφαλή τρόπο οδήγησης. Γι' αυτό συνιστούν στις διαδοχικές ακτίνες κυκλικών τόξων, εφόσον $R_1 \leq 1500\text{m}$, να τηρείται η προϋπόθεση: $R_1 / R_2 \leq 1{,}5$. Η σημασία της αλληλοδιαδοχής κυκλικών τόξων με παρόμοιες ακτίνες επιβεβαιώθηκε και από την έρευνα των Janikula και Garrick (2002), οι οποίοι, μέσα από μία νέα τεχνική τρισδιάστατης δυναμικής απεικόνισης, μελέτησαν μια σειρά οδικών χωρικών στοιχείων.

Και στις Αμερικανικές οδηγίες [1] επισημαίνεται ότι θα πρέπει να αποφεύγονται απότομες μεταβάσεις από μεγάλες σε μικρές ακτίνες και να επιδιώκεται βαθμιαία μείωσή τους, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους οδηγούς να προσαρμόσουν την ταχύτητά τους στις νέες συνθήκες με ασφάλεια.

Τόσο στις AASHTO [1] όσο και στις RAA [16] τονίζεται πως στην οριζοντιογραφία θα πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των μηκών των ευθύγραμμων τμημάτων και των καμπυλών προκειμένου να ενισχύεται η προοπτική εικόνα της οδού. Έτσι, οι RAA προτείνουν μία ελάχιστη τιμή ακτίνας για κυκλικά τόξα που έπονται ή προηγούνται ευθυγραμμιών μεγάλου μήκους ενώ οι AASHTO συνιστούν πιο καμπυλόγραμμη χάραξη με αρμονικότερη σχέση μεταξύ ευθυγραμμίας και καμπύλης ή ακόμη και αλληλουχία τόξων σε όλο το οδικό τμήμα (Σχήμα 2-4). Επισήμανση για τη χρήση μεγάλων κυκλικών τόξων στο τέλος μεγάλων ευθυγραμμιών και ειδικά όταν είναι ορατά στον οδηγό από μεγάλη απόσταση, καθώς μια μικρή καμπύλη ενδέχεται να δώσει στον οδηγό την εσφαλμένη εντύπωση ότι η οδός αποκλίνει από την ευθυγραμμία πιο απότομα από ότι στην πραγματικότητα, γίνεται και στις Αυστραλιανές οδηγίες.



Σχήμα 2-4: α) Αποτυχημένος, β) Αποδεκτός και γ) ορθός συνδυασμός ευθυγραμμιών και καμπυλών [26]

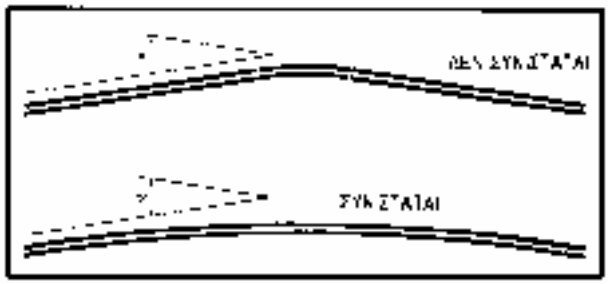
Τόσο στις οδηγίες RAA 2008 όσο στις AASHTO 2004 αλλά και στις Austroads 2009, επισημαίνεται το επικίνδυνο φαινόμενο της "οπτικής θλάσης" (optical break), το οποίο είναι δυνατό να εμφανιστεί στην οριζοντιογραφία σε ένα μεμονωμένο, μικρού μήκους κυκλικό τόξο με μικρή γωνία αλλαγής διεύθυνσης, διότι ο οδηγός το αντιλαμβάνεται ως απότομη αλλαγή γωνίας. Ακόμα και για την ίδια γωνία εκτροπής, η μικρή καμπύλη ενδέχεται να δώσει την εντύπωση έντονης λοξότητας, σαν οριζόντιο "τίναγμα" [4] (Σχήμα 2-6). Το φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί με επιλογή μεγαλύτερων ακτινών κυκλικών τόξων και καμπυλών συναρμογής μεγαλύτερου μήκους.

Στις Austroads επισημαίνεται, επίσης, το φτωχό σε αποτέλεσμα φαινόμενο της αλληλοδιαδοχής μικρών οριζοντιογραφικών καμπυλών (Σχ. 2-5) Ακόμη, προτείνεται μεγάλες οριζοντιογραφικές καμπύλες να χρησιμοποιούνται για παράκαμψη εμποδίων. Μάλιστα, είναι επιθυμητό η καμπύλη να ξεκινά πριν ο οδηγός καταλάβει το λόγο αυτής της παράκαμψης [4]

Σχήμα2-5: Αλληλοδιαδοχή μικρών καμπυλών [4]

Σχήμα 2-6: Σύγκριση οριζοντιογραφικών καμπυλών μικρής και μεγάλης ακτίνας. Η μικρή δίνει την εντύπωση έντονης κάμψης [4]

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σύνδεση δύο ευθυγραμμιών με κυκλικό τόξο, η οποία πρέπει να γίνεται με επιλογή όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ακτίνας αλλά και με χρήση μεγάλου μήκους καμπυλών συναρμογής, προκειμένου να αποφευχθεί η οπτική θλάση. Μάλιστα, η επιλεγόμενη ακτίνα πρέπει να είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μικρή είναι η αλλαγή κατεύθυνσης της οδού [26] (Σχήμα 2-7).



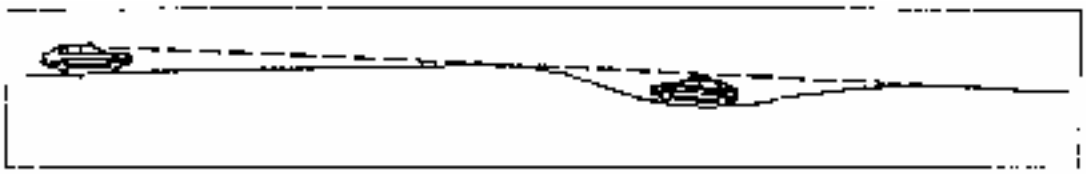
Σχήμα 2-7: Η σύνδεση δύο ευθυγραμμιών με κυκλικό τόξο πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακτίνα [26]

2.5 Επιρροή της μηκοτομής στην προοπτική εικόνα της οδού

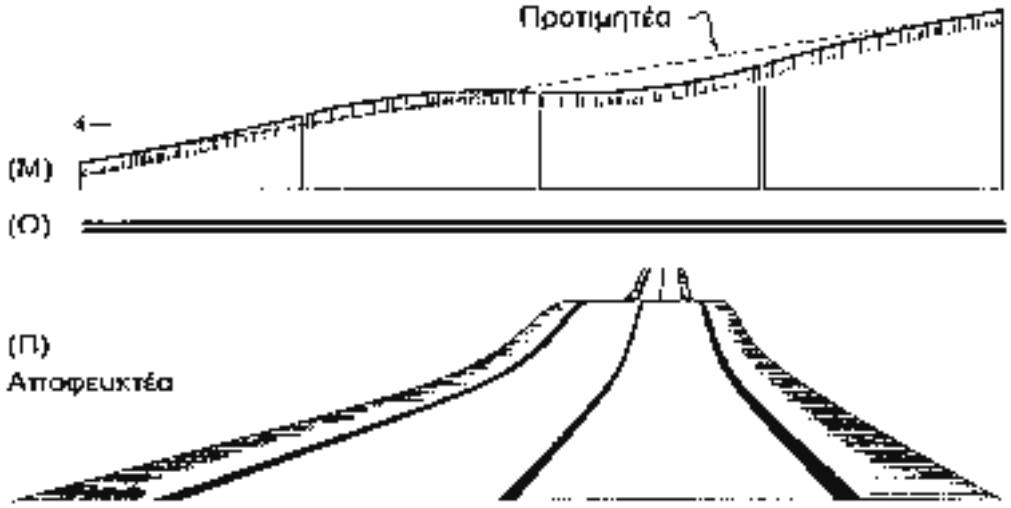
2.5.1 Κατά μήκος κλίση

Σε όλες οι σύγχρονες οδηγίες Οδοποιίας ([1], [4], [16]) επισημαίνεται πως η σταθερή κατά μήκος κλίση πρέπει σαφώς να προτιμάται, καθώς οι διαδοχικές κοίλες και κυρτές καμπύλες (οι οποίες προκύπτουν από την επιθυμία μείωσης των όγκων των χωματισμών και των αποστάσεων μεταφοράς τους) οδηγούν σε διαδοχικές βυθίσεις της οδού που περιορίζουν την ορατότητα και ενδέχεται να οδηγήσουν σε ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Μάλιστα, στις Αυστραλιανές οδηγίες [4] επισημαίνεται πως όπου η διόρθωση υπάρχοντος βυθίσματος δεν είναι δυνατή λόγω πολύ υψηλού κόστους, οι οδηγοί θα πρέπει να προειδοποιούνται με τη βοήθεια κατάλληλης σήμανσης.

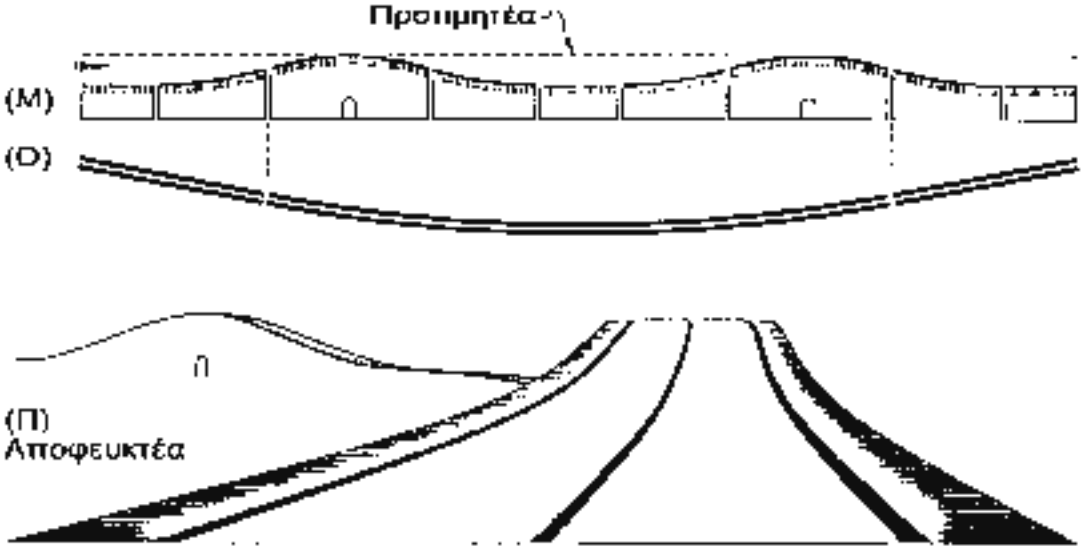
Οι Γερμανικές οδηγίες επισημαίνουν το επικίνδυνο φαινόμενο του βυθίσματος το οποίο αναφέρουν και οι Αμερικανικές οδηγίες ως “φαινόμενο λούνα παρκ” (“roller coaster effect”), το οποίο πρέπει να αποφεύγεται. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν η χάραξη ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν τμήματα της οδού που χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού και επανεμφανίζονται στην προέκταση του διανυόμενου τμήματος (Σχ. 2-8). Σε περίπτωση μεγάλου βυθίσματος υπάρχει τμήμα της οδού χωρίς καθόλου ορατότητα, ενώ σε περίπτωση μικρού βυθίσματος ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση ώστε να πραγματοποιήσει έναν ελιγμό. Δύο προοπτικές εικόνες τυπικών παραδειγμάτων βυθίσματος, απεικονίζονται στα Σχήματα 2-9 και 2-10.



Σχήμα 2-8: Μηκοτομή με τμήμα της οδού να χάνεται από το οπτικό πεδίο (βύθισμα) [4]



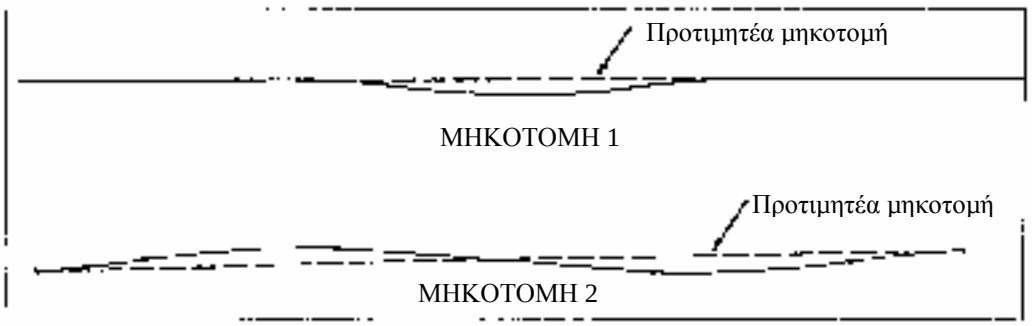
Σχήμα 2-9: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία και πρόταση εναλλακτικής μηκοτομής για αντιμετώπιση του προβλήματος [30]



Σχήμα 2-10: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική καμπύλη και πρόταση εναλλακτικής μηκοτομής για αντιμετώπιση του προβλήματος [30]

Οι Austroads αναφέρουν τόσο το δυσμενές για την ορατότητα φαινόμενο του βυθίσματος (hidden dip), για το οποίο παρουσιάζουν σχηματικά τρόπους αντιμετώπισης για δύο διαφορετικές περιπτώσεις μηκοτομής (Σχ. 2-11) όσο και το φαινόμενο "λούνα παρκ" το οποίο συνοδεύεται από διαδοχικά βυθίσματα και είναι πιθανό να εμφανιστεί σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες (Φωτ. 2-4). Οι οδηγίες αυτές επισημαίνουν πως το φαινόμενο αυτό δεν αποφεύγεται με επιλογή κατάλληλων ακτινών καμπυλότητας στα δύο επίπεδα ξεχωριστά

Φωτ. 2-4: Φαινόμενο "roller-coaster"



Σχήμα 2-11: Τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου του βυθίσματος [4].

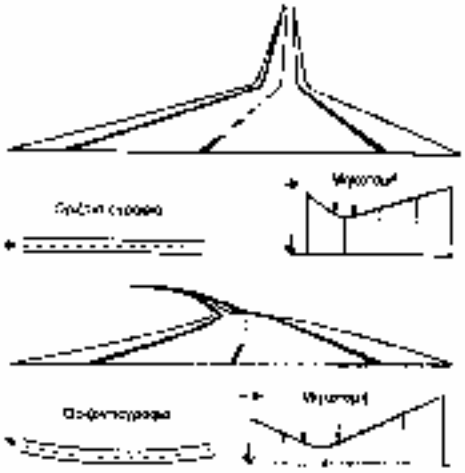
Στις Αμερικανικές οδηγίες [1] επισημαίνεται πως είναι προτιμότερη μία μη τεταμένη μηκοτομή, με βαθμιαίες μεταβολές της κατά μήκους κλίσης. Μεγάλες αλλαγές της κατά μήκους κλίσης σε περιορισμένο μήκος οδού, προκαλούν οπτικό κύρτωμα (Σχήμα 2-12)

Σχήμα 2-12: Οπτικό κύρτωμα λόγω τεταμένης μηκοτομής [26]

Ακόμη, στις Αμερικανικές οδηγίες αναφέρεται πως είναι προτιμότερο να τοποθετούνται οι πιο απότομες κλίσεις στη βάση μιας ανηφόρας και οι πιο απαλές προς την κορυφή, ή να τεμαχίζονται οι μεγάλου μήκους αναβάσεις σε διαστήματα πιο επίπεδων κλίσεων, παρά να παρουσιάζεται μία μονοκόμματη κλίση που βρίσκεται απλώς ελάχιστα κάτω από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο.

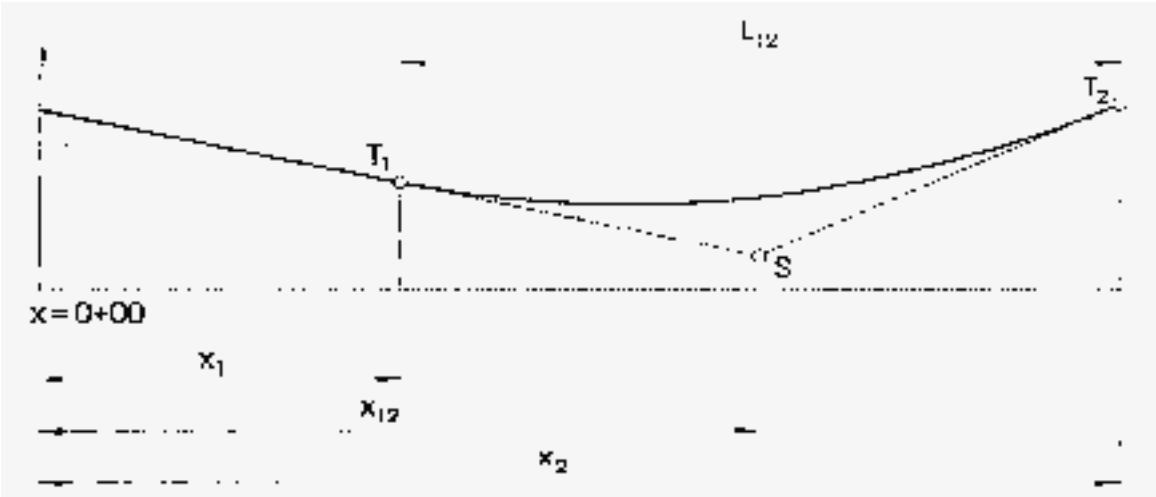
2.5.2 Κοίλωμα

Όπως αναφέρουν και οι Smith και Lamm (1993), το κοίλωμα είναι το γεωμετρικό στοιχείο με την καλύτερη οπτική καθοδήγηση στο χώρο. Η μόνη εξαίρεση είναι η περίπτωση μικρού μήκους κοιλώματος μεταξύ μεγάλων οριζόντιων ευθυγραμμιών με σταθερή κατά μήκος κλίση, σχεδιασμός ο οποίος πρέπει να αποφεύγεται. Το φαινόμενο αναφέρεται και στις Γερμανικές οδηγίες με την επισήμανση ότι δημιουργεί οπτική θλάση στην περίπτωση οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας ή οπτική στρέβλωση στην περίπτωση οριζοντιογραφικής καμπύλης (Σχ. 2-13). Στις Αυστραλιανές οδηγίες [4] αναφέρεται πως γενικά, πρέπει να προτιμούνται μεγάλου μήκους κοίλες καμπύλες, καθώς παρέχουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Επίσης, επισημαίνεται πως ένα μεμονωμένο κοίλωμα δείχνει πάντα καλύτερο από δύο μικρά κοιλώματα σε γειτνίαση.



Σχήμα 2-13: Μικρό κοίλωμα μεταξύ τμημάτων με σταθερή κλίση σε οριζοντιογραφική α) ευθυγραμμία και β) καμπύλη [25]

Στην έρευνα των Smith και Lamm (1993) αναφέρεται ότι για να αποφευχθεί το φαινόμενο της οπτικής θλάσης, το μήκος της κοίλης καμπύλης μηκοτομής (L_{12}) πρέπει να είναι περίπου ίσο με την απόσταση από την οποία το κοίλωμα γίνεται αντιληπτό από τον οδηγό (x_{12}) ή, τουλάχιστον ίσο με το 60% αυτής (Σχήμα 2-14). Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ως απόσταση x_{12} θεωρείται η οριζόντια απόσταση από το σημείο όπου βρίσκεται ο οδηγός έως το μέσο του κοιλώματος.



Σχήμα 2-14: Σχέση μήκους κοιλώματος – απόστασης κορυφής κοίλης καμπύλης [30]

Η απόσταση από την οποία και μετά το κοίλωμα δεν παρουσιάζει οπτική θλάση, άρα από την οποία θα πρέπει αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον οδηγό για πρώτη φορά, διερευνήθηκε περαιτέρω στη διπλωματική εργασία του Μπιμπάκη Ι. για το Ε.Μ.Π [27]. Ένας από τους στόχους της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν να προκύψουν κάποια διαστήματα τιμών για το λόγο της απόστασης x_{12} (εναλλακτικά: d) προς το μήκος του κοιλώματος L_{12} (εναλλακτικά: l) για τα οποία η χάραξη χαρακτηρίζεται ως "κακή', "αποδεκτή" και "καλή", με γνώμονα την οπτική εντύπωση του οδηγού. Για το σκοπό αυτό, παράχθηκε μια σειρά προοπτικών εικόνων με διαφορετικές τιμές του λόγου l/d, με τη βοήθεια του προγράμματος οδοποιίας InRoads, οι οποίες δόθηκαν προς αξιολόγηση σε έναν αριθμό οδηγών. Ως αποτέλεσμα της διερεύνησης αυτής, προέκυψε ότι η απόσταση από την οποία το κοίλωμα γίνεται για πρώτη φορά αντιληπτό από τον οδηγό δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνάει το 1.30 του μήκους του κοιλώματος αυτού ($\max d = 1.30 \cdot l$). Για να είναι, όμως, το αποτέλεσμα της χάραξης ευχάριστο στο χρήστη, προτείνεται η απόσταση αυτή να είναι ίση ή μικρότερη του μήκους του κοιλώματος.

Με το θέμα αυτό ασχολήθηκε και η Ε. Ταϊγανίδη στη διπλωματική της εργασία στο Ε.Μ.Π [30], η οποία διαπίστωσε ότι στο κριτήριο των Smith και Lamm (1993) δε λαμβάνεται υπόψη αυτή καθ' εαυτή η απόσταση x_{12}, η οποία φαίνεται, ωστόσο, να επηρεάζει την οπτική εντύπωση της οδού, παρά μόνο ο λόγος x_{12}/L_{12}. Για το λόγο αυτό, συνέταξε προοπτικές εικόνων οδικών τμημάτων με την ίδια οριζοντιογραφία (ευθυγραμμία) και διαφορετική μηκοτομή, "παίζοντας" με τις τιμές x_1, x_2, x_{12} και L_{12}, τις εξέτασε και κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

α) Ο λόγος L_{12}/x_{12} είναι ο παράγοντας που επηρεάζει την προοπτική εικόνα του κοιλώματος, μόνο στην περίπτωση που η σύγκριση γίνεται διατηρώντας την απόσταση x_{12} σταθερή. Στην περίπτωση αυτή, επιβεβαιώνεται ότι η προοπτική εικόνα βελτιώνεται όταν η τιμή του λόγου απόσταση προς μήκος κοιλώματος μειώνεται.
β) Για την ίδια τιμή του λόγου απόστασης/μήκους, η εμφάνιση οπτικής θλάσης εξαρτάται από την τιμή της απόστασης του μέσου της καμπύλης από τη θέση του οδηγού. Μάλιστα, η προοπτική εικόνα βελτιώνεται όσο η απόσταση αυτή μειώνεται.
Συνεπώς, κατέληξε πως η ύπαρξη οπτικής θλάσης δεν εξαρτάται μόνο από την τιμή του λόγου απόστασης/μήκους αλλά και από την απόσταση του μέσου της καμπύλης από τον οδηγό. Η σύνταξη των προοπτικών εικόνων στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής εργασίας έγινε με τη μέθοδο της χάραξης με τη χρήση των σημείων φυγής (Taiganidis and Kanellaidis 1999).

2.5.3 Κύρτωμα

Η επιρροή των κυρτών καμπυλών με μικρές ακτίνες στην ορατότητα είναι δυσμενής. Σε περίπτωση κυρτών καμπυλών που παρέχουν εποπτικότητα, θα πρέπει να αποφεύγονται οι μικρές εφαπτομένες και να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν μεγαλύτερες ακτίνες, έτσι ώστε να αποφεύγονται οι οπτικές θλάσεις [26]. Οι Αυστραλιανές οδηγίες [4] επισημαίνουν πως καλό είναι να προτιμούνται κυρτές καμπύλες μεγάλου μήκους, καθώς αυτές ενισχύουν την προοπτική εικόνα της οδού. Ωστόσο, τονίζουν πως μια κυρτή καμπύλη μεγάλου μήκους ενδέχεται να παρουσιάσει πρόβλημα ασφάλειας, περιορίζοντας τη διαθέσιμη απόσταση ορατότητας.

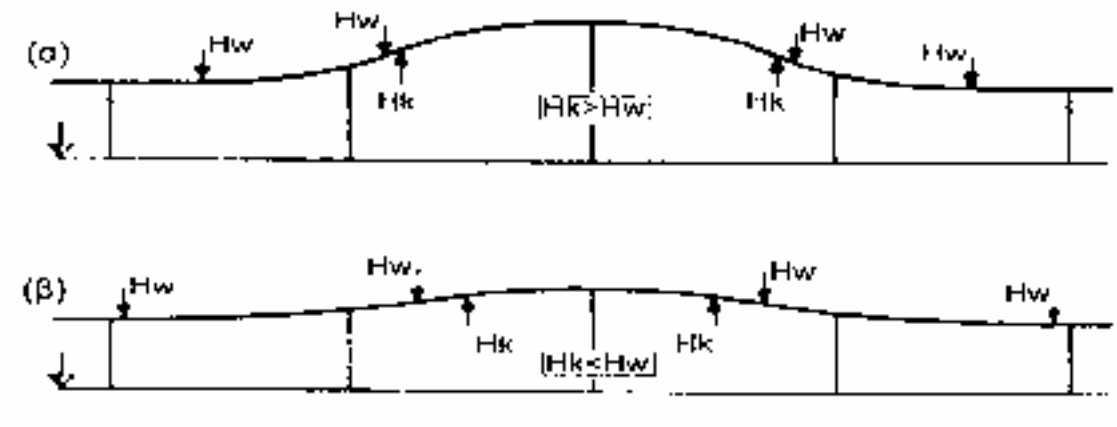
2.5.4 Αλληλουχία στοιχείων στη μηκοτομή

Τόσο στις RAA όσο και στις AASHTO αναφέρεται πως μικρό ευθύγραμμο τμήμα σταθερής κατά μήκους κλίσης μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλωμάτων, δημιουργεί εντύπωση κυρτώματος ή εντύπωση μείωσης του πλάτους του οδοστρώματος, συνεπώς πρέπει να αποφεύγεται (φαινόμενο που συναντάται με τις ονομασίες “τεθλασμένο κατάστρωμα οδού”, “broken back”, εντύπωση “σανίδας”, Σχήμα 2-15). Αντίστοιχα, μικρό ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ δύο διαδοχικών κυρτωμάτων, δημιουργεί εντύπωση κοιλώματος. Για την αποφυγή του συνιστάται η δημιουργία μιας κατακόρυφης καμπύλης με μεγαλύτερη ακτίνα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην “εντύπωση σανίδας” που δημιουργείται από μια ευθύγραμμη γέφυρα ανάμεσα σε δύο κοιλώματα. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κοιλώματα με μεγάλες ακτίνες και μεγάλου μήκους στρογγυλεύσεις [16].

Σχήμα 2-15: Τεθλασμένο κατάστρωμα οδού [26]

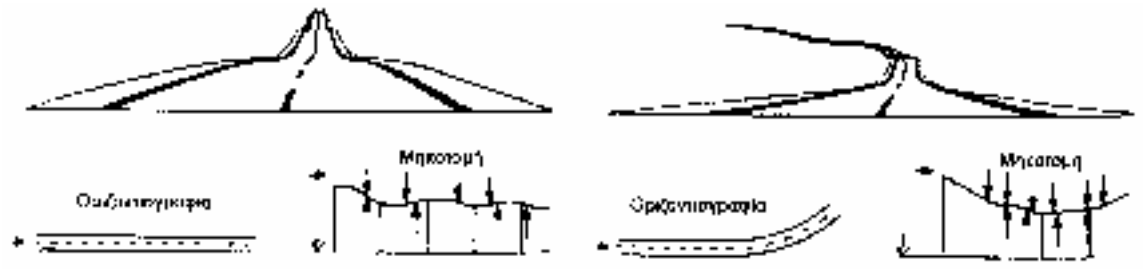
Στις RAA αναφέρεται ότι η αλληλουχία των στοιχείων στη μηκοτομή θα πρέπει να ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό τη μορφή του φυσικού τοπίου. Σε λοφώδες ή ορεινό τοπίο πρέπει, κατά κανόνα, οι ακτίνες των κυρτωμάτων να είναι μεγαλύτερες από τις ακτίνες των κοιλωμάτων έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ύπαρξη της απαιτούμενης ορατότητας, στο βαθμό που η ύπαρξη των κυρτών καμπυλών το επιτρέπει. Ωστόσο, για λόγους αρμονικής χάραξης, συνιστούν να μην

επιλέγονται ακτίνες κοιλωμάτων μικρότερες από το ήμισυ των ακτινών κυρτωμάτων. Αντίθετα, σε πεδινά εδάφη και, γενικά, σε περιοχές με μικρότερες υψομετρικές διαφορές, συνιστάται να επιλέγονται αρκετά μεγαλύτερες ακτίνες κοιλωμάτων ώστε η χάραξη να γίνει οπτικά φιλικότερη (Σχ. 2-16).



Σχήμα 2-16: Σχέση ακτινών κοίλων και κυρτών τόξων μηκοτομής α) σε λοφώδη-ορεινά και β) σε πεδινά εδάφη [25]

Στις RAA επισημαίνεται ακόμη πως εάν η χάραξη ακολουθεί μικρού μήκους ανυψώσεις του εδάφους, με πολύ έντονη προσαρμογή στο φυσικό τοπίο, χωρίς όμως να αποκρύπτονται τμήματα της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού, ενδέχεται να οδηγήσει σε τοπική υπερύψωση της επιφάνειας κυκλοφορίας, ενώ διαδοχικές τοπικές υπερυψώσεις οδηγούν σε κυματισμό (Σχήμα 2-17). Το φαινόμενο περιγράφεται και από τους AASHTO, όπου υποστηρίζεται πως σε οριζοντιογραφική καμπύλη είναι πιο έντονο, καθώς αποκαλύπτεται και η πιο μικρή υπερύψωση. Για την αποφυγή του, συνιστάται η επιλογή ενιαίας κλίσης στη μηκοτομή.



Σχήμα 2-17: Κυματισμός καταστρώματος σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία (αριστερά) και οριζοντιογραφική καμπύλη (δεξιά) [25]

2.6 Επιρροή του συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής στην προοπτική εικόνα της οδού

Η συνεργασία και η ισορροπία μεγεθών μεταξύ των οριζόντιων και κατακόρυφων στοιχείων είναι ύψιστης σημασίας για τη διασφάλιση της συνέχειας της οδού και την αποφυγή επικίνδυνων οπτικών στρεβλώσεων.

2.6.1 Σχέση μεγεθών στοιχείων οριζοντιογραφίας και μηκοτομής

Οι Janikula και Garrick (2002) αναφέρουν πως, ιδανικά, μια χάραξη πρέπει να περιλαμβάνει οριζόντιες και κατακόρυφες καμπύλες παρόμοιου μεγέθους, με τις οριζόντιες να καθοδηγούν τον οδηγό και να παραμένουν ελαφρά μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες. Σ' αυτή την κατεύθυνση, οι Smith και Lamm (1993) επισημαίνουν πως ο λόγος μεταξύ των ακτινών οριζόντιων (R) και κοίλων κατακόρυφων (H_w) καμπυλών που υπερτίθενται σε αυτές δεν μπορεί να επιλέγεται αυθαίρετα και πως για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού τρισδιάστατου αποτελέσματος, ο λόγος R/H_w πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Προτείνουν, μάλιστα, ο λόγος αυτός να μην υπερβαίνει τις τιμές 1/5 με 1/10. Προσθέτουν πως όσο πιο πεδινό είναι το έδαφος, τόσο πιο μεγάλες πρέπει να είναι οι ακτίνες των κυρτών και κοίλων τόξων στρογγύλευσης στη μηκοτομή σε σχέση με τις ακτίνες των καμπυλών της οριζοντιογραφίας.

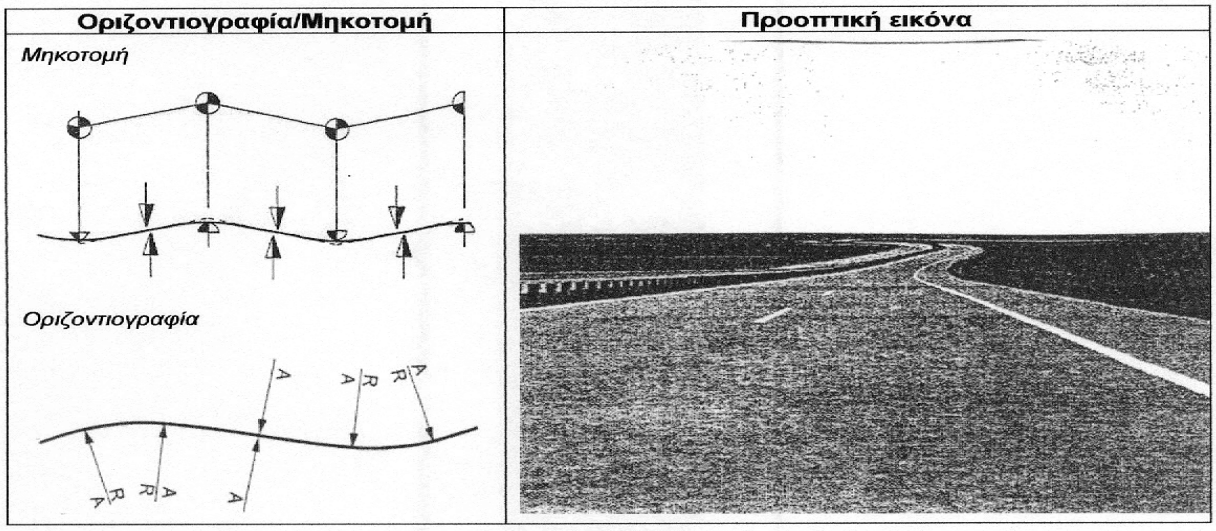
Στο ίδιο κλίμα, οι AASHTO συνιστούν η καμπυλότητα και η επιπεδότητα της οδού πρέπει να βρίσκονται σε ισορροπία. Πρέπει, δηλαδή, να αποφεύγεται ο συνδυασμός ευθυγραμμίας ή ανοιχτής καμπύλης με απότομα ή μεγάλου μήκους κεκλιμένα τμήματα καθώς και με κατακόρυφες καμπύλες μικρού μήκους, αλλά και ο συνδυασμός υπερβολικής καμπυλότητας με μικρές κατά μήκος κλίσεις. Τη συσχέτιση αυτή των μεγεθών στις δύο διαστάσεις θέλουν να προωθήσουν και οι Αυστραλιανές οδηγίες λέγοντας πως μια μικρή μετακίνηση στη μία διάσταση δεν πρέπει να συνοδεύεται από μία μεγάλη μετακίνηση στην άλλη.

Επιπλέον, σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες, το μήκος των εφαπτομένων στη μηκοτομή θα πρέπει να αντιστοιχεί στο μήκος των εφαπτομένων των στοιχείων της οριζοντιογραφίας, έτσι ώστε σε περίπτωση μικρών διαφορών της κατά μήκος κλίσης στα κυρτώματα και στα κοιλώματα, να μη δημιουργείται οπτική θλάση.

2.6.2 Σύμπτωση σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής

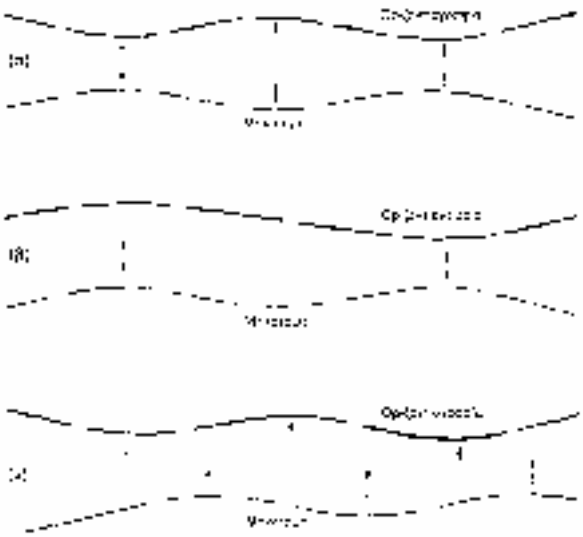
Στις RAA επισημαίνεται πως η χάραξη, είναι γενικά αποδεκτή από οπτικής απόψεως, όταν τα σημεία καμπής των καμπυλοτήτων στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή περίπου συμπίπτουν (Σχήμα 2-18). Στην περίπτωση αυτή, η προοπτική εικόνα της οδού είναι ιδιαίτερα ευχάριστη ενώ ταυτόχρονα πλεονεκτεί τόσο από άποψη δυναμικής της κίνησης των οχημάτων όσο και από άποψη απορροής των υδάτων. Αναφέρεται, ακόμη, πως από την απαίτηση αυτή εξαιρείται η περίπτωση κλειστής οριζοντιογραφικής καμπύλης σε κοίλωμα. Τα αποτελέσματα επαλληλίας οριζοντιογραφικής καμπύλης και κοιλώματος, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω. Ο παραπάνω κανόνας, προϋποθέτει ότι ο αριθμός των σημείων καμπής στην οριζοντιογρα-

φία και τη μηκοτομή είναι ίδιος. Εάν δεν μπορεί να αποφευχθεί διαφορετικός αριθμός σημείων καμπής, οι RAA αναφέρουν πως η χάραξη θεωρείται και πάλι πετυχημένη εάν τα σημεία τομής των εφαπτομένων των καμπυλών της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής βρίσκονται αρκετά κοντά μεταξύ τους, ενώ τα υπεράριθμα σημεία πέφτουν ανάμεσα.



Σχήμα 2-18: Ευχάριστη προοπτική εικόνα που επιτυγχάνεται με τη σύμπτωση των σημείων καμπής σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή [16]

Οι AASHTO επίσης περικλείουν τις παραπάνω οδηγίες, σημειώνοντας πως στην περίπτωση που το πλήθος των κορυφών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής διαφέρει, είναι δυνατό να παραληφθεί μια φάση. Με αυτό τον τρόπο, η χάραξη θεωρείται αποδεκτή. Τέλος, όταν οι κορυφές της μηκοτομής συμπίπτουν με τα σημεία καμπής της οριζοντιογραφίας, δηλαδή όταν ολόκληρη η μηκοτομή είναι μετατοπισμένη κατά μισή φάση, η χάραξη θεωρείται αποτυχημένη (Σχ. 2-19). Πρέπει να σημειωθεί πως επαρκής σύμπτωση των κορυφών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής θεωρείται ότι υπάρχει όταν αυτές απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από το 1/4 του μήκους της φάσης. Τέλος, οι Austroads αναφέρουν πως οριζόντιες και κατακόρυφες καμπύλες πρέπει σχεδόν να συμπίπτουν.

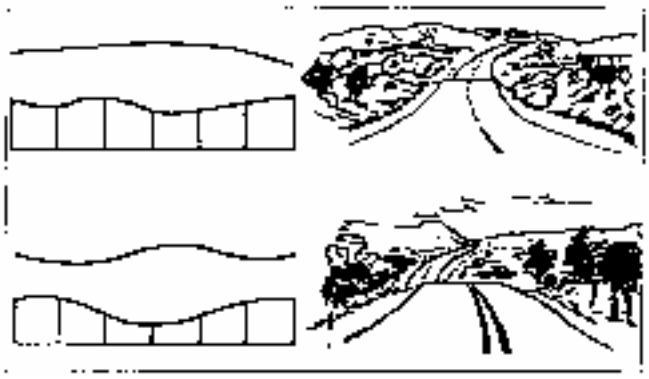


Σχήμα 2-19: Συσχέτιση κορυφών σε οριζοντιογραφία-μηκοτομή. α) Απόλυτη σύμπτωση κορυφών β) Παράλειψη μιας φάσης γ) Ανεπιτυχής συνδυασμός [1]

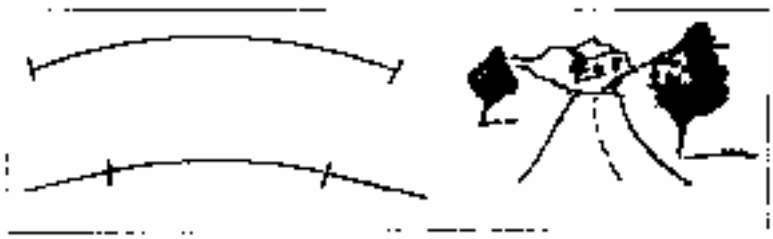
Οι Smith και Lamm (1993) επισημαίνουν πως σε λοφώδη ή ορεινά εδάφη με έντονες κατά μήκος κλίσεις, μπορεί να επιβάλλεται από την τοπογραφία η τοποθέτηση ενός τμήματος με σταθερή κατά μήκος κλίση μεταξύ του τέλους μιας κυρτής και της αρχής μιας κοίλης καμπύλης μηκοτομής. Στην περίπτωση αυτή, συνιστούν την τοποθέτηση του σημείου καμπής της οριζοντιογραφίας πιο κοντά στην αρχή του κοιλώματος έτσι ώστε ο οδηγός να έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίσει έγκαιρα την αλλαγή στην οριζοντιογραφία.

2.6.3 Επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κύρτωμα

Ενώ η σύμπτωση των σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής είναι επιθυμητή, η σύμπτωση των σημείων αρχής και τέλους οριζόντιων και κατακόρυφων καμπυλών πρέπει να αποφεύγεται. Το μάτι ενδέχεται να ενοχλείται όταν η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή αλλάζουν στο ίδιο σημείο επειδή οποιαδήποτε ανωμαλία στο σημείο αυτό τονίζεται στην προοπτική εικόνα και έχει σωρευτική επιρροή. Οι Αυστραλιανές οδηγίες τονίζουν πως αν η έναρξη μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης δεν είναι ορατή λόγω μιας κυρτής καμπύλης μηκοτομής, ο οδηγός μπορεί να μπερδευτεί και να μη στρίψει σωστά (Σχ. 2-20). Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η αλλαγή στη χάραξη θα είναι ακόμα πιο δύσκολο να γίνει αντιληπτή. Αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο ειδικά όταν απότομες καμπύλες οριζοντιογραφίας ξεκινούν στην κορυφή κυρτώματος ή κοντά σε αυτή. Οι Austroads επισημαίνουν πως αυτό αφορά και τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, οπότε συμπερασματικά, η οριζοντιογραφική καμπύλη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κυρτή καμπύλη της μηκοτομής, δηλαδή η κυρτή καμπύλη πρέπει να εμπεριέχεται στην οριζοντιογραφική (Σχ. 2-21). Το ίδιο προτείνουν και οι AASHTO [1].



Σχήμα 2-20: Έναρξη οριζοντιογραφικής καμπύλης μετά από κύρτωμα [4]



Σχήμα 2-21: Η οριζοντιογραφική καμπύλη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την καμπύλη μηκοτομής [4]

Στις Αυστραλιανές οδηγίες [4] αναφέρεται επίσης πως, αν μια κυρτή καμπύλη επικαλύπτει είτε το τέλος είτε την αρχή μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης, είτε και τα δύο της άκρα, τότε το καλύτερο είναι οι δύο καμπύλες να διαχωριστούν πλήρως. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό και, επιπλέον, η οριζοντιογραφική καμπύλη είναι μικρής ακτίνας, τότε η κυρτή καμπύλη πρέπει να προσαρμοστεί έτσι ώστε τα άκρα της να συμπέσουν με τα άκρα της άλλης. Εάν η οριζοντιογραφική καμπύλη είναι μεγαλύτερης ακτίνας και δεν είναι ούτε αυτό εφικτό, τότε πρέπει να συμπέσουν τουλάχιστον είτε τα σημεία αρχής είτε τα σημεία τέλους των δύο καμπυλών.

Η έρευνα των Bidulka, Sayed και Hassan (2002), εξετάζοντας τη στρέβλωση της προοπτικής εικόνας λόγω επαλληλίας οριζοντιογραφικής καμπύλης με κύρτωμα, καταλήγει στο συμπέρασμα πως όσο μεγαλύτερη είναι η αλγεβρική διαφορά των κατά μήκος κλίσεων εκατέρωθεν της κορυφής του κυρτώματος και όσο πιο απότομο είναι το κύρτωμα, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των οδηγών που αντιλαμβάνονται εσφαλμένα την καμπυλότητα. Από την άλλη, στην ίδια έρευνα, καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η αύξηση της διαθέσιμης απόστασης ορατότητας αυξάνει το ποσοστό αυτό των οδηγών. Οι απότομες κυρτές καμπύλες, όμως, περιορίζουν πολύ την ορατότητα, οπότε μπορεί να θεωρηθεί πως στην περίπτωση αυτή τα δύο συμπεράσματα της έρευνας αντιφάσκουν.

Τόσο στις οδηγίες Austroads [4] όσο και στις AASHTO [1] αναφέρεται πως δεν πρέπει να επιλέγονται οι ελάχιστες ακτίνες οριζοντιογραφικών καμπυλών σε συνδυασμό με κυρτές καμπύλες μηκοτομής, καθώς μια κυρτή καμπύλη ενδέχεται να επιδεινώσει τα χαρακτηριστικά της οριζόντιας χάραξης και να καταστήσει επικίνδυνη μια οριζοντιογραφική καμπύλη.

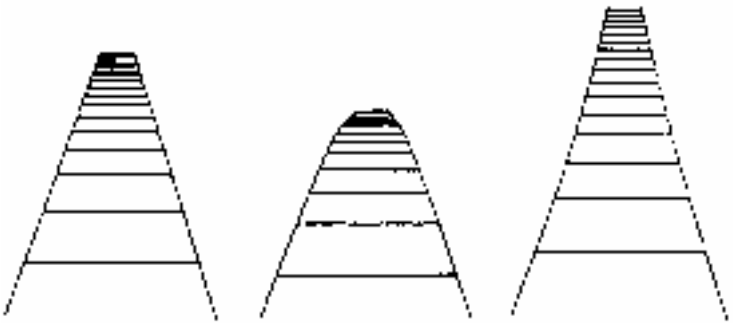
Με το θέμα της επαλληλίας οριζοντιογραφικής καμπύλης και κυρτώματος, ασχολούνται και οι Hassan και Easa (1998) [11], υποστηρίζοντας πως οι Αμερικανικές οδηγίες προτείνουν μόνο γενικές οδηγίες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων στο χώρο που προέρχονται από τη χάραξη αυτή, χωρίς να προβαίνουν σε κάποια αριθμητική ανάλυση. Στην έρευνά τους, προβαίνουν στον υπολογισμό των “κόκκινων ζωνών”, δηλαδή των περιοχών προ και επί των κυρτών καμπυλών, μέσα στις οποίες δεν πρέπει να ξεκινάει μια οριζοντιογραφική καμπύλη.

2.6.4 Επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κοίλωμα μηκοτομής

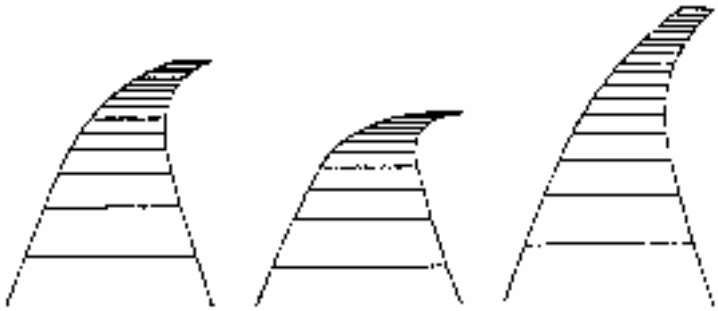
Η επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κοίλωμα ενδέχεται να οδηγήσει σε σοβαρές οπτικές θλάσεις και σε αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων. Σύμφωνα με τους Γερμανικές οδηγίες, δημιουργεί την εντύπωση ότι η οριζοντιογραφική καμπύλη είναι πιο ανοιχτή από ότι στην πραγματικότητα, επομένως συνιστάται το κοίλωμα να αρχίζει αρκετά μέσα στο οριζοντιογραφικό τόξο έτσι ώστε η καμπυλότητα της χάραξης να είναι αναγνωρίσιμη χωρίς την επίδραση του κοιλώματος στην προοπτική εικόνα, είτε η οριζοντιογραφική καμπύλη να αρχίζει περί το τέλος του κοιλώματος. Στις AASHTO αναφέρεται επί του θέματος πως η επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης μικρής ακτίνας με κοίλωμα, δημιουργεί την εντύπωση οξείας γωνίας στη χάραξη. Ακόμη, επισημαίνεται πως πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση της αρχής μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης στο κατώτατο σημείο ενός κοιλώματος, καθώς στο σημείο αυτό το όχημα έχει αναπτύξει μέγιστη ταχύτητα ενώ, ταυτόχρονα, η είσοδος σε οριζοντιογραφική καμπύλη απαιτεί μειωμένη ταχύτητα.

Οι Smith και Lamm (1993) στην εργασία τους αναδεικνύουν το πρόβλημα της λανθασμένης αντίληψης της οριζοντιογραφικής καμπυλότητας λόγω επαλληλίας με κοίλωμα μηκοτομής και επισημαίνουν πως το πρόβλημα είχε εντοπιστεί από νωρίς στη Γερμανία. Τα Σχήματα 2-22 και 2-23 δείχνουν πόσο διαφορετική είναι η προοπτική εικόνα μιας οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας και μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης, αντίστοιχα, όταν αυτές βρίσκονται σε κυρτή και ή σε κοίλη καμπύλη μηκοτομής. Στην εργασία αυτή, παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα παλαιότερης σχετικής έρευνας στη Γερμανία, η οποία μελέτησε τα ατυχήματα που συνέβησαν σε περίοδο τριών ετών σε επιλεγμένα οδικά τμήματα, όλα σε οριζοντιογραφική

καμπύλη, κάποια σε κοίλωμα και κάποια σε κύρτωμα. Από την έρευνα αυτή προέκυψε πως ο αριθμός των ατυχημάτων σε κοίλες καμπύλες μηκοτομής ήταν πολύ μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο αριθμό σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής ενώ το συχνότερο αίτιο των ατυχημάτων ήταν η ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας, γεγονός που ενισχύει την άποψη πως μια κοίλη καμπύλη μπορεί να αλλάξει προοπτική εικόνα της οριζοντιογραφικής καμπύλης στην οποία υπερτίθεται και να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων.



Σχήμα 2-22: Οριζοντιογραφική ευθυγραμμία σε α) ευθεία μηκοτομής, β) κυρτή καμπύλη και γ) κοίλη καμπύλη μηκοτομής [20]



Σχήμα 2-23: Οριζοντιογραφική καμπύλη σε α) ευθεία μηκοτομής, β) κυρτή καμπύλη και γ) κοίλη καμπύλη μηκοτομής [20].

Με το φαινόμενο αυτό ασχολείται και η διπλωματική εργασία της Ε. Ταϊγανίδη [30] η οποία, με τη μέθοδο των σημείων φυγής (Taiganidis and Kanellaidis, 1999) και με τη βοήθεια Η/Υ, δημιουργεί προοπτικές εικόνες της ίδιας καμπύλης οριζοντιογραφίας συνδυασμένης με κοίλη ή κυρτή καμπύλη ή με ευθύγραμμο τμήμα μηκοτομής και συντάσσει ερωτηματολόγια με τα οποία ζητά από ένα δείγμα οδηγών να εντοπίσουν σε ποια από τις δύο περιπτώσεις κάθε ζεύγους προοπτικών εικόνων θα ανέπτυσσαν μεγαλύτερη ταχύτητα. Στόχος της εργασίας αυτής είναι να εκτιμηθεί η επιρροή της επαλληλίας καμπύλης μηκοτομής και καμπύλης οριζοντιογραφίας στην εντύπωση που αποκομίζει ο οδηγός οχήματος για την καμπυλότητα της οδού. Το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών που ερωτήθηκαν απάντησε πως θα ανέπτυσσε μεγαλύτερη ταχύτητα στο καμπύλο τμήμα οδού του οποίου η καμπύλη του άξονα στην προοπτική εικόνα φαίνεται πιο ανοιχτή. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό θα ανέπτυσσε μεγαλύτερη ταχύτητα σε κοίλωμα από ό,τι σε κύρτωμα, όπως επίσης και σε κοίλωμα από ό,τι σε ευθύγραμμο τμήμα μηκοτομής καθώς και σε ευθύγραμμο τμήμα μηκοτομής από ό,τι σε κύρτωμα.

Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν και οι Bidulka, Sayed και Hassan (2002), εξετάζοντας όμως όχι τις ταχύτητες που θα ανέπτυσσαν οι οδηγοί στην κάθε περίπτωση αλλά την οπτική εντύπωση που δημιουργείται σε αυτούς από την επαλληλία καμπύλης οριζοντιογραφίας με κοίλωμα μηκοτομής. Για το σκοπό αυτό δημιούργησαν έναν αριθμό τρισδιάστατων δυναμικών (computer animation) και στατικών (απλά προοπτικά σχέδια στον υπολογιστή) μοντέλων και ρώτησαν 91 τυχαίους οδηγούς για την προοπτική εικόνα που βλέπουν. Μετά από στατιστική

ανάλυση των απαντήσεων που δέχθηκαν, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μια οριζοντιογραφική καμπύλη μηκοτομής φαίνεται πιο κλειστή όταν βρίσκεται σε επαλληλία με κύρτωμα ενώ φαίνεται πιο ανοιχτή όταν βρίσκεται σε επαλληλία με κοίλωμα. Μάλιστα, η λανθασμένη εντύπωση της καμπυλότητας είναι πιο συχνή στην επαλληλία με κοίλωμα. Συμπερασματικά, η επαλληλία με κοίλωμα είναι πιο επικίνδυνη καθώς οι οδηγοί ενδέχεται να αναπτύξουν μεγαλύτερες ταχύτητες, τόσο λόγο δυναμικής των οχημάτων τους όσο και λόγω της εσφαλμένης προοπτικής εικόνας που αντιλαμβάνονται. Ακόμη, η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα πως όσο μεγαλύτερο είναι το διαθέσιμο μήκος ορατότητας, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό των οδηγών που λαμβάνουν εσφαλμένη εντύπωση της καμπυλότητας. Αυτό συνάδει με το γεγονός ότι στην περίπτωση επαλληλίας με κοίλωμα, περισσότεροι οδηγοί αντιλαμβάνονται εσφαλμένα την καμπυλότητα, καθώς οι κοίλες καμπύλες προσφέρουν γενικά καλύτερη ορατότητα από ό,τι οι κυρτές. Η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας αυξάνεται γραμμικά και με την αύξηση της ακτίνας της οριζοντιογραφικής καμπύλης, αυξάνοντας την πιθανότητα για εσφαλμένη προοπτική εικόνα σε ανοιχτές οριζοντιογραφικές καμπύλες.

Το συμπέρασμα αυτό έρχεται σε αντίθεση με το συμπέρασμα της αντίστοιχης έρευνας των Dragomanovits και Kanellaidis (2007). Οι τελευταίοι, συμφωνούν στο γεγονός πως η επαλληλία κοιλώματος με οριζοντιογραφική καμπύλη δίνει την εσφαλμένη εντύπωση περισσότερο ανοιχτής καμπύλης ελλοχεύοντας τον κίνδυνο οι οδηγοί να αναπτύξουν μεγάλη ταχύτητα και να μην προλάβουν να την προσαρμόσουν στις πραγματικές απαιτήσεις τη καμπύλης, επισημαίνουν όμως πως η πιθανότητα δημιουργίας εσφαλμένης αντίληψης της καμπυλότητας αυξάνεται γραμμικά με τη μείωση της ακτίνας της οριζοντιογραφικής καμπύλης από τη μία και με την αύξηση της ακτίνας του κοιλώματος από την άλλη. Το διαφορετικό αυτό συμπέρασμα ενδέχεται να οφείλεται στη σχετική θέση των σημείων έναρξης της οριζόντιας και της κατακόρυφης καμπύλης στις συγκεκριμένες προοπτικές εικόνες που μελετήθηκαν.

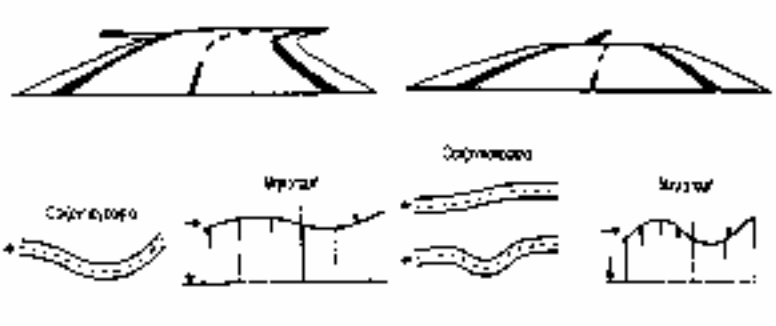
Γενικά, για την αντιμετώπιση του προβλήματος, συνιστάται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα σημεία καμπής κατά το δυνατόν να διαχωρίζονται. Συνιστάται, δηλαδή, είτε το κοίλωμα να αρχίζει πολύ μέσα στο οριζοντιογραφικό τόξο ώστε η καμπυλότητα της χάραξης να είναι αναγνωρίσιμη χωρίς την επίδραση του κοιλώματος στην προοπτική εικόνα, είτε το κοίλωμα να είναι τοποθετημένο πολύ νωρίτερα, ώστε η οριζοντιογραφική καμπύλη να αρχίζει περί το τέλος του.

Ένα τελευταίο στοιχείο που αφορά στην επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κοίλωμα μηκοτομής, αναφέρεται στις AASHTO. Σύμφωνα με αυτό, η σύμπτωση τόξου μικρής ακτίνας κατακόρυφης κοίλης καμπύλης με τόξο μεγάλης ακτίνας οριζόντιας καμπύλης πρέπει να αποφεύγεται, επειδή προκαλεί οπτικό βύθισμα (Σχ. 2-24). Το φαινόμενο του βυθίσματος έχει παρουσιασθεί αναλυτικά παραπάνω.

Σχήμα 2-24: Οπτικό βύθισμα οδού λόγω σύμπτωσης μικρού κοιλώματος με μεγάλη οριζοντιογραφική καμπύλη [26].

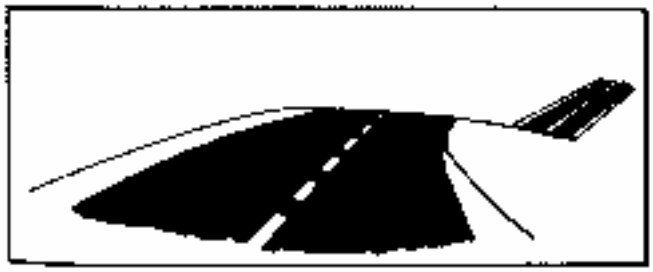
2.6.5 Φαινόμενο άλματος

Το άλμα είναι φαινόμενο όμοιο με το βύθισμα, με τη διαφορά ότι η οριζοντιογραφία περιλαμβάνει διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες. Στο άλμα, η οδός επανεμφανίζεται με διαφορετική κατεύθυνση και η αλλαγή αυτή δε γίνεται έγκαιρα αντιληπτή (Σχ. 2-25α). Όταν στην περιοχή του βυθίσματος η χάραξη κάμπτεται έντονα αλλά τοπικά, συνεχίζοντας στη συνέχεια στην αρχική της κατεύθυνση, η οδός όταν επανεμφανίζεται δεν έχει διαφορετική κατεύθυνση αλλά φαίνεται μετατοπισμένη. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται ως άλμα με μετατόπιση. [25] (Απόσπασμα από τις παλιές Γερμανικές οδηγίες) (Σχ. 2-25β). Το φαινόμενο επισημαίνεται και στις Αμερικανικές οδηγίες, όπου χαρακτηρίζεται ως ασυνέχεια. Ουσιαστικά, πρόκειται για το φαινόμενο κατά το οποίο η αλλαγή στην οριζόντια χάραξη δε γίνεται έγκαιρα αντιληπτή λόγω παρεμβαλλόμενου κυρτώματος, το οποίο έχει παρουσιασθεί παραπάνω.



Σχήμα 2-25: α) Άλμα οδού β) Άλμα με μετατόπιση [25]

Το φαινόμενο της οπτικής μετατόπισης του δρόμου μπορεί να προκληθεί και από σύμπτωση μικρών τόξων της οριζόντιας χάραξης με μικρά τόξα της κατακόρυφης (Σχ. 2-26). [26]

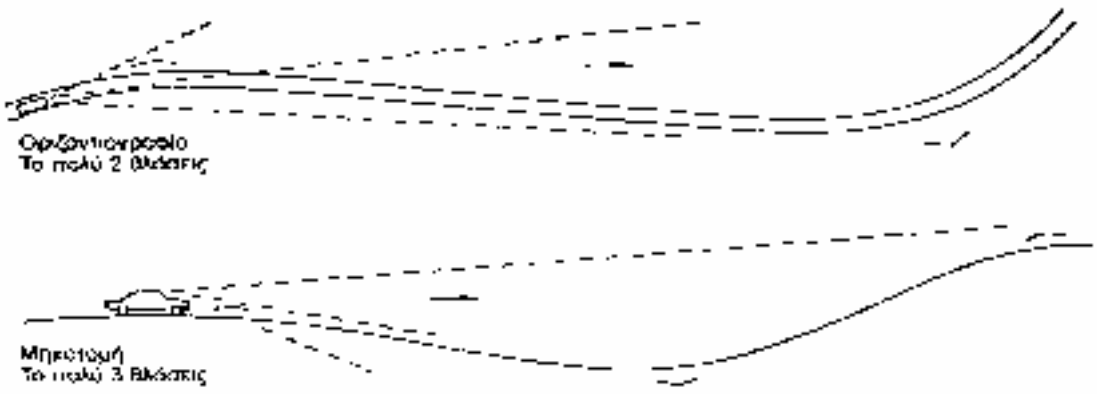


Σχήμα 2-26: Οπτική μετατόπιση οδού λόγω σύμπτωσης μικρού τόξου οριζοντιογραφίας με μικρό κυρτό τόξο μηκοτομής [26]

Φωτ. 2-5: Οπτική μετατόπιση οδού

2.6.6 Μέγιστος αριθμός θλάσεων σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή

Στις οδηγίες AASHTO αναφέρεται ότι κάθε στιγμή, δε θα πρέπει να βρίσκονται στο οπτικό πεδίο του οδηγού περισσότερες από δύο θλάσεις (αλλαγές κατεύθυνσης) στην οριζοντιογραφία και από τρεις στη μηκοτομή (Σχήμα 2-27). Η πρόταση αυτή έχει ως στόχο τη βελτίωση της αισθητικής εικόνας της οδού.

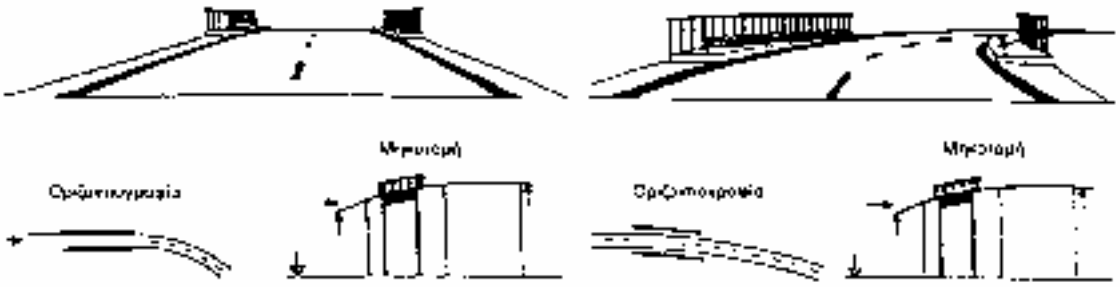


Σχήμα 2-27: Μέγιστος αριθμός θλάσεων σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή [1]

2.6.7 Χάραξη στο χώρο και ισόπεδοι κόμβοι – τεχνικά έργα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 2.5.4, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην τοποθέτηση γεφυρών μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλωμάτων. Τα τεχνικά έργα γεφυροποιίας πρέπει να εντάσσονται στην πορεία της οδού [16].

Επιπλέον, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε τα τεχνικά έργα να μην αποκρύπτουν την αρχή οριζοντιογραφικής καμπύλης. Εάν ενός τεχνικού έργου έπεται καμπύλη, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η χάραξη είναι ήδη καμπυλωμένη πριν από αυτό (Σχήμα 2-28).



Σχήμα 2-28: Τεχνικό έργο σε περιοχή οριζοντιογραφικής καμπύλης. Αριστερά, ο οδηγός δεν έχει καμία ένδειξη ότι ακολουθεί καμπύλη. Δεξιά, η καμπυλότητα του τεχνικού επιτρέπει πολύ καλή αναγνώριση της καμπύλης [25]

Τέλος, όσον αφορά στους ισόπεδους κόμβους, συνιστάται να τοποθετούνται, εφόσον είναι δυνατό, σε κοίλωμα, για λόγους καλύτερης εποπτείας του χώρου και ευκολίας στην αναγνώριση. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό να εφαρμοσθεί και για τις δύο συμβαλλόμενες οδούς, προτιμάται να βρίσκεται σε κοίλωμα η οδός με τη μικρότερη κυκλοφοριακή σημασία. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται πρωταρχική σημασία στην ορατότητα επί του κόμβου της δευτερεύουσας οδού και όχι στην ορατότητα των οδηγών που κινούνται επί της κύριας οδού και έχουν προτεραιότητα.

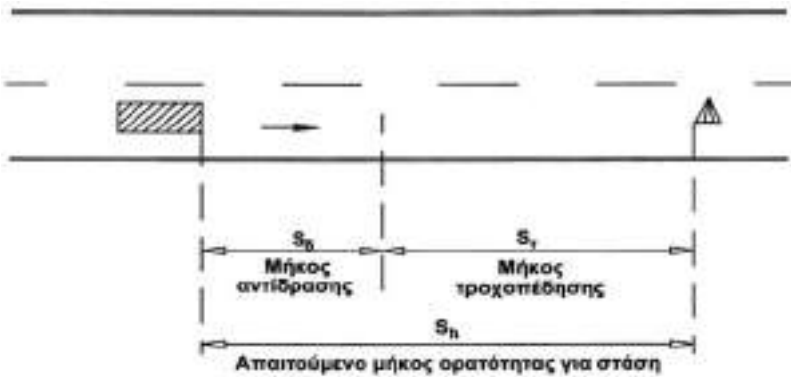
2.7 Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση S_h είναι το μήκος που χρειάζεται ένας οδηγός για να ακινητοποιήσει πλήρως και με ασφάλεια το όχημά του προ ενός εμποδίου το οποίο εμφανίζεται απροσδόκητα στο οδόστρωμα (π.χ., κυκλοφοριακή συμφόρηση) και εξαρτάται από τη συμπεριφορά του οδηγού και από τα χαρακτηριστικά του οχήματος και της οδού. Για τον προσδιορισμό της ελάχιστης τιμής της απόστασης ορατότητας για στάση, ως οριακή θεωρείται η κατάσταση στην οποία ο οδηγός ενός επιβατικού οχήματος που κινείται **σε υγρό αλλά καθαρό οδόστρωμα** με ταχύτητα ίση προς την ταχύτητα μελέτης (AASHTO 2004) ή την ταχύτητα V_{85} (RAA 2008 και OMOE 2001), αντιλαμβάνεται ένα, μικρού ύψους, μη αναμενόμενο αντικείμενο, αναγνωρίζει αυτό ως κίνδυνο, αποφασίζει και πραγματοποιεί τροχοπέδηση **με μπλοκαρισμένους τροχούς** (συνθήκες επικείμενης ολίσθησης) και ακινητοποιεί το όχημα ακριβώς πριν φτάσει στο αντικείμενο-εμπόδιο. Αν και οι περισσότεροι οδηγοί, αντί να ακινητοποιούν τα οχήματά τους, φαίνεται ότι προτιμούν να παρακάμπτουν τα εμπόδια που παρουσιάζονται απροσδόκητα στη λωρίδα τους [14], η δυνατότητα ακινητοποίησης του οχήματος προ του εμποδίου εξακολουθεί να παραμένει βασική παραδοχή στον έλεγχο επάρκειας των γεωμετρικών στοιχείων της χάραξης μιας οδού.

Αυτή η ελάχιστη τιμή της απόστασης ορατότητας για στάση που αναφέρθηκε παραπάνω, πρέπει να διατίθεται σε όλο το μήκος των οδών. Ωστόσο, όταν το πεδίο ορατότητας του οδηγού περιορίζεται συνεχώς στις ελάχιστες τιμές της ορατότητας για στάση, τότε ο οδηγός βρίσκεται σε διαρκή ένταση που προκαλεί κόπωση. Για το λόγο αυτό, επιβάλλεται να εξασφαλίζονται συνολικά στο 70% της οδού μήκη ορατότητας κατά 1.3 φορές μεγαλύτερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα. Επίσης συνιστάται οι ελάχιστες τιμές να μη χρησιμοποιούνται σε περιοχές κόμβων [28].

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση είναι το άθροισμα δύο μηκών (Σχ. 2-29):

- **του μήκους αντίδρασης (S_δ)**, που είναι η διαδρομή που διανύει το όχημα από τη στιγμή που θα αντιληφθεί ο οδηγός το εμπόδιο μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει η τροχοπέδηση, και
- **του μήκους τροχοπέδησης (S_T)**, που είναι η διαδρομή που διανύει το όχημα από τη στιγμή της τροχοπέδησης μέχρι την ακινητοποίησή του.



Σχήμα 2-29: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση [24]

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, υπάρχουν οι εξής προσεγγίσεις:

Στις AASHTO 2004 [1], το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση αναφέρεται σε όχημα που κινείται στην οδό με την **ταχύτητα μελέτης V_e** της οδού ή με ταχύτητα κοντά σε αυτήν. Σύμφωνα με αυτούς, το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_h = S_\delta + S_T = 0{,}278 \cdot V \cdot t_R + \frac{V^2}{254\left(\frac{\alpha}{9{,}81} \pm s\right)} \quad \text{όπου:}$$

S_h (m): το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, **S_δ** (m): το μήκος που διανύεται κατά το χρόνο αντίδρασης, **S_T (m):** το μήκος που διανύεται κατά την τροχοπέδηση,**V** (km/h): η ταχύτητα μελέτης του υπ' όψη οδικού τμήματος, **t_R** (sec): ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού, δηλαδή ο συνολικός χρόνος από τη στιγμή που ο οδηγός του οχήματος θα αντιληφθεί ένα εμπόδιο στην πορεία του μέχρι τη στιγμή έναρξης της τροχοπέδησης *(η τιμή των 2,5 sec θεωρείται αντιπροσωπευτική)*, **α** (m/sec^2): η μέση επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση *(θεωρείται 3,4 m/sec^2)*, **s** (%): η κατά μήκος κλίση του οδικού τμήματος (θετική για ανωφέρεια, αρνητική για κατωφέρεια), **9,81** (m/sec^2): η επιτάχυνση της βαρύτητας (g).

Το μήκος S_δ που διανύεται κατά το χρόνο αντίδρασης του οδηγού υπολογίζεται εύκολα από τη σχέση $S_\delta = (V/3{,}6) \cdot t_R = 0{,}278 \cdot V \cdot t_R$, ενώ **για τον υπολογισμό του μήκους τροχοπέδησης S_T** διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Σε οδικό τμήμα με μηδενική κατά μήκος κλίση, το S_T δίνεται από τον τύπο:

$$S_T = \frac{1}{2}\alpha t^2 = \frac{V^2}{2\alpha} \ (V \rightarrow \text{m/sec}) \quad \text{ή} \quad S_T = \frac{V^2}{2 \cdot 3{,}6^2 \cdot \alpha} = 0{,}039\frac{V^2}{\alpha} \ (V \rightarrow \text{km/h})$$

- Σε οδικό τμήμα με κατά μήκος κλίση s (%), ισχύει g · ημθ = g · εφθ οπότε:

$$S_T = 0{,}039\frac{V^2}{\alpha \pm g \cdot s} = \frac{V^2}{25{,}9 \cdot \alpha \pm 254 \cdot s} = \frac{V^2}{\frac{254 \cdot \alpha}{9{,}81} \pm 254 \cdot s} = \frac{V^2}{254\left(\frac{\alpha}{9{,}81} \pm s\right)}$$

Στις AASHTO παρατίθενται και σε πίνακα, ο οποίος δεν παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο, οι τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση σε ευθυγραμμία, για διάφορες τιμές της ταχύτητας μελέτης και της κατά μήκος κλίσης.

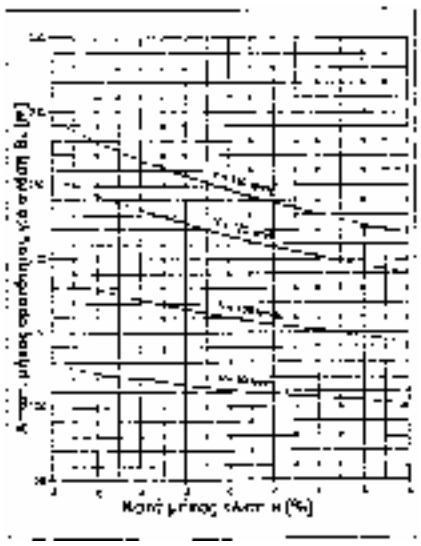
Στις οδηγίες αυτές [1] επισημαίνεται ότι οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε συνήθη επιβατικά οχήματα. Τα βαριά οχήματα, ειδικά τα φορτηγά, χρειάζονται κατά κανόνα μεγαλύτερα μήκη επιβράδυνσης. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται από τη σημαντικά υψηλότερη θέση οδήγησης που έχουν τα βαριά οχήματα σε σχέση με τα επιβατικά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το διαθέσιμο μήκος ορατότητας και να μην απαιτείται ξεχωριστός υπολογισμός απαιτούμενων μηκών ορατότητας για αυτά. Σε περιπτώσεις, πάντως, που το πλεονέκτημα της υψηλότερης θέσης οδήγησης στα φορτηγά οχήματα εξουδετερώνεται, για παράδειγμα λόγω πλευρικών εμποδίων που περιορίζουν την ορατότητα, οι AASHTO προτείνουν να αυξάνονται οι διαθέσιμες αποστάσεις ορατότητας έτσι ώστε να εξυπηρετούνται ασφαλώς και τα φορτηγά οχήματα.

Στις RAA 2008 [16], για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, χρησιμοποιείται η **λειτουργική ταχύτητα V_{85}** και η παρακάτω σχέση:

$$S_h = S_\delta + S_T = \frac{V_{85}}{3{,}6} t_R + \frac{\left(V_{85}/3{,}6\right)^2}{2\cdot\left(\alpha + g\cdot\frac{s}{100}\right)} \quad \text{όπου:}$$

$$S_\delta = \frac{V_{85}}{3{,}6} t_R \quad \text{και} \quad S_T = \frac{\left(V_{85}/3{,}6\right)^2}{2\cdot g\cdot\left(f_T + \frac{s}{100}\right)} = \frac{\left(V_{85}/3{,}6\right)^2}{2\cdot\left(\alpha + g\cdot\frac{s}{100}\right)} \quad \text{όπου:}$$

$\mathbf{S_h}$ (m): το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, $\mathbf{S_\delta}$ (m): το μήκος που διανύεται κατά το χρόνο αντίδρασης, $\mathbf{S_T}$ (m): το μήκος που διανύεται κατά την τροχοπέδηση, $\mathbf{V_{85}}$ (km/h): η λειτουργική ταχύτητα (θεωρούμενη ταχύτητα κίνησης) του οχήματος, $\mathbf{t_R}$ (sec): ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού (*θεωρείται ίσος με 2 sec*), **s** (%): η κατά μήκος κλίση (θετική για ανωφέρεια, αρνητική για κατωφέρεια), **g (m/s^2):** η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s^2), **α** (m/s^2): η μεταβιβαζόμενη καθυστέρηση πέδησης (πέδηση χωρίς ABS, *θεωρείται α=3,7 m/s^2*) , $\mathbf{f_T}$ (-): ο συντελεστής εφαπτομενικής τριβής $0{,}241\cdot\left(V_{85}/100\right)^2 - 0{,}721\cdot\left(V_{85}/100\right) + 0{,}708$ ή $f_T = \alpha/g$.



Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας, ανάλογα με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} του οχήματος και την κατά μήκος κλίση του υπ' όψη οδικού τμήματος, μπορεί να ληφθεί και από το διάγραμμα του Σχήματος 2-30 ενώ στις RAA [16] παρατίθεται και πίνακας με τις τιμές των απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση ανάλογα με την ταχύτητα V_{85} και την κατά μήκος κλίση. Στο βαθμό που δεν έχει καθοριστεί κατά τη μελέτη δεσμευτικός περιορισμός της επιτρεπόμενης ταχύτητας, οι RAA συστήνουν να τηρείται το απαιτούμενο μήκος στάσης για ταχύτητα αναφοράς V = 130 km/h.

Σχήμα 2-30: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση S_h [16]

Στις Γερμανικές οδηγίες [16] επισημαίνεται πως για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, έχουν συνυπολογισθεί οι ειδικές συνθήκες οδηγικής συμπεριφοράς σε αυτοκινητοδρόμους και πως γι' αυτό έχουν καθοριστεί, για το μήκος ορατότητας για στάση, μεγαλύτερες τιμές από τις δικαιολογημένες -από την πλευρά της φυσιολογίας- ελάχιστες τιμές του χρόνου αντίδρασης καθώς και μεγαλύτερες διαδρομές πέδησης σε περίπτωση κινδύνου από αυτές που είναι δυνατές από την άποψη της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων.

Στις OMOE 2001 [28], για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, χρησιμοποιείται η λειτουργική ταχύτητα V_{85}, όπως και στις Γερμανικές οδηγίες. Το μήκος S_h, μπορεί να ληφθεί είτε από ένα διάγραμμα, το οποίο είναι ίδιο με αυτό που δίνεται στο Σχήμα 2-30 για τις Γερμανικές οδηγίες, συναρτήσει της ταχύτητας V_{85} και της κατά μήκος κλίσης της οδού, είτε από τον παρακάτω τύπο $S_h = S_1 + S_2$ όπου:

$$S_1 = (V_{85} / 3,6) \cdot t_R$$
$$S_2 = (V_{85} / 3,6)^2 / [2 \cdot (d + g \cdot s / 100)]$$

όπου:

S_h (m): το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, **S_δ** (m): η διανυθείσα διαδρομή κατά το χρόνο αντίδρασης, **S_T** (m): το μήκος που διανύεται κατά την τροχοπέδηση, **t_R** (sec): ο χρόνος αντίδρασης *(θεωρείται t_R = 2 sec)*, **V_{85}** (km/h): η λειτουργική ταχύτητα του οχήματος, **s** (%): η κατά μήκος κλίση (θετική για ανωφέρεια, αρνητική για κατωφέρεια), **g** (m/s^2): η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s^2), **d** (m/s^2): συντελεστής εξαρτώμενος από τη V_{85} (ουσιαστικά, η μέση επιβράδυνση κατά την τροχοπέδηση), η τιμή του οποίου λαμβάνεται από τον Πίνακα 2-1:

V_{85} (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120	130
d (m/s^2)	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.4	3.3	3.1	3.0

Πίνακας 2-1: Συντελεστής d υπολογισμού του μήκους ορατότητας για στάση S_h [28]

2.8 Υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση

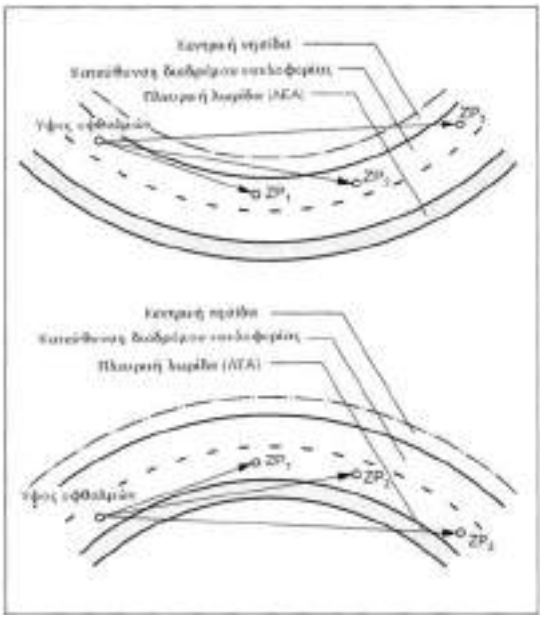
2.8.1 Γενικά

Το υφιστάμενο μήκος ορατότητας στην οδό προκύπτει από τη χάραξη κατά την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή, από τη διατομή και τα εμπόδια ορατότητας στον περιβάλλοντα χώρο της οδού [16]. Ο προσδιορισμός του γίνεται πάντοτε χωριστά για κάθε κατεύθυνση αλλά και χωριστά για την οριζόντια και την κατακόρυφη χάραξη. Επιπλέον, κατά τον προσδιορισμό του, λαμβάνονται υπόψη όλα τα αντικείμενα που υπεισέρχονται στον οδικό και στον παρόδιο χώρο όπως πινακίδες, στηθαία ασφαλείας, κτίσματα, πρανή ορυγμάτων, τοίχοι κλπ, καθώς και οι υφιστάμενες και οι προβλεπόμενες φυτεύσεις [28].

Το υφιστάμενο μήκος ορατότητας περιγράφεται με τη βοήθεια μιας ακτίνας παρατήρησης μεταξύ της θέσης του οφθαλμού του οδηγού και της θέσης του αντικειμένου [16]. Ορίζεται ως η απόσταση για την οποία ένα εμπόδιο συγκεκριμένου ύψους είναι συνεχώς ορατό στον οδηγό και μετριέται από τους οφθαλμούς του οδηγού μέχρι το εμπόδιο που θα πρωτοεμφανιστεί επί του καταστρώματος της οδού. Επομένως, θα πρέπει για τον υπολογισμό του να προσδιοριστούν πρωτίστως τα ύψη των οφθαλμών του οδηγού καθώς και του εμποδίου, πάνω από την επιφάνεια της οδού. Το τελευταίο, είναι μελετημένο έτσι ώστε να βοηθά την αναγνωρισιμότητα ενός οχήματος στο τερματικό σημείο κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τόσο οι οφθαλμοί όσο και το εμπόδιο, βρίσκονται στον άξονα της λωρίδας κυκλοφορίας στην οποία κινείται ο οδηγός [16] (Σχ. 2-31**).**

Σε οριζοντιογραφικές καμπύλες, η ορατότητα του οδηγού ενδέχεται να περιορίζεται από πλευρικά εμπόδια όπως δέντρα, κτίρια και πρανή ορυγμάτων. Σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής, ενδέχεται να περιορίζεται από την ίδια την καμπύλη. Σε κοίλες καμπύλες μηκοτομής, ενδέχεται να περιορίζεται από τους προβολείς του ίδιου του οχήματος.

Γίνεται κατανοητό ότι οι μελετητές πρέπει πάντα να ελέγχουν τα υφιστάμενα μήκη ορατότητας στην οδό και να τα συγκρίνουν με τα ελάχιστα απαιτούμενα [10].



Σχήμα 2-31: Πιθανή πορεία της ακτίνας παρατήρησης από τη θέση οφθαλμού ως τη θέση εμποδίου, για το μήκος ορατότητας για στάση σε αριστερές και δεξιές οριζοντιογραφικές καμπύλες. (ZP: πιθανές θέσεις εμποδίου) [16]

2.8.2 Ύψη οφθαλμών και εμποδίου

Στις AASHTO 2004, ως ύψος οφθαλμών για επιβατικά οχήματα, προκειμένου για τον προσδιορισμό του υφιστάμενου μήκους ορατότητας για στάση στην οδό, λαμβάνεται η τιμή $\mathbf{h_1}$ **=1,08 m.** Στην περίπτωση που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ξεχωριστός έλεγχος ορατότητας για τα φορτηγά οχήματα, προτείνεται να λαμβάνεται ως ύψος των οφθαλμών του οδηγού η τιμή $\mathbf{h_1}$ **= 2,33 m.** Στις RAA 2008, το ύψος των οφθαλμών πάνω από την επιφάνεια της οδού θεωρείται ίσο με $\mathbf{h_1}$ **= 1 m,** ενώ στις OMOE 2001 θεωρείται ίσο με $\mathbf{h_1}$ **= 1,06 m.**

Όσον αφορά στο εμπόδιο, έχει ήδη αναφερθεί πως αυτό πρέπει να έχει ένα ελάχιστο ύψος ώστε να είναι αναγνωρίσιμο. Αυτό το ελάχιστο ύψος εξαρτάται από την απόδοση της ανθρώπινης όρασης, την ταχύτητα κίνησης του οδηγού, τα οπτικά χαρακτηριστικά του εμποδίου και του οδοστρώματος, καθώς επίσης και από τις συνθήκες φωτισμού και τις καιρικές συνθήκες. Επειδή, λοιπόν, εξαρτάται από τόσες παραμέτρους, δεν έχει θεσπιστεί κάποιο ενιαίο πρότυπο που να χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των οδών.

Στις AASHTO 2004, το ύψος εμποδίου επί της οδού θεωρείται ίσο με $\mathbf{h_2}$ **= 0,60 m.** Το ύψος αυτό θεωρείται αντιπροσωπευτικό των εμποδίων που μπορεί να αποτελέσουν κίνδυνο για το όχημα, ενώ η επιλογή μικρότερης τιμής θα οδηγούσε σε σημαντικά μεγαλύτερα μήκη κυρτωμάτων, χωρίς αποδεδειγμένα ανάλογη βελτίωση της ασφάλειας, καθώς είναι αμφισβητήσιμη η ικανότητα των οδηγών να διακρίνουν μικρότερα αντικείμενα σε μεγάλες ταχύτητες και από απόσταση. Όσον αφορά στις Γερμανικές οδηγίες, σε παλαιότερες εκδόσεις, το ύψος h_2 του εμποδίου δινόταν σε πίνακα, ανάλογα με την ταχύτητα V_{85}**.** Στην έκδοση του 2008, όμως, θεωρείται **1m**, έτσι ώστε να βοηθά την έγκαιρη αναγνώριση, από τον οδηγό, ενός οχήματος σταματημένου στο τερματικό σημείο κυκλοφοριακής συμφόρησης. Τέλος, στις OMOE 2001, το ύψος του εμποδίου λαμβάνεται διαφορετικό, ανάλογα με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85}. Τα

ύψος του εμποδίου λαμβάνεται διαφορετικό, ανάλογα με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85}. Τα θεωρούμενα ύψη των επίσημων οδηγιών, βρίσκονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 2-2.

Οδηγίες / Ύψος	AASHTO	RAA	OMOE	
Οφθαλμού	1,08 m	1 m	1,06 m	
Εμποδίου	0,60 m	1 m	V_{85} (km/h)	h_2 (m)
			40	0,05
			50	0,07
			60	0,10
			70	0,13
			80	0,16
			90	0,20
			100	0,25
			110	0,30
			120	0,35
			130	0,42
			140	0,49

Πίνακας 2-2: Συγκεντρωτικός πίνακας των θεωρούμενων υψών οφθαλμού και εμποδίου από τις επίσημες οδηγίες Οδοποιίας για τον προσδιορισμό του υφιστάμενου μήκους ορατότητας για στάση.

Αναφέρεται ότι, σε περίπτωση κυρτώματος, με βάση συλλογισμούς που αφορούν την ασφάλεια, οι RAA 2008 θεωρούν το ύψος του εμποδίου ίσο με 0,50 m και όχι 1 m όπως αναγράφεται παραπάνω, προκειμένου να καθορίσουν μεγαλύτερες ακτίνες κυρτώματος από αυτές που θα χρειάζονταν.

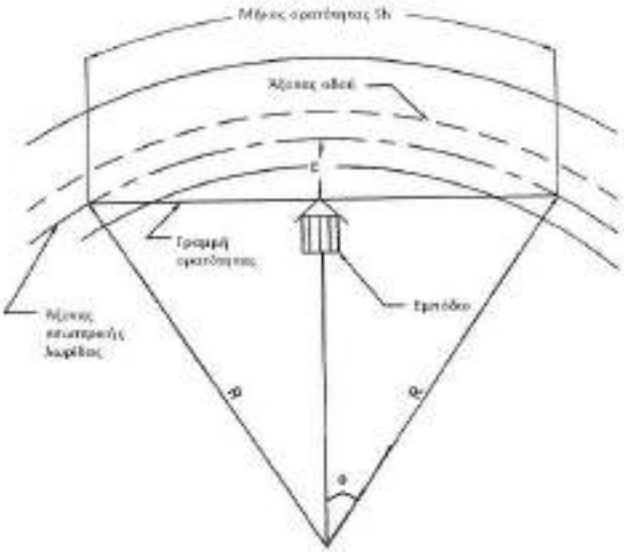
2.8.3 Μήκος ορατότητας για στάση σε καμπύλη οριζοντιογραφίας

Στις οριζοντιογραφικές καμπύλες, η γραμμή ορατότητας είναι μια χορδή της καμπύλης και το μήκος ορατότητας για στάση μετρείται κατά μήκος του άξονα της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας, κατά μήκος της καμπύλης. Επειδή στις καμπύλες το μήκος ορατότητας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, συνιστάται να ελέγχεται κάθε καμπύλη της οδού ξεχωριστά.

Σύμφωνα με τις Αμερικανικές οδηγίες [1], ένα εμπόδιο που κόβει τη γραμμή ορατότητα στην οριζόντια διάσταση, είναι τοποθετημένο σε μια απόσταση E (πλευρική εκτροπή, στις οδηγίες αναφέρεται ως HSO: Horizontal Sightline Offset) από τον άξονα της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας (Σχ.2-32). Οποιαδήποτε τέτοια απόσταση μετρείται γραφικά επί του σχήματος, στην κλίμακα του σχεδίου, και μέσω της σχέσης που ακολουθεί, η οποία βασίζεται στη γεωμετρία του οδικού τμήματος, υπολογίζεται η υφιστάμενη απόσταση ορατότητας:

$$E = R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{28,65 \cdot S}{R} \right) \right] \quad \text{όπου:}$$

E (m): η πλευρική εκτροπή, **R** (m): η ακτίνα της οριζοντιογραφικής καμπύλης και **S** (m): το υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση. Τονίζεται ότι εάν η αρχή και το τέλος της γραμμής όρασης, δηλαδή το όχημα και το εμπόδιο που περιορίζει την ορατότητα, δε βρίσκονται επί του ίδιου κυκλικού τόξου, τότε οι τιμές που λαμβάνονται από την παραπάνω σχέση είναι προσεγγιστικές και η τιμές της πλευρικής εκτροπής Ε που λαμβάνονται είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές που απαιτούνται για την εξασφάλιση των απαιτούμενων μηκών ορατότητας.



Σχήμα 2-32: Διάγραμμα στοιχείων υπολογισμού πλευρικής εκτροπής Ε [1]

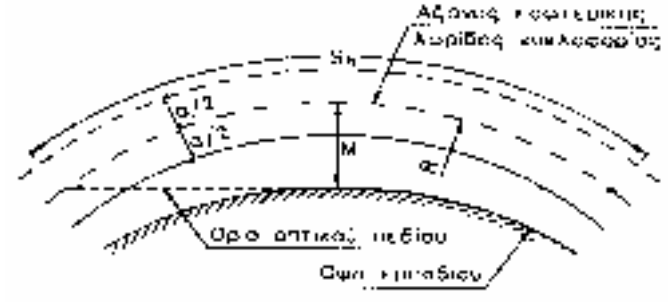
Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που παριστάνονται στο Σχήμα 2-32 και την εξίσωση που προκύπτει από αυτό, οι AASHTO έχουν συντάξει διάγραμμα που συσχετίζει την απαιτούμενη πλευρική εκτροπή Ε με την ακτίνα R της οριζοντιογραφικής καμπύλης και την ταχύτητα μελέτης της οδού στο εν λόγω οδικό τμήμα για τον έλεγχο της εξασφάλισης των απαιτούμενων μηκών ορατότητας. Αυτοκινητόδρομοι με φυσικές πλευρικές διαστάσεις μεγαλύτερες των 16 m, παρέχουν επαρκή ορατότητα ανεξάρτητα από την ταχύτητα μελέτης και την ακτίνα της οριζοντιογραφικής καμπύλης. Στις περιπτώσεις που το διάγραμμα αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί, το σχέδιο της οδού θα πρέπει να ελέγχεται ως προς την ορατότητα για στάση είτε με χρήση γραφικών είτε υπολογιστικών μεθόδων.

Σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες, [16], καθοριστικό ρόλο στον περιορισμό του μήκους ορατότητας στις αριστερές στροφές παίζουν η ακτίνα καμπύλης και η απόσταση του εμποδίου που περιορίζει την ορατότητα από τον άξονα της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας. Για τον κατά προσέγγιση έλεγχο του μήκους ορατότητας για στάση σε αριστερές στροφές, οι RAA συσχετίζουν σχηματικά την ακτίνα του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφίας και το υφιστάμενο μήκος ορατότητας (Σχήμα 2-34). Απλουστευτικά, γίνεται η παραδοχή ότι η απόσταση της θέσης οφθαλμού από την οριογραμμή της αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας είναι 1,80 m, έτσι ώστε να λαμβάνονται επαρκώς υπόψη τα διάφορα πλάτη των λωρίδων κυκλοφορίας. Για τον έλεγχο της ορατότητας, σε κάθε θέση θα πρέπει να τεκμηριώνεται ότι, για την εκάστοτε δυσμενέστερη λωρίδα κυκλοφορίας, το υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση της οδού, το οποίο προσδιορίζεται με τη βοήθεια ταινιών μήκους ορατότητας οι οποίες τοποθετούνται χωριστά σε κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας, είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το απαιτούμενο μήκος για τη θέση αυτή. Για την τεκμηρίωση των μηκών ορατότητας για στάση, οι RAA προτείνουν επίσης τον έλεγχο της τήρησης των απαιτούμενων αποστάσεων των παθητικών προστατευτικών διατάξεων ή της φύτευσης της κεντρικής νησίδας από την οριογραμμή του οδοστρώματος.

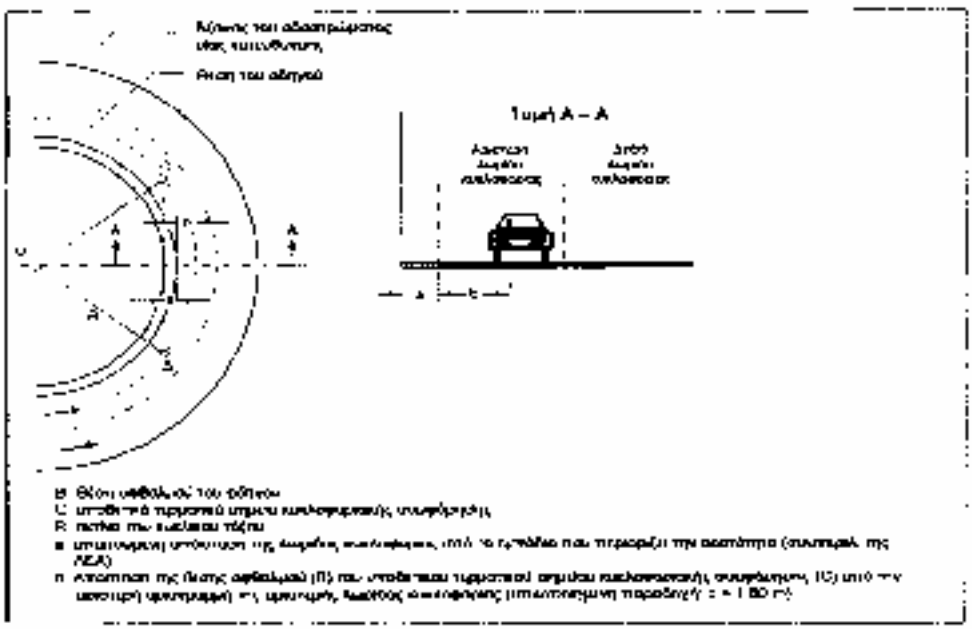
Οι OMOE 2001 [28] επισημαίνουν τη σημασία της επάρκειας του ελεύθερου εμποδίων χώρου μεταξύ της οριογραμμής κυκλοφορίας και της όψης ακίνητων εμποδίων (κεντρική νησίδα αυτοκινητοδρόμου, στηθαία ασφαλείας κοκ) για την ύπαρξη επαρκούς ορατότητας για στάση. Αναφέρουν ότι η σχέση μεταξύ της ακτίνας R, για δεδομένο πλάτος M του ελεύθερου εμποδίων πλευρικού χώρου, που προσφέρει μήκος ορατότητας για στάση S_h στο μέσο της ελεγχόμενης λωρίδας κυκλοφορίας, ορίζεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

- Όταν $S_h \le L$ τότε $S_h = 2 \cdot R \cdot \cos^{-1}(1 - M/R)$ ή $S_h = 2 \cdot (2 \cdot R \cdot M - M^2)^{0.5}$
- Όταν $S_h > L$ τότε $S_h = 4 \cdot R \cdot M / L + L/2$ όπου:

S_h (m): Το μήκος ορατότητας για στάση, μετρούμενο επί της καμπύλης στον άξονα που χαράσσεται στο μέσο της λωρίδας κυκλοφορίας, **R** (m): Η ακτίνα της καμπύλης του άξονα της λωρίδας κυκλοφορίας, **M** (m): Το πλάτος του ελεύθερου εμποδίων χώρου, μετρούμενο από το μέσο της εξεταζόμενης λωρίδας κυκλοφορίας, **L** (m): Το μήκος της καμπύλης μετρούμενο στον άξονα της εξεταζόμενης λωρίδας κυκλοφορίας. Τα παραπάνω στοιχεία ελέγχου ορατότητας αναπαρίστανται γραφικά στο Σχήμα 2-35.



Σχήμα 2-33: Στοιχεία ελέγχου ορατότητας από τον πλευρικό, ελεύθερο εμποδίων χώρο [28].



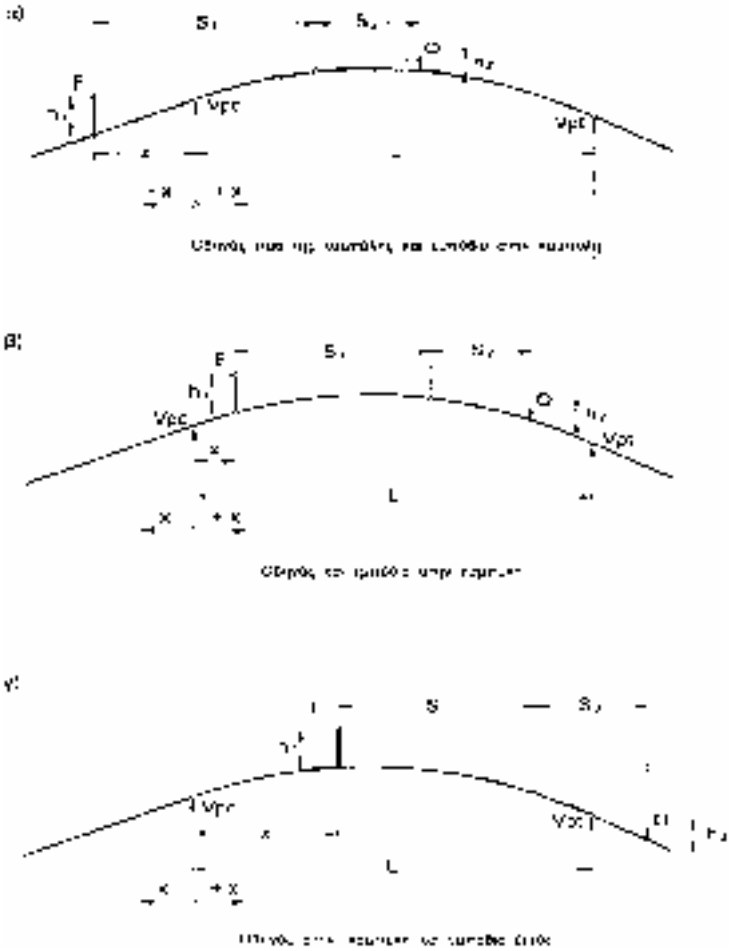
Σχήμα 2-34: Γεωμετρικό μοντέλο για τον προσδιορισμό των υφιστάμενων μηκών ορατότητας σε αριστερές στροφές οδοστρωμάτων μίας κατεύθυνσης κυκλοφορίας [16]

2.8.4 Μήκος ορατότητας για στάση σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής

Όπως σε κάθε σημείο της οδού, έτσι και σε κάθε θέση προ ή επί μιας κυρτής καμπύλης μηκοτομής πρέπει το υπάρχον μήκος ορατότητας για στάση S_a να είναι μεγαλύτερο ή ίσο προς το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση S_h στη θέση αυτή. Διαφορετικά, θα υπάρχει τμήμα της οδού με περιορισμένη ορατότητα. Αν και έρευνες έχουν δείξει ότι οι καμπύλες μηκοτομής με περιορισμένη ορατότητα για στάση δεν αντιμετωπίζουν απαραίτητα πρόβλημα ασφάλειας, εντούτοις συνιστάται κάθε καμπύλη να σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση, όπως αυτό ορίζεται από τις οδηγίες. Φυσικά, όπου είναι δυνατό, καλό είναι να παρέχονται μήκη ορατότητας μεγαλύτερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα.

Σε κάθε θέση του οδηγού σε κυρτή καμπύλη, η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας για στάση S_a ισούται με το άθροισμα δύο συνιστωσών όπως φαίνεται από τη σχέση: $S_a = S_1 + S_2$ όπου:

S_1 (m): η οριζόντια προβολή του επί μέρους μήκους από τον οφθαλμό του οδηγού Ε έως το σημείο επαφής (Τ) της γραμμής ορατότητας με την κυρτή καμπύλη και **S_2** (m): η οριζόντια προβολή του επιμέρους μήκους από το σημείο επαφής Τ έως την κορυφή του εμποδίου Ο. Τα στοιχεία αυτά αποδίδονται γραφικά στο Σχήμα 2-35, όπου παριστάνονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις θέσεων του οδηγού και του εμποδίου, με αρχή των τετμημένων το σημείο έναρξης της κυρτής καμπύλης (V_{PC}). Επισημαίνεται ότι και οι τρεις αυτές περιπτώσεις αναφέρονται στη συνηθέστερη περίπτωση στην Οδοποιία, όπου το μήκος του τόξου στρογγύλευσης L είναι μεγαλύτερο ή ίσο προς το διαθέσιμο μήκος ορατότητας.



Σχήμα 2-35: Δυνατές θέσεις οδηγού και εμποδίου σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής [25]

Αν με x συμβολιστεί η τετμημένη της θέσης του οδηγού ως προς το αρχικό σημείο της κυρτής καμπύλης, τα επιμέρους μήκη S_1 και S_2 για τυχούσα θέση του οδηγού υπολογίζονται ως εξής:

α) Επιμέρους μήκος S_1

- Για $x \geq 0$, δηλαδή όταν ο οδηγός βρίσκεται επί της κυρτής καμπύλης, τότε:

$$S_1 = \sqrt{2 \cdot H \cdot h_1}$$

- Για $x < 0$, δηλαδή όταν ο οδηγός βρίσκεται προ της κυρτής καμπύλης, τότε:

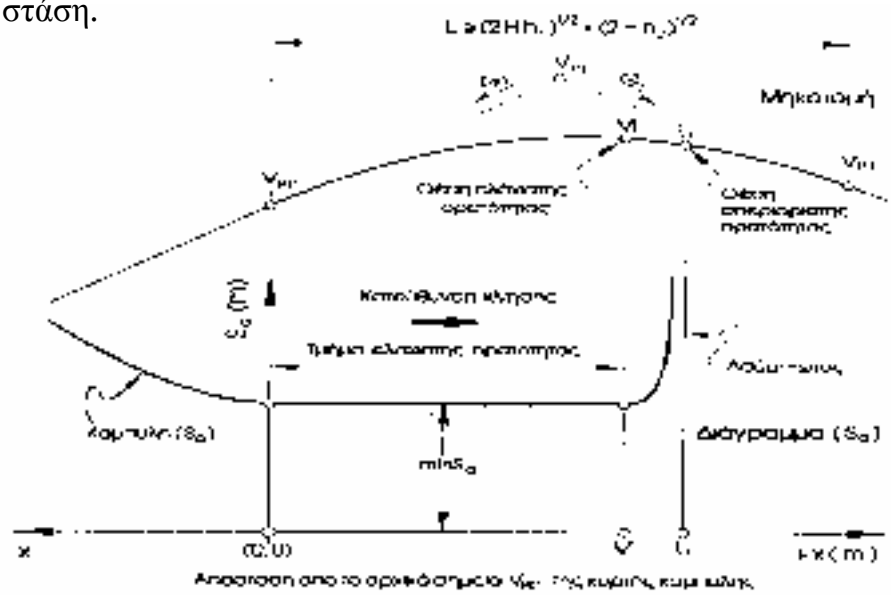
$$S_1 = \sqrt{2 \cdot H \cdot h_1 + x^2}$$

β) Επιμέρους μήκος S_2

- Όταν $L–x–S_1 \geq \left(2 \cdot H \cdot h_2\right)^{1/2}$, δηλαδή όταν το εμπόδιο βρίσκεται επί της κυρτής καμπύλης, τότε: $S_2 = \sqrt{2 \cdot H \cdot h_2}$
- Όταν $L–x–S_1 < \left(2 \cdot H \cdot h_2\right)^{1/2}$, δηλαδή όταν το εμπόδιο βρίσκεται μετά το σημείο τέλους της κυρτής καμπύλης, τότε: $S_2 = \dfrac{2 \cdot H \cdot h_2 + (L\text{-}x\text{-}S_1)^2}{2 \cdot \left(L\text{-}x\text{-}S_1\right)}$, $L–x–S_1 \neq 0$

όπου: **H** (m): η ακτίνα της κυρτής καμπύλης, **L** (m): το μήκος της κυρτής καμπύλης, $\mathbf{h_1}$ **,** $\mathbf{h_2}$ (m): το ύψος των οφθαλμών του οδηγού και το ύψος του εμποδίου αντίστοιχα.

Από τις σχέσεις αυτές, είναι δυνατός ο υπολογισμός της διαθέσιμης απόστασης ορατότητας για στάση S_a σε κάθε θέση του οδηγού καθώς και ο σχεδιασμός του διαγράμματος ορατότητας για κυρτή καμπύλη, το οποίο παριστάνει τη μεταβολή της S_a κατά την κίνηση του οχήματος από τα αριστερά προς τα δεξιά. Το Σχήμα 2-36 αποτελεί ένα παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος, με ταυτόχρονη παρουσίαση της μηκοτομής του εν λόγω οδικού τμήματος, στο οποίο φαίνονται και οι εξής δύο χαρακτηριστικές θέσεις από τις οποίες διέρχεται ο οδηγός κατά την κίνησή του επί της καμπύλης: **α) η θέση απεριόριστης ορατότητας U**, στην οποία και πέραν της οποίας η ορατότητα δεν περιορίζεται από την κυρτή καμπύλη και **β) η θέση ελάχιστης ορατότητας M**, πέραν της οποίας, στην κατεύθυνση της κίνησης, η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας S_a μόνο αυξάνεται. Για θέσεις του οδηγού μεταξύ των σημείων V_{PC} και M, το υπάρχον μήκος ορατότητας έχει σταθερή τιμή ίση με $minS_a$ ενώ για θέσεις του οδηγού πριν το σημείο V_{PC} ή μετά το M, ισχύει $S_a > minS_a$. Στη θέση U, το μήκος S_a γίεται θεωρητικά άπειρο. Ο προσδιορισμός των δύο αυτών χαρακτηριστικών θέσεων είναι απαραίτητος στη διερεύνηση της διαθέσιμης απόστασης ορατότητας για στάση.



Σχήμα 2-36: Διάγραμμα ορατότητας και χαρακτηριστικές θέσεις οδηγού σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής [31]

Οι AASHTO 2004, θεωρώντας πως τα προβλήματα ορατότητας σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής προκύπτουν από εφαρμογή μικρών κυρτών τόξων, προτείνουν για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ορατότητας για στάση στις καμπύλες αυτές την τήρηση κάποιων ελάχιστων μηκών κυρτής καμπύλης. Τα μήκη αυτά υπολογίζονται με βάση τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και τη διαφορά των κατά μήκος κλίσεων των κλάδων της μηκοτομής, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις, οι οποίες συσχετίζουν το μήκος ορατότητας με το μήκος της κυρτής καμπύλης:

- Για S<L, δηλαδή για τιμές του μήκους ορατότητας μικρότερες του μήκους της κυρτής καμπύλης: $$L = \frac{\Delta s \cdot S^2}{100\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2}$$
- Για S>L, δηλαδή για τιμές του μήκους ορατότητας μεγαλύτερες του μήκους της κυρτής καμπύλης: $$L = 2 \cdot S - \frac{200\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)^2}{\Delta s}$$ όπου:

L (m): το μήκος της κυρτής καμπύλης, **S** (m): το υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση, **Δs** (%): η διαφορά των κατά μήκος κλίσεων των κλάδων της μηκοτομής ($\Delta s = |s_1 - s_2|$), $\mathbf{h_1}$ (m): το ύψος του οφθαλμού του οδηγού, $\mathbf{h_2}$ (m): το ύψος του εμποδίου από την επιφάνεια της οδού.

Με τη βοήθεια των σχέσεων αυτών, είναι δυνατός τόσο ο υπολογισμός των υφιστάμενων μηκών ορατότητας όσο και ο έλεγχος της ορατότητας στην κυρτή καμπύλη μέσω της σύγκρισης του μήκους αυτής με το **ελάχιστο απαιτούμενο μήκος κυρτής καμπύλης** για το υπόψη οδικό τμήμα. Τα ελάχιστα μήκη κυρτών καμπυλών, έτσι ώστε να παρέχονται τα ελάχιστα μήκη ορατότητας για στάση, για διάφορες τιμές της διαφοράς κλίσεων Δs και της ταχύτητας V, προκύπτουν τόσο με τη βοήθεια των παραπάνω σχέσεων όσο και από το διάγραμμα του Σχήματος 2-37. Στο διάγραμμα αυτό, εισάγεται ο συντελεστής K, ο οποίος δίνεται από τη σχέση K = L / Δs. Ο έλεγχος μιας κυρτής καμπύλης της οδού, αναφορικά με την παρεχόμενη ορατότητα για στάση, μπορεί να γίνει μέσω απλής σύγκρισης του **K** που προκύπτει από τα γεωμετρικά της στοιχεία με το K που προκύπτει για μήκος L ίσο με το ελάχιστο απαιτούμενο(στρογγυλοποιημένο).

Στις Γερμανικές οδηγίες**,** για την περίπτωση που το μήκος της κυρτής καμπύλης είναι μεγαλύτερο από το διαθέσιμο μήκος ορατότητας, υπεισέρχεται η έννοια της ελάχιστης τιμής του διαθέσιμου μήκους ορατότητας για στάση $\min S_a$, η οποία δίνεται από τη σχέση:

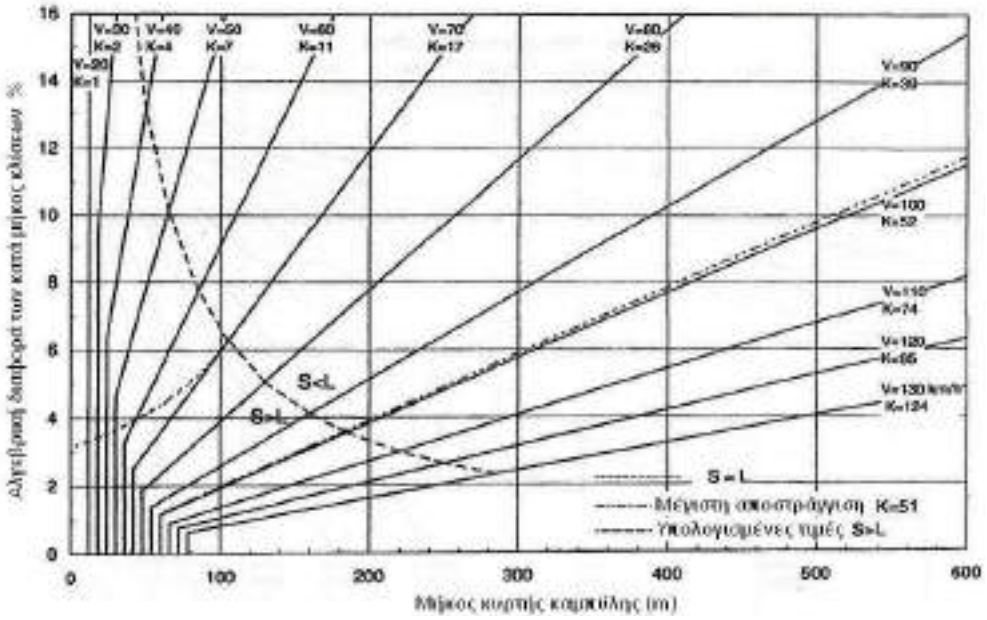
$$\min S_a = \sqrt{2 \cdot H \cdot h_1} + \sqrt{2 \cdot H \cdot h_2}$$

όπου H: η ακτίνα της κυρτής καμπύλης. Σε κάθε κυρτή καμπύλη θα πρέπει η ελάχιστη αυτή τιμή του μήκους S_a να είναι μεγαλύτερη από την τιμή του απαιτούμενου μήκους ορατότητας S_h σε κάθε θέση, δηλαδή: $\mathbf{minSa \geq S_h}$

Έτσι, προκύπτει η ακόλουθη σχέση υπολογισμού των ελάχιστων ακτινών των κυρτών καμπύλων μηκοτομής:

$$\min H = \frac{S_h^{\,2}}{2 \cdot \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)^2} \text{ (m)}$$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στις RAA 2008, με βάση συλλογισμούς που αφορούν την ασφάλεια, για παράδειγμα σε σχέση με την αναγνωρισιμότητα των οχημάτων τη νύχτα ή όταν έχει ομίχλη (ύψος προβολέων και φώτων πέδησης, ορατή επιφάνεια του μηχανοκίνητου οχήματος) ή τη συμπεριφορά αντίληψης και αντίδρασης των οδηγών σε μακροχρόνια ή ταχεία κίνηση σε αυτοκινητοδρόμους, καθορίζουν, τελικά, ακτίνες κυρτώματος μεγαλύτερες από αυτές που θα χρειάζονταν με βάση την πρωταρχική απαίτηση της αναγνωρισιμότητας του τερματικού σημείου κυκλοφοριακής συμφόρησης. Έτσι, η ελάχιστη τιμή της ακτίνας μιας κυρτής καμπύλης, δεν προκύπτει για ύψος εμποδίου h_2 = 1 m αλλά για $\mathbf{h_2 = 0{,}50}$ **m.** Για την ίδια τιμή του h_2 έχουν προκύψει και οι τιμές των ελάχιστων ακτινών καμπυλών μηκοτομής με βάση την κατηγορία του δρόμου, που δίνονται στους πίνακες των οδηγιών. Ο έλεγχος της ορατότητας σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής σύμφωνα με τους RAA, συνίσταται λοιπόν στον **έλεγχο των ακτινών των τόξων στρογγύλευσης**. Εφόσον τηρούνται οι ελάχιστες ακτίνες, δεν απαιτείται τεκμηρίωση του μήκους ορατότητας για στάση στη μηκοτομή. Επαρκεί η τεκμηρίωση του μήκους ορατότητας για στάση που υπάρχει στην οριζοντιογραφία. Διαφορετικά, δηλαδή σε περίπτωση υπέρβασης προς τα κάτω των ελάχιστων τιμών των πινάκων, θα πρέπει να καταδεικνύεται μελετητικά στο χώρο η τήρηση του μήκους ορατότητας για στάση και στη μηκοτομή.



Σχήμα 2-37: Ελάχιστο μήκος κυρτής καμπύλης μηκοτομής προκειμένου για ορατότητα για στάση [1]

2.8.5 Μήκος ορατότητας για στάση σε κοίλες καμπύλες μηκοτομής

Όσον αφορά στις κοίλες καμπύλες μηκοτομής, οι Αμερικανικές οδηγίες καθορίζουν ελάχιστα μήκη L καμπύλης, σε αντιστοιχία με την περίπτωση των κυρτών καμπυλών, ενώ οι Γερμανικές οδηγίες καθορίζουν ελάχιστες ακτίνες. Αυτή τη φορά, όμως, υπεισέρχονται και άλλα κριτήρια στους υπολογισμούς. Το βασικότερο από αυτά είναι το μήκος ορατότητας που παρέχουν στον οδηγό οι προβολείς του οχήματος. Το ύψος των προβολέων είναι συνήθως 0,60 m και η γωνία προβολής προς τα πάνω, ως προς τον επιμήκη άξονα του οχήματος, θεωρείται ίση με 1 μοίρα.

Η περιοχή που φωτίζεται από τους προβολείς προς τα επάνω, συνήθως δε λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, οι AASHTO υπολογίζουν το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος κοίλων καμπυλών μεταξύ 2 μεγάλων ευθυγραμμιών με βάση το μήκος ορατότητας S των προβολέων από τους παρακάτω τύπους, στους οποίους λαμβάνεται υπόψη και η διασπορά του φωτός προς τα πάνω κατά 1 μοίρα:

- Για S<L ισχύει: $L = \dfrac{\Delta s \cdot S^2}{200 \cdot (0,6 + S \cdot \varepsilon\varphi(1))} = \dfrac{\Delta s \cdot S^2}{120 + 3,5 \cdot S}$
- Για S>L ισχύει: $L = 2 \cdot S - \dfrac{200 \cdot (0,6 + S \cdot \varepsilon\varphi(1))}{\Delta s} = 2 \cdot S - \left(\dfrac{120 + 3,5 \cdot S}{\Delta s} \right)$ όπου:

L (m): Το μήκος της κοίλης καμπύλης, **S** (m): Το μήκος φωτισμού των προβολέων, **Δs** (%): Η αλγεβρική διαφορά των κατά μήκος κλίσεων ($\Delta s = |s_1 - s_2|$).

Για λόγους ασφαλείας στους αυτοκινητοδρόμους, οι κοίλες καμπύλες πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε το μήκος φωτισμού των προβολέων να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση. Για το λόγο αυτό, είναι προτιμότερο στην παραπάνω σχέση, αντί του μήκος φωτισμού των προβολέων, να υπεισέρχεται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση. Οι AASHTO περιλαμβάνουν διάγραμμα, αντίστοιχο με αυτό του Σχήματος 2-37, από το οποίο προσδιορίζεται το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος κοίλης καμπύλης, ανάλογα με την αλγεβρική διαφορά κλίσεων Δs και την ταχύτητα. Στο διάγραμμα αυτό εισάγεται πάλι ο συντελεστής K, οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κοίλης καμπύλης ως προς την ορατότητα όπως έχει αναφερθεί και στην περίπτωση των κυρτών καμπυλών. Οι ελάχιστες τιμές μήκους κοίλης καμπύλης ισούνται με 0,6 φορές την ταχύτητα μελέτης.

Δεδομένου ότι τα προβλήματα περιορισμού της ορατότητας στις κοίλες καμπύλες είναι πολύ μικρότερα από αυτά που παρουσιάζονται στις κυρτές καμπύλες, θεωρήθηκε σκόπιμο να μην αναλυθεί περαιτέρω η περίπτωση των κοίλων καμπυλών στο παρόν κεφάλαιο.

2.9 Σύνοψη – Συμπεράσματα

Γίνεται φανερό πως εδώ και αρκετά χρόνια γίνεται μία έντονη και πολύπλευρη προσπάθεια με σκοπό τη θέσπιση κάποιων κανόνων για τη σωστή χάραξη των οδών στο χώρο, με γνώμονα τόσο το αισθητικό αποτέλεσμα όσο και την προάσπιση της ασφαλούς κυκλοφορίας των οδηγών σε αυτές. Όπως επισημαίνεται στις RAA 2008, λόγω της ξεχωριστής επεξεργασίας της γεωμετρίας της οριογραμμής του οδοστρώματος σε τρία επίπεδα (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, διατομή), το τρισδιάστατο αποτέλεσμα δεν είναι πάντοτε αξιολογήσιμο. Με τη βοήθεια χωρικών στοιχείων που έχουν προκύψει από το συνδυασμό ενός στοιχείου της οριζοντιογραφίας και ενός στοιχείου της μηκοτομής, δίνεται η δυνατότητα ενός προσεγγιστικού ελέγχου σε πρώτη φάση. Ο διεξοδικός έλεγχος της χάραξης στο χώρο, όμως, είναι δυνατός μόνο με προοπτικές εικόνες, οι οποίες θα πρέπει να καταρτίζονται για το εκάστοτε προς αξιολόγηση οδικό τμήμα. Μάλιστα, η μόνη προοπτική απεικόνιση που είναι χρήσιμη για την αξιολόγηση της πορείας της οδού, είναι από την άποψη του οδηγού. Μία προοπτική απεικόνιση της οδού από ψηλά (bird's

eye view) συνήθως δεν κάνει αντιληπτή τη στρεβλή προοπτική εικόνα και τα προβλήματα ορατότητας που αντιμετωπίζει ο οδηγός [20]. Όλες οι σύγχρονες οδηγίες της Οδοποιίας, αναγνωρίζοντας τη σημασία του τρισδιάστατου αποτελέσματος της χάραξης, δίνουν μια πληθώρα οδηγιών για το σωστό συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Οι RAA 2008 [16], έχουν ξεχωριστό κεφάλαιο για τη χάραξη αυτοκινητόδρομων στο χώρο, στο οποίο αναφέρουν τις βασικότερες περιπτώσεις χάραξης που πρέπει να αποφεύγονται επειδή δημιουργούν δυσμενή προοπτική εικόνα και προβλήματα ορατότητας στον οδηγό (ωστόσο, παραλείπουν στοιχεία που αναφέρονταν στις παλαιότερες Γερμανικές οδηγίες RAS-L 1995). Κάθε περίπτωση που επισημαίνεται, συνοδεύεται από ένα σύγχρονο προοπτικό σχέδιο (σχεδιασμένο με πρόγραμμα στο Η/Υ) από την άποψη του οδηγού, καθώς και από την αντίστοιχη οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή, έτσι ώστε τα ελαττώματά της να γίνονται εύκολα κατανοητά από το μελετητή.

Οι AASHTO 2004 [1] περιλαμβάνουν μια πληθώρα υποδείξεων για την αποφυγή οπτικών θλάσεων και παραπλανήσεων στο χώρο. Οι υποδείξεις τους είναι περισσότερες από αυτές των RAA, ενώ ασχολούνται περισσότερο με την αισθητική της οδού, είναι όμως ανοργάνωτα παρουσιασμένες και πιο δύσκολα κατανοητές καθώς στερούνται προοπτικών εικόνων αλλά συνοδεύονται από απλά σκαριφήματα οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Πολύ αξιόλογη προσπάθεια για τον εμπλουτισμό των Αμερικανικών οδηγιών με τις απαραίτητες προοπτικές εικόνες έχει γίνει στη διπλωματική εργασία της Ε. Ταϊγανίδη [30], στην οποία τα προοπτικά σχέδια δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου των σημείων φυγής [21].

Οι Austroads 2009 [4], δίνουν μεγάλη σημασία στην αισθητική εικόνα της οδού. Μάλιστα, στο κεφάλαιο για το συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, διαχωρίζουν τις διατάξεις τους ανάλογα με το αν προάγουν την αισθητική ή την ασφάλεια της οδού. Παραθέτουν πολύ οργανωμένα ένα μεγάλο αριθμό διατάξεων, οι περισσότερες από τις οποίες, βέβαια, αναφέρονται στις RAA και στις AASHTO. Οι περισσότερες από αυτές συνοδεύονται από προοπτικά σκαριφήματα, πολλές φορές σε συνδυασμό με την αντίστοιχη οριζοντιογραφία και μηκοτομή, για την ευκολότερη κατανόησή τους. Ωστόσο, τα σκαριφήματα αυτά πλην δύο φωτογραφιών, αν και αναδεικνύουν τα ελαττώματα ή τα προτερήματα της εκάστοτε χάραξης, είναι σχετικά πρόχειρα κατασκευασμένα και φαίνεται ότι δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά οδικά τμήματα, ενώ συνήθως δεν απεικονίζουν την οδό από την άποψη του οδηγού αλλά από ψηλότερα.

Μελετώντας τις παραπάνω οδηγίες, γίνεται σαφές ότι οι διατάξεις που αφορούν στον ορθό συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής με γνώμονα το καλύτερο δυνατό τρισδιάστατο αποτέλεσμα, συνίστανται σε γενικές οδηγίες οι οποίες δεν προβαίνουν σε συγκεκριμένες αριθμητικές προτάσεις (όπως γίνεται στη μελέτη της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής ξεχωριστά), πλην ελάχιστων εξαιρέσεων (όπως η σχέση μεταξύ της ακτίνας ενός κοιλώματος και της απόστασης από την οποία αυτό γίνεται αντιληπτό για πρώτη φορά από τον οδηγό) αλλά επαφίενται στην κρίση του μελετητή και στην ικανότητά του να φαντάζεται την οδό στις 3 διαστάσεις. Πολλοί ερευνητές ([5], [7], [12], [20]) έχουν επισημάνει τις βασικότερες περιπτώσεις προβληματικών χαράξεων και έχουν εμβαθύνει σε κάποιες από αυτές, είτε δημιουργώντας και μελετώντας προοπτικά σχέδια, είτε με επίδειξή τους σε δείγμα οδηγών και με στατιστική επεξεργασία των απαντήσεών τους, είτε μελετώντας τα ατυχήματα συγκεκριμένων οδικών τμημά-

των. Στην ίδια κατεύθυνση κινούνται και οι διπλωματικές εργασίες του Ι. Μπιμπάκη [27] και της Ε. Ταϊγανίδη [30], ενώ άλλοι ερευνητές όπως οι Hassan και Easa [11] έχουν προχωρήσει στην ποσοτικοποίηση κάποιων υποδείξεων. Είναι, όμως, αναγκαίο να υπάρξει περαιτέρω έρευνα πάνω στο τόσο σημαντικό θέμα της χάραξης στο χώρο και ιδιαίτερα στην ποσοτικοποίηση των υποδείξεων των οδηγιών, δηλαδή στον καθορισμό οριακών τιμών για την εμφάνιση ανεπιθύμητων φαινομένων. Επιπλέον, είναι σαφές πως, από τη στιγμή που όλα τα σύγχρονα προγράμματα οδοποιίας παράγουν πολύ καλής ποιότητας προοπτικές εικόνες, είναι αναγκαίο να καλυφθούν οι όποιες ελλείψεις σε προοπτικά σχέδια των οδηγιών και να αντικατασταθούν όλα τα σκαριφήματα με προοπτικές εικόνες πραγματικών χαράξεων.

Τέλος, όσον αφορά στην τεκμηρίωση της ύπαρξης επαρκούς ορατότητας για στάση, οι οδηγίες και οι οδηγίες που μελετήθηκαν ([1], [16], [28]) περιλαμβάνουν διατάξεις για τον υπολογισμό του υφιστάμενου μήκους ορατότητας στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο επίπεδο ξεχωριστά. Ωστόσο, αγνοώντας την επίδραση της τρίτης διάστασης, ο μελετητής είναι πολύ πιθανό να οδηγηθεί σε υποτίμηση ή υπερεκτίμηση των υφιστάμενων μηκών ορατότητας. Είναι σαφές ότι η ύπαρξη των ελάχιστων απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση κατά μήκος της οδού πρέπει να ελέγχεται στο χώρο και όχι στις δύο διαστάσεις ξεχωριστά. Αναγνωρίζοντας την ανάγκη αυτή και αξιοποιώντας τις δυνατότητες των Η/Υ, πολλοί ερευνητές ([8], [9], [18]) έχουν αναπτύξει μεθοδολογίες και μοντέλα για τον υπολογισμό των υφιστάμενων μηκών ορατότητας κατά μήκος της οδού, κατά τη διάρκεια της μέρας αλλά και κατά τη διάρκεια της νύχτας, με βάση την τρισδιάστατη ανάλυσή της και έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει είναι διαφορετικά από αυτά που προκύπτουν με βάση την ανάλυση σε δύο διαστάσεις. Λόγω του μεγάλου φόρτου εργασίας για τον έλεγχο ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος της οδού και λόγω της μεγάλης σημασίας της διαδικασίας αυτής, γίνεται σαφής η ανάγκη για τυποποίηση και αυτοματοποίηση της διαδικασίας από όλα τα σύγχρονα προγράμματα οδοποιίας.

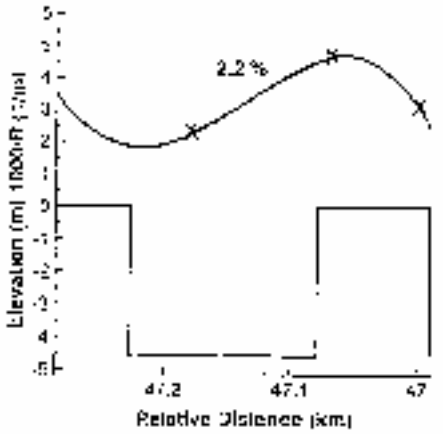
2.10 Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών μοντέλων και νέων τεχνολογιών για την προοπτική απεικόνιση των οδών

Οι Taiganidis και Kanellaidis [21] προτείνουν μια πολύ ενδιαφέρουσα προσεγγιστική μεθοδολογία για γρήγορη και επαρκώς ακριβή σχεδίαση με το χέρι της προοπτικής εικόνας μιας οδού, η οποία μπορεί να αποτελέσει πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια ενός μελετητή προκειμένου να αντιληφθεί το τρισδιάστατο αποτέλεσμα διάφορων συνδυασμών οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης κατά τη διάρκεια του πρωταρχικού σταδίου της μελέτης. Η ανωτέρω μέθοδος έχει περιγραφεί εκτενώς με τη βοήθεια σχετικού παραδείγματος στη Δ. Ε. της Ε. Ταϊγανίδη [30].

Συνοπτικά, η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση των **σημείων φυγής** και στις ιδιότητες της **τετραγωνικής παραβολής**. Η χρήση των σημείων φυγής προσφέρεται για τη σχεδίαση του προοπτικού σχημάτων του χώρου τα οποία μπορούν να χαραχθούν με δέσμες παράλληλων ευθειών. Η τετραγωνική παραβολή, ως περιβάλλουσα των εφαπτομένων της, μπορεί να χαραχθεί με ζεύγη παράλληλων ευθειών. Ως εκ τούτου, το προοπτικό της μπορεί να χαραχθεί με χρήση των σημείων φυγής. Με βάση μια σειρά συλλογισμών και παραδοχών επικεντρωμένων στις ανάγκες χάραξης του προοπτικού, η μέθοδος αυτή κάνει δεκτό ότι ο άξονας της οδού **στο χώρο** περι-

λαμβάνει μόνο ευθύγραμμα τμήματα και τετραγωνικές παραβολές, συνεπώς ότι είναι δυνατή η χάραξη της προοπτικής του εικόνας με χρήση των σημείων φυγής. Τέλος, η εν λόγω μέθοδος, απαιτεί των καθορισμό **οδικών στοιχείων** κατά μήκος της οδού, δηλαδή τμημάτων σε όλο το μήκος των οποίων οι καμπυλότητες k_H (=1/R) της καμπύλης οριζοντιογραφίας και k_V (=1/H) της καμπύλης μηκοτομής παραμένουν σταθερές. Μάλιστα, διακρίνει δύο κατηγορίες οδικών τμημάτων: (α) ευθύγραμμα οδικά στοιχεία των οποίων ο άξονας σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή είναι ευθεία (k_H=0 και k_V=0) και (β) καμπύλα οδικά στοιχεία των οποίων ο άξονας στην οριζοντιογραφία και / ή στη μηκοτομή είναι καμπύλη ($k_H \neq 0$ και / ή $k_V \neq 0$). Μετά από τον καθορισμό αυτό, προβαίνει στη χάραξη του προοπτικού του πρώτου και μετά όλων των υπόλοιπων οδικών στοιχείων του τμήματος της οδού που βρίσκεται μέσα στο οπτικό πεδίο του οδηγού. Τα σχήματα 2-9 και 2-10 της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έχουν ληφθεί από τη Δ. Ε. της Ε. Ταϊγανίδη [30] και έχουν σχεδιαστεί με χρήση της μεθόδου αυτής.

Οι Janikula και Garrick [12] παρουσιάζουν ένα δυναμικό μοντέλο τρισδιάστατης απεικόνισης των οδών που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Connecticut, το οποίο δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της διαδικασίας της οδήγησης στο αντίστοιχο οδικό τμήμα και οπτικής αξιολόγησης της τρισδιάστατης χάραξης αυτού. Κάθε μοντέλο αποτελείται από μικρά **βιντεοκλίπ** "τραβηγμένα" με κάμερα από το παρμπρίζ ενός ψηλού οχήματος. Τα βιντεοκλίπ αυτά, συνοδεύονται από **γραφήματα** που απεικονίζουν την οριζόντια και την κατακόρυφη χάραξη του αντίστοιχου οδικού τμήματος. Το Σχήμα 2-38 απεικονίζει τη γενική μορφή των γραφημάτων αυτών. Η μηκοτομή απεικονίζεται με μια καμπύλη γραμμή στην οποία αναγράφεται η κατά μήκος κλίση, ενώ σύμβολα Χ σε όλο το μήκος αυτής καθορίζουν τις κατακόρυφες καμπύλες: με μπλε Χ συμβολίζεται η αρχή καμπύλης (Point of Curvature) ενώ με μαύρο Χ συμβολίζεται η αρχή ευθείας μηκοτομής (Point of tangency). Η οριζοντιογραφία περιγράφεται από ένα διάγραμμα καμπυλότητας 1/R . Η ύπαρξη οριζοντιογραφικής καμπύλης αναδεικνύεται με την ύπαρξη μη μηδενικής τιμής καμπυλότητας. Ο συνδυασμός οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης μπορεί εύκολα να αξιολογηθεί, καθώς ο άξονας των x αντιστοιχεί, όσον αφορά και στα δύο επίπεδα, στις αποστάσεις κατά μήκος της οδού. Η δημιουργία των παραπάνω βιντεοκλίπ και γραφημάτων βασίστηκε σε πραγματικές εικόνες και γεωμετρικά δεδομένα που προκύπτουν από αυτές (τεχνολογία photologging) ενώ η κίνησή τους (animation) επιτεύχθηκε με τη βοήθεια του Quick Time (Media 100).



Σχήμα 2-38: Γράφημα οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που συνοδεύει την κινούμενη προοπτική εικόνα του αντίστοιχου οδικού τμήματος στο μοντέλο των Janikula & Garrick [12]

Οι Dragomanovits και Kanellaidis [7] ανέπτυξαν τρισδιάστατα δυναμικά μοντέλα (animations) οδικών τμημάτων, δημιουργώντας το μοντέλο της οδού και του περιβάλλοντός της με τη βοήθεια προγράμματος οδοποιίας (SierraSoft Prost), προσθέτοντας σε αυτό περισσότερες λεπτο-

μέρειες (πολυγωνική της πορείας της εικονικής κάμερας, διαγραμμίσεις κ.ο.κ) στο AutoCAD και εισάγοντας στοιχεία φωτορεαλισμού (αντιστοίχιση χρωμάτων σε ιδιότητες υλικών, φωτισμός, φωτορεαλιστικό φόντο-περιβάλλον κ.ο.κ) στο 3D StudioMAX.

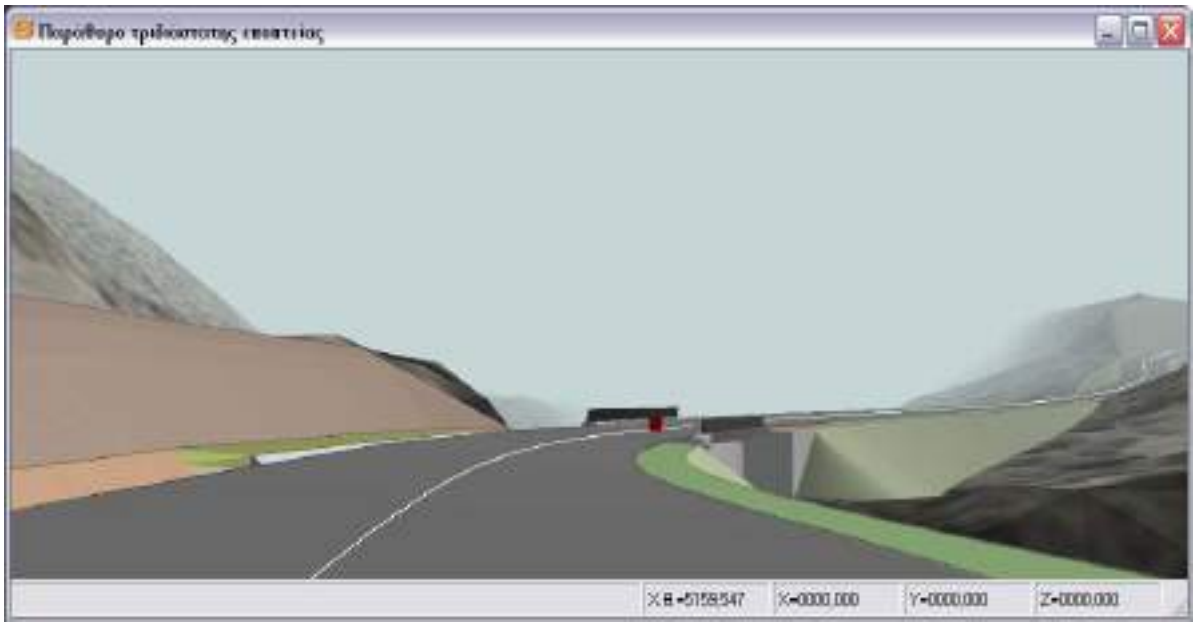
Με τον ίδιο τρόπο (δημιουργώντας τα διάφορα οδικά στοιχεία με τη βοήθεια λογισμικού οδοποιίας, εισάγοντας το μοντέλο της οδού στο AutoCAD για την παραγωγή προοπτικών εικόνων με χρήση κάμερας και στη συνέχεια στο 3D Studio MAX R3.1 για εισαγωγή φωτορεαλιστικών στοιχείων), οι Bidulka, Sayed και Hassan [5] δημιούργησαν τόσο στατικές προοπτικές εικόνες οδικών τμημάτων όσο και δυναμικά μοντέλα (road animation), προβάλλοντας διαδοχικές προοπτικές εικόνες με ταχύτητα 15 εικόνες το δευτερόλεπτο (ταχύτητα ικανή να δημιουργήσει την εντύπωση συνεχόμενης κίνησης). Μάλιστα, μέσα από την έρευνα που ακολούθησε, οι τελευταίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα του πειράματός τους δεν επηρεάστηκαν από τον τρόπο (στατικό ή δυναμικό) με τον οποίο παρουσιάστηκαν οι προοπτικές εικόνες και πως και οι δύο παρέχουν μια ρεαλιστική αναπαράσταση της οδού και του περιβάλλοντός της, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με αυτό που υποστηρίζουν άλλοι ερευνητές πάνω στο θέμα ([7], [22]).

Με την πρόοδο της τεχνολογίας και των υπολογιστών, μια μεγάλη πληθώρα εργαλείων, μοντέλων και τεχνολογιών προοπτικής απεικόνισης των οδών και προσομοίωσης του οδικού περιβάλλοντος και της διαδικασίας της οδήγησης είναι διαθέσιμη στους μελετητές οδοποιίας (τεχνολογίες προσομοίωσης με φωτογραφίες (photo simulation), τεχνολογίες απόδοσης (rendering) από αρχεία CADD, 3-D PDF μοντέλα αλληλεπίδρασης, τεχνολογίες απόδοσης (rendering) και κίνησης τρισδιάστατης εικόνας (3-D animation), νέες τεχνολογίες εισαγωγής φωτορεαλισμού με αιχμαλώτιση του φωτός (Light Detection And Ranging), συστήματα γεωγραφικής πληροφόρησης (GIS), καθώς και οι τεχνολογίες συνδυασμού των παραπάνω). Στην εργασία των Armstrong και Gilson [3] επιχειρείται μία συγκριτική παρουσίαση πολλών γνωστών και διαδεδομένων αλλά και πιο σύγχρονων εργαλείων και τεχνολογιών απεικόνισης (visualization techniques) που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μελέτη ενός μεγάλου έργου (Going-To-The-Sun Road) στη Μοντάνα, το οποίο συγκεντρώνει μια σειρά πλεονεκτημάτων που το έκαναν ιδανικό ώστε αποτελέσει περίπτωση μελέτης (case study).. Η σύγκριση αυτή γίνεται με βάση την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών αυτών και των συνδυασμών των ως μέσα παρουσίασης του τρισδιάστατου αποτελέσματος ενός υπό μελέτη οδικού έργου, πιθανότατα για περισσότερες από μία περιπτώσεις σεναρίων χάραξης, σε ανθρώπους ακόμη και χωρίς καθόλου γνώσεις οι οποίοι θέλουν να αντιληφθούν τη μορφή που θα λάβει στο χώρο το εν λόγω έργου, σε σχέση, πάντα, με την απαιτούμενη εξειδίκευση των μελετητών και, φυσικά, το κόστος.

Είναι σαφές πως τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στον κλάδο της οδοποιίας έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών και μοντέλων για τη στατική και δυναμική προοπτική απεικόνιση των οδών και στην αξιοποίηση όλων των νέων τεχνολογιών προκειμένου η τρισδιάστατη αυτή απεικόνιση να είναι όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη και φωτορεαλιστική.

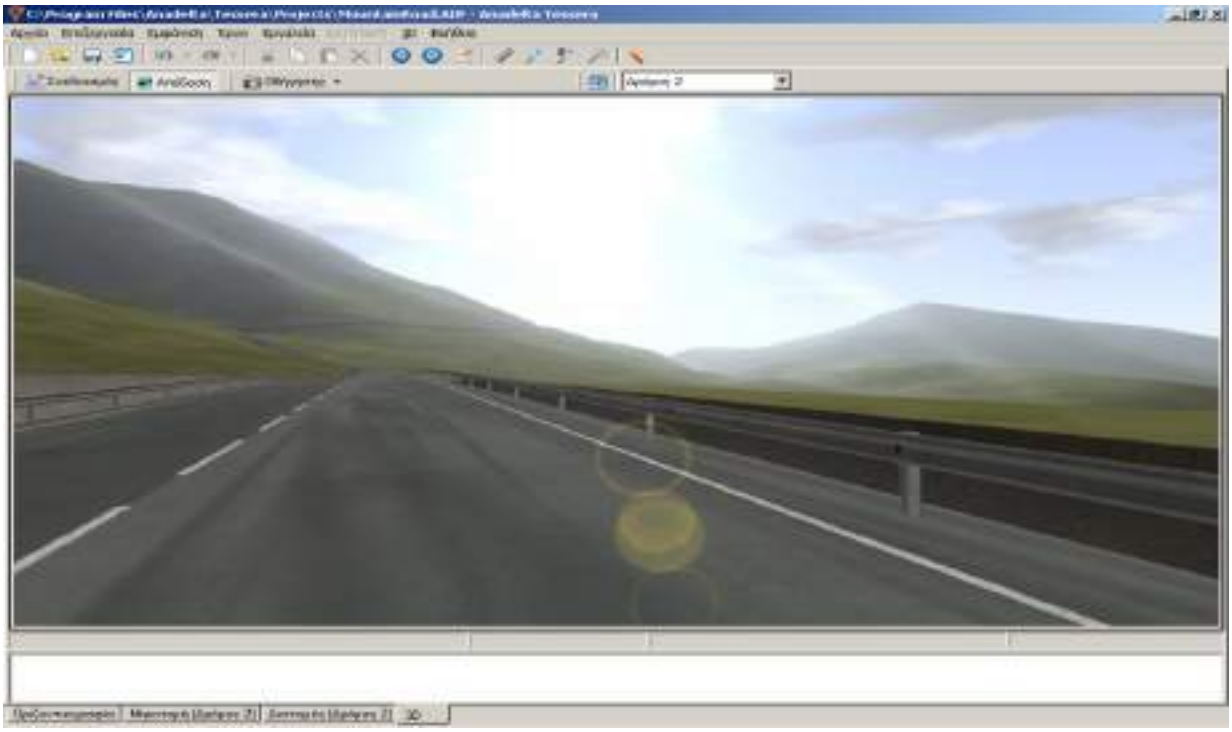
2.11 Συνοπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων προοπτικής απεικόνισης οδών άλλων προγραμμάτων οδοποιίας ευρείας χρήσης

Η τελευταία έκδοση του ελληνικού πακέτου προγραμμάτων **ΟΔΟΣ** (V8) δημιουργεί αυτόματα ένα τρισδιάστατο μοντέλο του έργου λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό έδαφος, όλες τις οδούς του έργου και την προκαθορισμένη χρονική σειρά κατασκευής των επί μέρους οδικών τμημάτων. Μετά από μεταβολή οποιουδήποτε στοιχείου σχεδιασμού, το ΟΔΟΣ 8 ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο το μοντέλο του έργου. Το μοντέλο οδού του ΟΔΟΣ 8, δεν είναι απλουστευμένο. Αντίθετα, αφενός λαμβάνει υπόψη όλη την πληροφορία που απορρέει από την επεξεργασία των διατομών, αφετέρου ομαλοποιεί την εικόνα του μοντέλου, πυκνώνοντας αυτόματα τις διατομές, ανάλογα με την καμπυλότητα της οδού. Υπολογίζει αναλυτικά τα τρισδιάστατα στερεά όλων των υλικών που ανιχνεύει σε κάθε οδό, καθώς και τρισδιάστατες λεπτομέρειες, όπως απολήξεις των πλατυσμάτων των αναβαθμών ευστάθειας (μπαγγινών), κώνους σε περιπτώσεις τοίχων και ακροβάθρων γεφυρών, μέτωπα σηράγγων. Το ΟΔΟΣ 8, έχει τη δυνατότητα να παράγει, αυτοδύναμα πλέον, φωτορεαλιστικές προοπτικές εικόνες της οδού τόσο από τη θέση του οδηγού όσο και από οποιοδήποτε σημείο επιθυμεί ο χρήστης, καθώς και βίντεο που προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στο επιθυμητό οδικό τμήμα, χωρίς να απαιτείται η χρήση των εργαλείων τρισδιάστατης σχεδίασης του Autocad και η εισαγωγή του μοντέλου σε άλλα προγράμματα (όπως στο 3D Studio MAX της Autodesk) όπως γινόταν στις προηγούμενες εκδόσεις του προγράμματος.



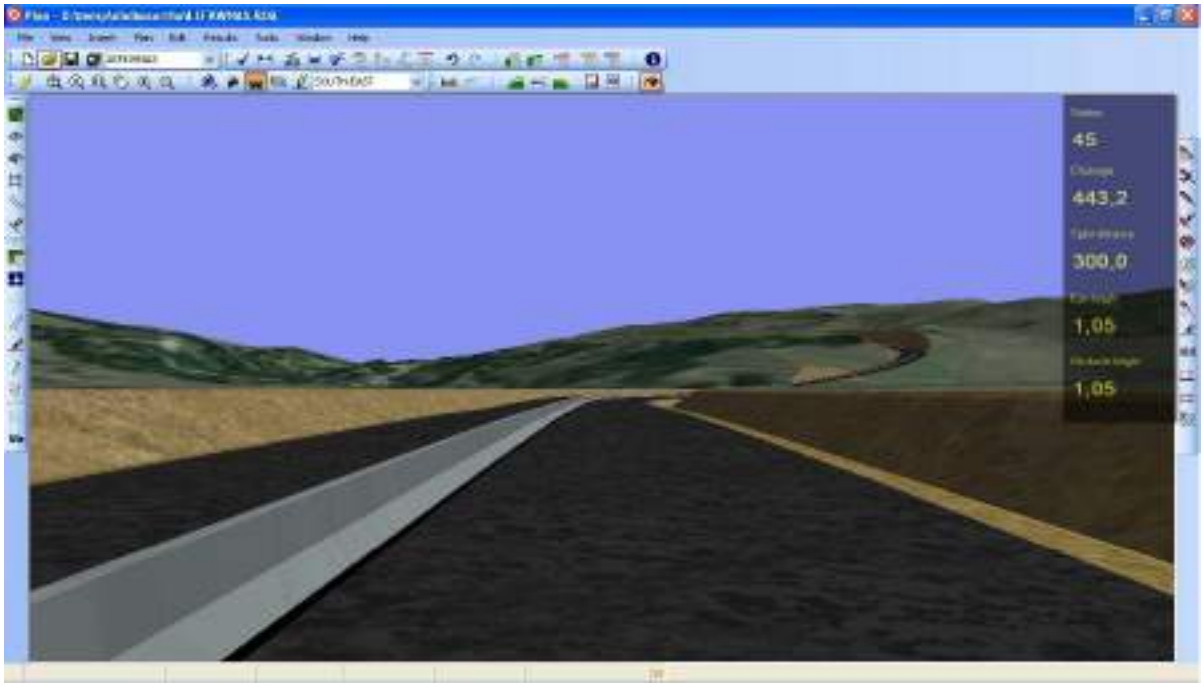
Σχήμα 2-39: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο ΟΔΟΣ V8 [34]

Το **Anadelta Tessera** έχει εξελιγμένες CAD δυνατότητες μειώνοντας την ανάγκη χρήσης άλλων προγραμμάτων. Η ύπαρξη του σχεδιαστικού περιβάλλοντος με κλασσικές λειτουργίες Cad μέσα στο Tessera, του δίνει πλήρη αυτονομία και του προσδίδει δυνατότητες εμπλουτισμού του περιβάλλοντος της χάραξης που ξεπερνούν τις κλασσικές ενός προγράμματος Οδοποιίας. Η τρισδιάστατη απεικόνιση αποτελεί εγγενές μέρος του CAD περιβάλλοντος, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα άμεσης απόδοσης του έργου σε τρεις διαστάσεις ανά πάσα στιγμή. Το Tessera παράγει φωτορεαλιστικές προοπτικές εικόνες στις οποίες αποδίδει όλα τα χαρακτηριστικά του δρόμου που έχουν οριστεί από τον χρήστη (πχ. στηθαία ασφαλείας, New Jersey, τοιχία, ηλεκτροδότηση/φωτισμός κ.ο.κ). Παρέχει επίσης την δυνατότητα ορισμού και απόδοσης της οριζόντιας σήμανσης της οδού (πχ. διαχωριστικές γραμμές, διαγραμμίσεις, βέλη κατευθύνσεως, κείμενο επί της ασφάλτου κλπ). Με σκοπό την πιο ρεαλιστική παρουσίαση του έργου, μπορεί επίσης να εξομοιώσει και εξωτερικούς παράγοντες κατά την απεικόνιση, όπως την ώρα της ημέρας ή τις επιθυμητές καιρικές συνθήκες. Το 3D περιβάλλον παρέχει την δυνατότητα ελέγχου και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων του υπολογισμού ορατότητας με άμεσο και εύκολο τρόπο. Αυτή μπορεί να γίνει είτε οπτικά από τον ίδιο τον χρήστη, είτε αυτόματα μέσω ανεξάρτητου υπολογισμού βάσει της τρισδιάστατης πλέον αναπαράστασης του έργου. Τέλος, το Tessera μπορεί να δημιουργήσει αρχεία video της φωτορεαλιστικής απεικόνισης της μελέτης, κατάλληλα για παρουσιάσεις. Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει πλήρως τις διαδρομές και τις παραμέτρους της κάμερας λήψης ή απλά να επιλέξει μια προκαθορισμένη ακολουθία, φτιάχνοντας έτσι μια ολοκληρωμένη παρουσίαση του έργου με το πάτημα ενός κουμπιού. Τα αρχεία αυτά μετά την δημιουργία τους μπορούν εύκολα να μεταφερθούν και να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε, ανεξάρτητα από το ίδιο το πρόγραμμα.



Σχήμα 2-40: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο Anadelta Tessera [35]

Το ελληνικό λογισμικό μελέτης και επιμέτρησης οδικών έργων **DIOLKOS,** βρίσκεται σήμερα στην έκδοση 6. Το DIOLKOS συνοδεύεται από ξεχωριστή εφαρμογή (TRI) για την δημιουργία, επεξεργασία και παρουσίαση ψηφιακών μοντέλων εδάφους, ενώ διαθέτει τη δυνατότητα ολοκλήρωσης των διακριτών δισδιάστατων ενοτήτων της μελέτης ενός γραμμικού οδικού έργου (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, διατομές) σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο του έργου. Με την αξιοποίηση της πλέον εξελιγμένης διαθέσιμης τεχνολογίας, έχει αντικαταστήσει τις χρονοβόρες και πολύπλοκες αλληλοενημερώσεις μεταξύ των επιμέρους ενοτήτων από μία ενιαία 3D αντιμετώπιση της όλης μελέτης. Με δεδομένο το ανάγλυφο εδάφους – οδού, το DIOLKOS έχει δυνατότητα να προβάλλει στην οθόνη την τρισδιάστατη οριζοντιογραφία και το προοπτικό του έργου (από τη δοθείσα θέση παρατήρησης και σύμφωνα με την επιθυμητή φωτοσκίαση) ανά πάσα στιγμή, χωρίς επιπλέον υπολογισμούς. Το προοπτικό σχέδιο της οδού σχεδιάζεται αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο στο Autocad με τεχνολογία ActiveX Automation, ενώ μπορεί να εξαχθεί και σε αρχείο DXF. Επιπλέον, η εικονική κίνηση κατά μήκος της οδού που προσφέρει, αποτελεί την απόλυτη μέθοδο ελέγχου ορατότητας κατά μήκος της χάραξης. Στο Σχήμα 2-41 που ακολουθεί, φαίνεται πως για κάθε θέση-σταθμό πάνω στην οδό, δίπλα στην προοπτική εικόνα αναγράφεται η υφιστάμενη απόσταση ορατότητας, όπως έχει υπολογιστεί από το πρόγραμμα στο τρισδιάστατο μοντέλο της οδού, με βάση τα ύψη οφθαλμού και εμποδίου που επίσης αναγράφονται. Το σημαντικότερο είναι ότι τις παραπάνω δυνατότητες τις έχουν εξ ολοκλήρου και τα σύνθετα έργα, καθιστώντας το ως το πρώτο ελληνικό λογισμικό οδοποιίας με τέτοιες δυνατότητες.



Σχήμα 2-41: Φωτορεαλιστική προοπτική απεικόνιση οδού στο DIOLKOS 6 [36]

Το **Autocad Civil 3D** παράγει και αυτό δυναμικά τρισδιάστατα μοντέλα των οδών με βάση τη γεωμετρία της οριζόντιας και της κατακόρυφης χάραξής τους και δημιουργεί αυτόματα απεικονίσεις των οδών, απευθείας από τα μοντέλα αυτά. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τις απεικονίσεις αυτές, είτε με τοπική επεξεργασία είτε αλλάζοντας τις εισαγόμενες παραμέτρους που καθορίζουν τη γεωμετρία των αντίστοιχων οδικών τμημάτων, έχει τη δυνατότητα να τις εμπλουτίσει εισάγοντας έτοιμα οδικά χαρακτηριστικά (λωρίδες, πεζοδρόμια, χαντάκια κ.ο.κ), να τις εισάγει στο 3D Studio Max της Autodesk προκειμένου να τις κάνει φωτορεαλιστικές αλλά και να δημιουργήσει προσομοιώσεις της οδού με εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο Navisworks της Autodesk.

Σχήμα 2-42: Φωτορεαλιστική προσομοίωση οδού με τη συνεργασία του Autocad Civil με κατάλληλα λογισμικά [37]

Γίνεται σαφές πως όλα τα σύγχρονα προγράμματα οδοποιίας που χρησιμοποιούνται από τους Έλληνες μελετητές έχουν τη δυνατότητα αυτόματης παραγωγής ολοκληρωμένων φωτορεαλιστικών προοπτικών εικόνων αλλά και βίντεο που προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στα επιθυμητά οδικά τμήματα, είτε με είτε χωρίς τη συνεργασία με άλλα λογισμικά. Μάλιστα, κάθε νέα έκδοσή τους, χρησιμοποιεί νέες τεχνολογίες προκειμένου η διαδικασία να αυτοματοποιείται περισσότερο και οι απαιτούμενες αποφάσεις και κινήσεις από την πλευρά του χρήστη να ελαττώνονται, αλλά και προκειμένου οι απεικονίσεις που παράγονται να είναι όλο και πιο δυναμικές και ρεαλιστικές. Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη την τεράστια σημασία της αντίληψης της μορφής μιας οδού στο χώρο, η μέχρι τώρα αδυναμία του πακέτου προγραμμάτων Η8 -το οποίο, κατά κύριο λόγο, προορίζεται για την εξοικείωση των σπουδαστών του Ε.Μ.Π. με τη λογική ενός προγράμματος οδοποιίας και της μελέτης μιας οδού- να παράγει προοπτικές εικόνες των οδών, θεωρήθηκε σημαντική έλλειψη. Η παρούσα διπλωματική εργασία, λοιπόν, φιλοδοξεί να επεκτείνει το Η8 με τη δημιουργία ενός αλγορίθμου ο οποίος θα του δίνει τη δυνατότητα παραγωγής, απλών σε πρώτη φάση αλλά ολοκληρωμένων, προοπτικών εικόνων των υπό μελέτη οδών.

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

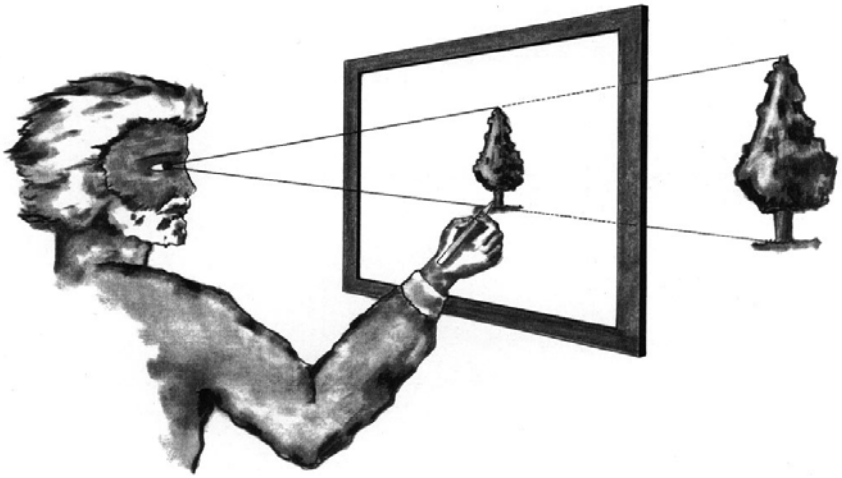
3.1 Γενικά

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση και επεξήγηση της μεθοδολογίας της οποίας έγινε χρήση στη διαδικασία της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας, για τη σύνταξη ενός αλγόριθμου παραγωγής προοπτικών εικόνων που θα αποτελέσει μέρος του πακέτου προγραμμάτων οδοποιίας Η8. Παράλληλα, αναφέρονται κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις που έγιναν κατά τη σύνταξή του. Στο τέλος του κεφαλαίου επισημαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του νέου αυτού προγράμματος που δημιουργήθηκε για την προοπτική απεικόνιση των οδών, που το καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμο όχι μόνο για τους σπουδαστές του Ε.Μ.Π αλλά και για οποιονδήποτε μελετητή έργων οδοποιίας.

3.2 Ανάπτυξη επιλεχθείσας μεθοδολογίας για τη σύνταξη του νέου λογισμικού

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιχειρείται η επέκταση του πακέτου προγραμμάτων οδοποιίας Η8 με ένα πρόγραμμα που θα παράγει προοπτικές εικόνες των οδών. Η σύνταξη του νέου αυτού λογισμικού βασίζεται στις βασικές αρχές της Προοπτικής Γεωμετρίας και στην έκφρασή τους μέσω μαθηματικών σχέσεων.

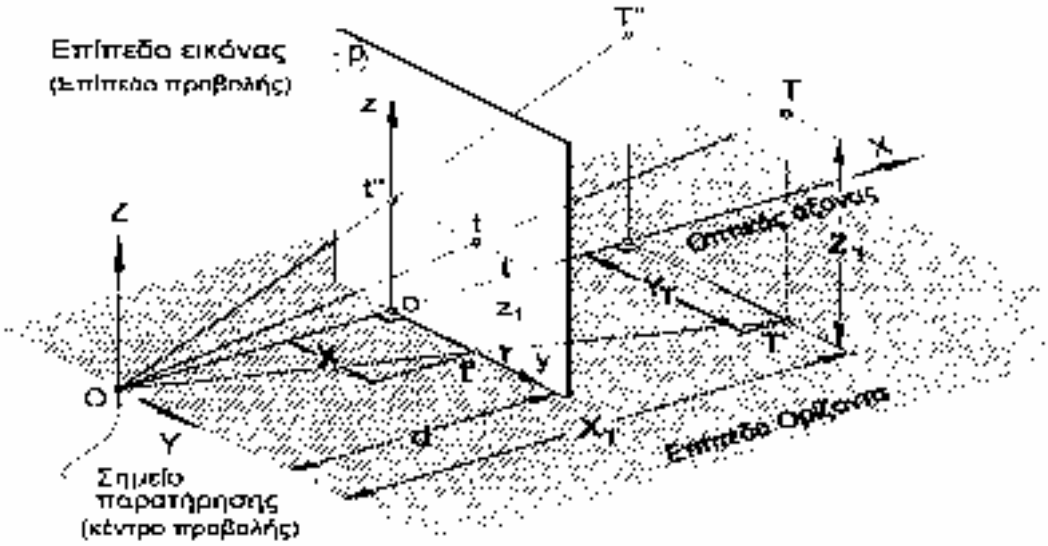
Η προοπτική απεικόνιση ενός αντικειμένου αποτελεί, κατά προσέγγιση, μια αναπαράσταση του αντικειμένου αυτού έτσι όπως την αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Αποδίδει όλες τις προκύπτουσες αλλαγές στο μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου λόγω της θέσης του και της απόστασης του παρατηρητή από αυτό (Σχήμα 3-1). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία της όρασης είναι γεωμετρικά ταυτόσημη με τη μέθοδο της κεντρικής προβολής [21].



Σχήμα 3-1: Προοπτική εικόνα αντικειμένου [21]

Για να υλοποιηθεί μια προοπτική εικόνα, χρειάζεται μία επιφάνεια. Συνήθως, χρησιμοποιείται μια επίπεδη επιφάνεια. Προοπτική, λοιπόν, ονομάζεται η μέθοδος παράστασης σχημάτων του τρισδιάστατου χώρου επί ενός επιπέδου, το οποίο ονομάζεται **επίπεδο προβολής**, με κεντρική προβολή τους από ένα σημείο παρατήρησης *(***κέντρο προβολής***)*, έτσι ώστε το ανθρώπινο μάτι να είναι σε θέση να τα αναγνωρίζει κοιτώντας μόνο την προοπτική τους εικόνα. Μια φωτογραφία, για παράδειγμα, αποτελεί μια προοπτική απεικόνιση ενός αντικειμένου, το οποίο προβάλλεται από την εστία του φακού στη φωτογραφική πλάκα. Το επίπεδο προβολής, είναι κάθε φορά κάθετο στον νοητό οπτικό άξονα. Μάλιστα, θεωρώντας ότι ο νοητός αυτός άξονας είναι οριζόντιος, το επίπεδο προβολής είναι πάντα κατακόρυφο. Το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από το σημείο παρατήρησης καλείται **επίπεδο ορίζοντα** ενώ η απόσταση μεταξύ του κέντρου προβολής και του επιπέδου προβολής ονομάζεται **προοπτική απόσταση**. Το Σχήμα 3-2 απεικονίζει τη χάραξη του προοπτικού t ενός σημείου T του χώρου με συντεταγμένες x_T, y_T, z_T σε ένα επίπεδο προβολής P, με κέντρο προβολής το σημείο O. Η προοπτική απόσταση συμβολίζεται με d, ενώ y_t, z_t είναι οι συντεταγμένες της προβολής t στο σύστημα συντεταγμένων x-y του δισδιάστατου επιπέδου P. Αρχή των αξόνων του τοπικού συστήματος συντεταγμένων είναι το σημείο o. Επισημαίνεται πως, στη γενική περίπτωση, η αρχή των αξόνων του συστήματος Oxyz, δεν ταυτίζεται με το σημείο παρατήρησης όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα αυτό.

Πρωταρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή προοπτικών εικόνων της οδού, από τη θέση του **οδηγού** κατά τη διάρκεια της κίνησής του επί αυτής. Επομένως, ως κέντρο προβολής θεωρείται ο οφθαλμός του οδηγού. Ο χρήστης του προγράμματος έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν θα δουλέψει σύμφωνα με τις οδηγίες RAA 2008 [16], τις AASHTO 2004 [1] ή τις OMOE 2001 [28], οπότε το ύψος του οφθαλμού θα αποκτήσει την ανάλογη τιμή (βλ. Πίνακα 2-2). Η θέση του οφθαλμού πάνω στην οδό, ουσιαστικά η απόστασή του από τον άξονα, επιλέγεται επίσης από το χρήστη. Αναφέρεται πως ως οπτικός άξονας θεωρείται η οριζόντια γραμμή που στην οριζοντιογραφία εφάπτεται στον άξονα της λωρίδας κυκλοφορίας του οδηγού.



Σχήμα 3-2: Αρχές Προοπτικής Γεωμετρίας [21]

Όσον αφορά στην **προοπτική απόσταση**, δηλαδή την απόσταση μεταξύ των οφθαλμών του οδηγού και του επιπέδου προβολής, αυτή μπορεί επίσης να καθοριστεί από το χρήστη, κατά την άποψή του. Ωστόσο, κατά την εξαγωγή όλων των δοκιμαστικών σχεδίων για τον έλεγχο του προγράμματος, αλλά και όλων των τελικών σχεδίων που παρατίθενται στο Κεφάλαιο 5 του παρόντος τεύχους, η προοπτική απόσταση θεωρήθηκε από τη γράφουσα ίση με **0,50 m**, ακολουθώντας το παράδειγμα των Taiganidis & Kanellaidis (1999).

Η βάση **του νέου αυτού λογισμικού** είναι η προοπτική απεικόνιση, σε ένα κατακόρυφο επίπεδο προβολής μπροστά στους οφθαλμούς του οδηγού, όλων των στοιχείων που αποτελούν το μοντέλο της οδού και του περιβάλλοντός της. Ουσιαστικά, πρόκειται για την προοπτική απεικόνιση του άξονα και των οριογραμμών της οδού- όπως αυτές έχουν ορισθεί από το χρήστη του λογισμικού-, των τυχόν διαμορφώσεων (τάφρος ή έρεισμα) εκατέρωθεν του οδοστρώματος, καθώς και των τριγώνων που μορφώνουν το τρισδιάστατο μοντέλο της οδού αλλά και του περιβάλλοντός της (έχει προφανώς προηγηθεί η διαδικασία του τριγωνισμού), δηλαδή των πρανών επιχωμάτων και ορυγμάτων αλλά και του εδάφους.

Όσον αφορά στον άξονα, τις οριογραμμές και τις ευθείες που ορίζουν τις διαμορφώσεις, γίνεται η εξής **απλοποιητική παραδοχή** στο πλαίσιο της σύνταξης του νέου λογισμικού: Θεωρείται ότι αποτελούνται από πολλά (θεωρητικά άπειρα) διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα. Έτσι, η προοπτική τους απεικόνιση συνίσταται στην προβολή των άκρων των ευθύγραμμων αυτών τμημάτων και στην ένωση των προβολών τους. Είναι σαφές πως όσο πιο πυκνά είναι τα σημεία αυτά, τόσο πιο κοντά στην πραγματικότητα θα είναι το τελικό αποτέλεσμα. Η σταθερή απόσταση μεταξύ των διαδοχικών αυτών σημείων, ουσιαστικά το σταθερό μήκος των νοητών αυτών ευθύγραμμων τμημάτων, καθορίζεται επίσης από το χρήστη.

Όσον αφορά στα τρίγωνα του τρισδιάστατου μοντέλου της οδού και του περιβάλλοντός της, η προοπτική τους απεικόνιση συνίσταται απλά στην προβολή των κορυφών τους και στην ένωση των προβολών αυτών.

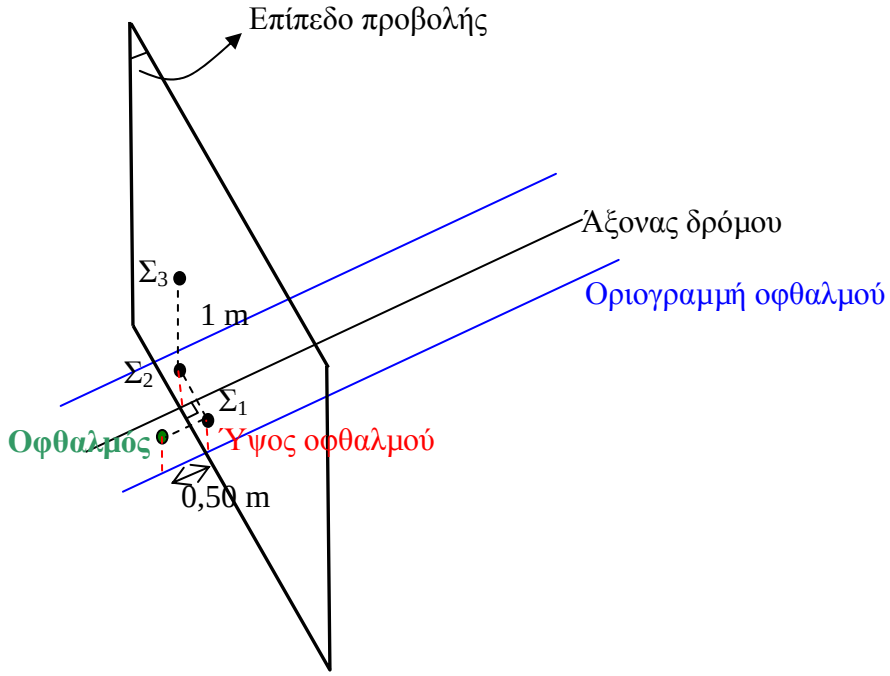
Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3-2, η προβολή ενός σημείου στο επίπεδο προβολής είναι η **τομή** της γραμμής όρασης που συνδέει του οφθαλμούς του οδηγού με το σημείο, με το επίπεδο αυτό. Για τον αναλυτικό προσδιορισμό, λοιπόν, της προοπτικής εικόνας ενός σημείου πρέπει να εκφρασθούν με τη βοήθεια μαθηματικών σχέσεων τόσο το επίπεδο προβολής όσο και η γραμμή όρασης.

Σύμφωνα με τις αρχές της Αναλυτικής Γεωμετρίας, ένα επίπεδο που ορίζεται από 3 σημεία Σ_1 (x_1, y_1, z_1), Σ_2 (x_2, y_2, z_2) και Σ_3 (x_3, y_3, z_3), περιγράφεται με τη βοήθεια της εξίσωσης:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \qquad \textbf{(1)}$$

Η εξίσωση κάθε επιπέδου λαμβάνει τη μορφή (1), όπου $(A,B,C) \neq (0,0,0)$ και, αντίστροφα, κάθε εξίσωση της μορφής (1) με $(A,B,C) \neq (0,0,0)$ παριστά ένα επίπεδο. Η εξίσωση αυτή καλείται συνήθης εξίσωση επιπέδου.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θεωρείται ότι το επίπεδο προβολής ορίζεται από τα εξής 3 σημεία: Το Σ_1 είναι το σημείο που βρίσκεται στην οριογραμμή στην οποία κινείται ο οφθαλμός (x_e, y_e, z_e), πάνω στο επίπεδο ορίζοντα (με άλλα λόγια, βρίσκεται στο ύψος των οφθαλμών), σε απόσταση ίση με την προοπτική απόσταση (0,50 m, όπως έχει ήδη αναφερθεί). Το σημείο Σ_2 είναι το αντίστοιχο του A_1 πάνω στον άξονα της οδού. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η καθετότητα του επιπέδου στον εκάστοτε οπτικό άξονα. Το σημείο Σ_3 βρίσκεται 1m πάνω από το Σ_2, οπότε εξασφαλίζεται και η κατακορυφότητα του επιπέδου (βλ. Σχήμα 3-3). Οι συντεταγμένες x, y των σημείων αυτών στο σύστημα συντεταγμένων Oxyz βρίσκονται εύκολα, με γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων της οδού με γνωστές συντεταγμένες.



Σχήμα 3-3: Απεικόνιση των 3 θεωρούμενων σημείων που ορίζουν το επίπεδο προβολής

Οι παράμετροι A, B, C και D της εξίσωσης του επιπέδου, δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} A &= y_1(z_2 - z_3) + y_2(z_3 - z_1) + y_3(z_1 - z_2) \\ B &= z_1(x_2 - x_3) + z_2(x_3 - x_1) + z_3(x_1 - x_2) \\ C &= x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2) \\ D &= x_1(z_2 \cdot y_3 - y_2 \cdot z_3) + x_2(y_1 \cdot z_3 - y_3 \cdot z_1) + x_3(y_2 \cdot z_1 - z_2 \cdot y_1) \end{aligned} \quad \textbf{(2)}$$

Όσον αφορά στη γραμμή όρασης, αυτή ορίζεται από τους οφθαλμούς του οδηγού (x_e, y_e, z_e) και από το εκάστοτε σημείο T (x_T, y_T, z_T) στο οποίο αυτοί στοχεύουν και του οποίου η προοπτική απεικόνιση αναζητείται.

Η ευθεία αυτή στο χώρο μπορεί να εκφρασθεί με τη σχέση

$$\frac{x - x_e}{x_T - x_e} = \frac{y - y_e}{y_T - y_e} = \frac{z - z_e}{z_T - z_e} \quad \textbf{(3)}$$

αλλά και με τις εξής παραμετρικές εξισώσεις, οι οποίες μάλιστα κρίθηκαν ευκολότερες στο χειρισμό από τη γράφουσα:

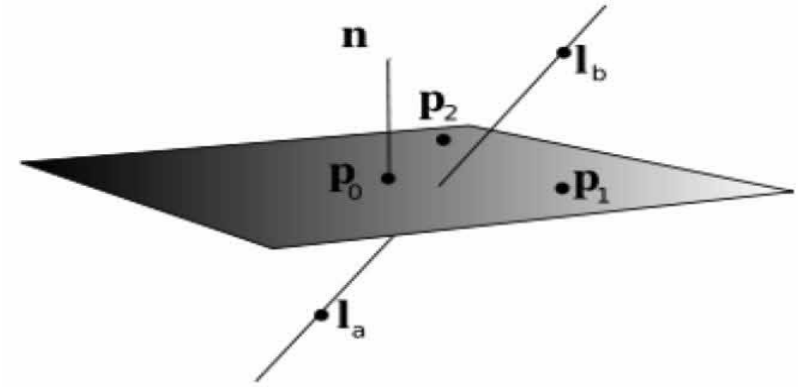
$$\begin{aligned} x &= x_e + \lambda(x_T - x_e) \\ y &= y_e + \lambda(y_T - y_e) \\ z &= z_e + \lambda(z_T - z_e) \end{aligned} \qquad \textbf{(4)}$$

Είναι προφανές ότι οι συντεταγμένες του σημείου τομής t της ευθείας αυτής με το επίπεδο (Σχήμα 3-4) πρέπει να επαληθεύουν τόσο την εξίσωση (1) όσο και τις εξισώσεις (4). Επομένως, αυτές προκύπτουν από τη λύση του συστήματος:

$$\begin{cases} Ax + By + Cz + D = 0 \\ x = x_e + \lambda(x_T - x_e) \\ y = y_e + \lambda(y_T - y_e) \\ z = z_e + \lambda(z_T - z_e) \end{cases}$$

δηλαδή:

$$\begin{aligned} x_t &= x_e + \lambda_t(x_T - x_e) \\ y_t &= y_e + \lambda_t(y_T - y_e) \\ z_t &= z_e + \lambda_t(z_T - z_e) \end{aligned} \quad \text{, όπου: } \lambda_t = (-D - A \cdot x_e - B \cdot y_e)/[A(x_T - x_e) + B(y_T - y_e)]$$



Σχήμα 3-4: Τομή ευθείας που ορίζεται από τα σημεία l_a , l_b με επίπεδο που ορίζεται από τα σημεία P_0,P_1,P_2 [33]

Η προβολή του σημείου στο επίπεδο προβολής έχει πλέον βρεθεί. Οι συντεταγμένες x_t, y_t, z_t όμως ανήκουν στο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων Oxyz. Πρέπει, επομένως, αυτές να μετατραπούν ώστε να προσδιορισθεί η θέση της προοπτικής απεικόνισης του σημείου T στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων x-y του δισδιάστατου επιπέδου προβολής.

Πρέπει, κατ' αρχάς, να ορισθεί ένα σημείο του επιπέδου αυτού ως αρχή του συστήματος συντεταγμένων x-y. Το σημείο αυτό επιλέγεται να είναι το Σ_1, το οποίο βρίσκεται στο ύψος του

οφθαλμού, πάνω στο επίπεδο ορίζοντα. Το σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται από το επίπεδο προβολής, αποτελείται από δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, έναν οριζόντιο και έναν κατακόρυφο, παράλληλους στις δύο θεωρούμενες πλευρές του, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3-2. Έστω x_t'' και z_t'' οι συντεταγμένες της προβολής του σημείου Τ στο τοπικό αυτό σύστημα συντεταγμένων. Επισημαίνεται ότι στο Σχήμα 3-2, οι άξονες του συστήματος του επιπέδου ονομάζονται z και y ενώ, κατά τη σύνταξη του αλγόριθμου, ονομάστηκαν z και x.

Η συντεταγμένη z_t'' προκύπτει αμέσως, με υπολογισμό της διαφοράς των συντεταγμένων z_t και z_1. Για τον προσδιορισμό της συντεταγμένης x_t'', όμως, οι άξονες Ox, Oy του συστήματος Oxyz πρέπει να περιστραφούν γύρω από το Σ_1 προκειμένου ο Ox να συμπέσει με τον οριζόντιο άξονα x του επιπέδου. Είναι σαφές πως, στη γενική περίπτωση, οι 2 αυτοί άξονες δεν είναι παράλληλοι όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Πρώτα, το σημείο t μετατίθεται ως προς το Σ_1, δηλαδή οι οριζόντιες συντεταγμένες του x_t,y_t εκφράζονται ως προς τις αντίστοιχες συντεταγμένες του σημείου Σ_1. Υπολογίζονται, δηλαδή, οι διαφορές $x_t' = x_t - x_1$ και $y_t' = y_t - y_1$. Αυτό γίνεται προκειμένου να μπορέσει να θεωρηθεί ότι τα δύο συστήματα συντεταγμένων έχουν κοινή αρχή, κάτι που διαφορετικά δεν ισχύει στη γενική περίπτωση, ώστε να ακολουθήσει η περιστροφή.

- Στη συνέχεια, οι άξονες Ox, Oy περιστρέφονται γύρω από το Σ_1 και οι καινούριες συντεταγμένες στο σύστημα x-y δίνονται από τις σχέσεις:

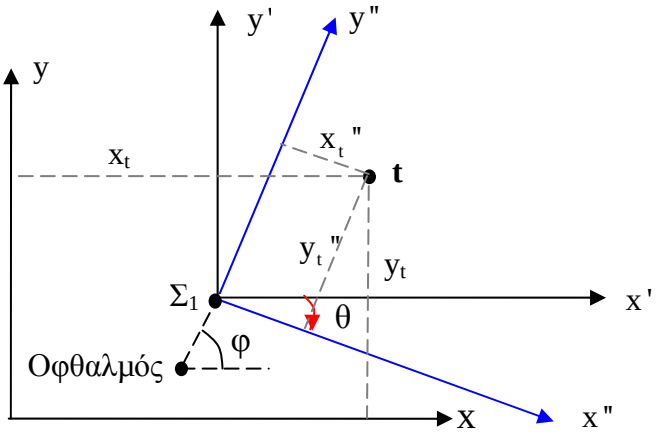
$$x_t'' = x_t' \cdot \cos\theta - y_t' \cdot \sin\theta$$
$$y_T'' = y_t' \cdot \cos\theta + x_t' \cdot \sin\theta$$

  Σε μορφή πινάκων, οι δύο αυτές σχέσεις γίνονται:

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}.$$

  Ο πίνακας $\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ ονομάζεται πίνακας στροφής και συνήθως συμβολίζεται με R.

Αντιστοιχεί σε περιστροφή ενός συστήματος δύο αξόνων γύρω από ένα άλλο σύστημα επίσης δύο αξόνων, με **κοινή αρχή** και **διαφορά γωνίας θ**. Θεωρώντας τη γωνία θ προσημασμένη, οι παραπάνω σχέσεις καλύπτουν τόσο τη δεξιόστροφη όσο και την αριστερόστροφη κίνηση των αξόνων. Αναφέρεται πως θετική θεωρείται η δεξιόστροφη γωνία θ. Υπενθυμίζεται πως η συντεταγμένη y_t'' δεν ενδιαφέρει αλλά αναφέρεται για την πληρότητα της μεθόδου. Το Σχήμα 3-5 απεικονίζει την παραπάνω διαδικασία για μία περίπτωση σχετικών θέσεων δύο συστημάτων αξόνων. Σε αυτό, απεικονίζονται οι αρχικές (στο σύστημα Oxyz) συντεταγμένες x_t, y_t και οι τελικές, μετά τη μετάθεση και την περιστροφή, συντεταγμένες x_t'', y_t'' της προβολής t ενός σημείου Τ. Επισημαίνεται πως το σχήμα αποτελεί μία **κάτοψη**. Οι άξονες x, y ανήκουν στο **οριζόντιο επίπεδο.**



Σχήμα 3-5: Μετάθεση και περιστροφή συστήματος αξόνων ως προς άλλο, με κοινή αρχή και διαφορά γωνίας θ.

Η γωνία **φ** προκύπτει κάθε φορά από τη σχέση $\varphi = \arctan\frac{\Delta y}{\Delta x}$, όπου $\Delta y = |ye - y1|$ και $\Delta x = |xe - x1|$.

Η γωνία περιστροφής **θ** δίνεται, ανάλογα με το αζιμούθιο (azm) στην εκάστοτε θέση του οφθαλμού, από τις παρακάτω σχέσεις:

Για $0 < azm < 100^g$: $\theta = 100^g - \varphi$

Για $100 < azm < 200^g$: $\theta = 100^g + \varphi$

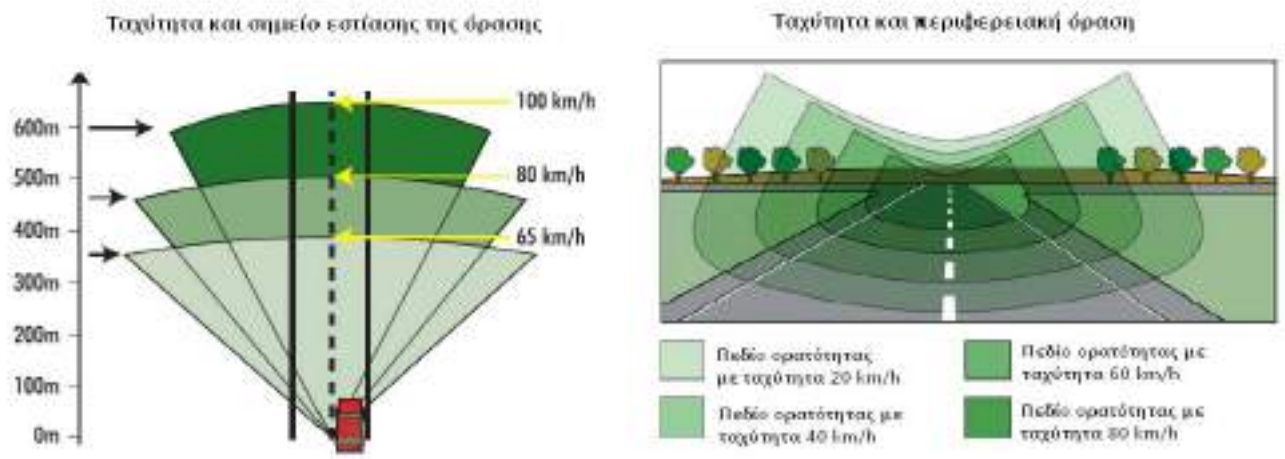
Για $200 < azm < 300^g$: $\theta = 300^g - \varphi$

Για $300 < azm < 400^g$: $\theta = 300^g + \varphi$

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται από τον αλγόριθμο για κάθε ένα από τα διαδοχικά σημεία που μορφώνουν τον άξονα, τις οριογραμμές και τις διαμορφώσεις της οδού, καθώς και για όλες τις κορυφές όλων των τριγώνων που αποτελούν το μοντέλο της οδού και του περιβάλλοντός της. Οι προοπτικές εικόνες των σημείων ενώνονται κατάλληλα με αποτέλεσμα να προκύπτει η προοπτική εικόνα της οδού, όπως τη βλέπει ο οδηγός από τη θέση του. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε θέση του οδηγού πάνω στην οδό (το βήμα της κίνησης του οδηγού καθορίζεται κάθε φορά από το χρήστη του προγράμματος), με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλές διαδοχικές προοπτικές εικόνες οι οποίες απεικονίζουν την οδό όπως την αντιλαμβάνεται ο οδηγός κατά την κίνησή του σε αυτή.

Επιπλέον, με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε, απεικονίζεται προοπτικά και ένα τρισδιάστατο όχημα (με προοπτική απεικόνιση κάποιων χαρακτηριστικών του σημείων, τα οποία ορίσθηκαν από τη γράφουσα), το οποίο βρίσκεται πάνω στο κατάστρωμα της οδού, στην οριογραμμή κίνησης του οδηγού και μπροστά από αυτόν, σε απόσταση ίση με την **απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση**. Με την εισαγωγή του οχήματος αυτού στην προοπτική εικόνα της οδού, ο χρήστης αποκτά τη δυνατότητα να ελέγξει οπτικά εάν στην εκάστοτε θέση του οδηγού εξασφαλίζεται η ύπαρξη της απαιτούμενης ορατότητας για στάση, ελέγχοντας εάν το όχημα αυτό είναι ορατό ή όχι.

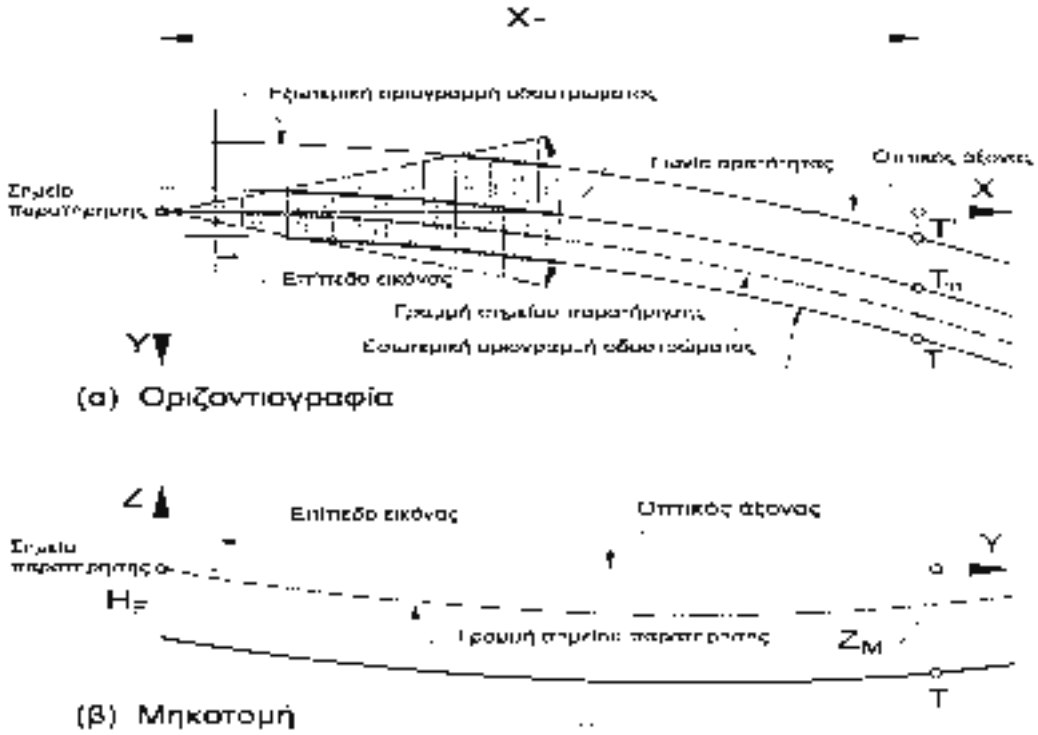
Τέλος, πρέπει να επισημανθεί μία ακόμα **απλοποίηση** που έγινε στο πλαίσιο της σύνταξης του νέου αυτού λογισμικού και η οποία αφορά στο **πεδίο ορατότητας** του οδηγού. Το σημείο εστίασης του οδηγού σχετίζεται με την ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα. Μάλιστα, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα αυτού, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ του οδηγού και του σημείου στο οποίο εστιάζει και τόσο μικρότερη είναι η γωνία της περιφερειακής του όρασης, δηλαδή τόσο στενότερο είναι το οπτικό του πεδίο (Σχήμα 3-6). Η γωνία όρασης παίρνει τιμές από 15º έως 20º στο οριζόντιο επίπεδο και από 20º έως 60º στο κατακόρυφο [17].



Σχήμα 3-6: Σχέση ταχύτητας – σημείου εστίασης όρασης – γωνίας περιφερειακής όρασης [17]

Οι Taiganidis και Kanellaidis (1999) επισημαίνουν πως οι οφθαλμοί ενός οδηγού σε κίνηση είναι συγκεντρωμένοι μέσα στα όρια μιας σχετικά μικρής γωνίας στο χώρο. Η γραμμή όρασής του δεν εκτείνεται πέρα από τα όρια ενός "ορθογωνίου καθαρής ορατότητας" με διαστάσεις 10x16 cm, τοποθετημένο σε μια απόσταση 50 cm μπροστά από τους οφθαλμούς του (ίση με την απόσταση από τα τζάμια του οχήματος). Αναφέρουν, επίσης, πως η συνήθης παραδοχή κατά την παραγωγή προοπτικών εικόνων θέλει τη γωνία ορατότητας να κυμαίνεται μεταξύ 20º και 30º (Σχήμα 3-7).

Ωστόσο, η παραγωγή προοπτικών εικόνων με τη βοήθεια του νέου αλγόριθμου που επιχειρείται να συνταχθεί στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δε βασίζεται σε κάποια παρόμοια παραδοχή όσον αφορά στη γωνία ορατότητας και στο σημείο εστίασης του οδηγού. Δίνεται, όμως, η δυνατότητα στο χρήστη του προγράμματος να περιορίσει το πεδίο ορατότητας του οδηγού μεταξύ δύο χιλιομετρικών θέσεων κατά μήκος της οδού (οι οποίες ορίζονται ως αποστάσεις από την εκάστοτε θέση του οδηγού), σύμφωνα με την κρίση του και ανάλογα με την πληροφορία που θέλει κάθε φορά να λάβει από τις προοπτικές εικόνες που δημιουργούνται. Με άλλα λόγια, η διαδικασία της προοπτικής απεικόνισης που έχει προαναφερθεί γίνεται μόνο για το οδικό τμήμα που περιλαμβάνεται μεταξύ των δύο συγκεκριμένων θέσεων έμπροσθεν του οδηγού και οι προοπτικές εικόνες που παράγονται αντιστοιχούν σε αυτό. Είναι σαφές πως ο παραπάνω περιορισμός του οπτικού πεδίου αφορά μόνο το οριζόντιο επίπεδο και όχι το κατακόρυφο.



Σχήμα 3-7: Σημείο παρατήρησης, οπτικός άξονας και γωνία πεδίο ορατότητας (α) στην οριζοντιογραφία και (β) στη μηκοτομή [30]

3.3 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες του νέου προγράμματος

Η παραγωγή προοπτικών εικόνων με τη βοήθεια του νέου προγράμματος "Προοπτικό" του πακέτου προγραμμάτων Η8, συνίσταται στην **αυτόματη** παραγωγή από το πρόγραμμα δισδιάστατων προοπτικών εικόνων -σα φωτογραφίες- της οδού, όπως την αντιλαμβάνεται ο οδηγός σε κάθε θέση κατά την κίνησή του σε αυτή, με βάση το ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλου της οδού και του περιβάλλοντός της (πρανή και έδαφος), το οποίο δημιουργεί προηγούμενο πρόγραμμα του Η8. Το μόνο που πρέπει να κάνει ο χρήστης είναι να πληκτρολογήσει τις τιμές κάποιων παραμέτρων στο αντίστοιχο αρχείο (βλ.§ 4.3) και να "τρέξει" το "Προοπτικό".

Η κάθε προοπτική εικόνα που παράγεται, τοποθετείται μέσα σε ένα **ορθογώνιο πλαίσιο**, τις συντεταγμένες του οποίου καθορίζει πολύ εύκολα ο χρήστης. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να επιφέρει αλλαγές στη μορφή της "φωτογραφίας" ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υπό μελέτης οδού και ανάλογα με το αποτέλεσμα που ο ίδιος θέλει. Έχει, λοιπόν, τη δυνατότητα να μικρύνει το μέγεθός της προκειμένου να περιορίσει το κομμάτι της οδού που θα απεικονίζεται σε αυτή (σα να κόβει μια φωτογραφία) αλλά και να το μεγαλώσει προκειμένου να χωρέσει το οδικό τμήμα που επιθυμεί να απεικονίσει. Δίπλα από το πλαίσιο αυτό, αναγράφεται η χιλιομετρική θέση της εκάστοτε θέσης του οδηγού πάνω στην οδό.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το "Προοπτικό" παράγει προοπτικές εικόνες για όλες τις διαδοχικές θέσεις του οδηγού κατά την κίνησή του επί της οδού, με βήμα που ορίζει εύκολα ο χρήστης. Οι δια-

δοχικές αυτές απεικονίσεις της οδού τοποθετούνται η μία πάνω από την άλλη, στο ίδιο σχέδιο. Έτσι ο χρήστης έχει άμεση εποπτεία της εικόνας που αντιλαμβάνεται ο οδηγός καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησής του στην υπό μελέτη οδό. Μάλιστα, μετακινούμενος γρήγορα (με απλή κίνηση του ποντικιού) από τη μία στην άλλη, αποκτά σε ένα βαθμό την **αίσθηση ότι η εικόνα είναι κινούμενη**, στοιχείο που σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές ([7], [22]) είναι αναγκαίο, καθώς θεωρούν ότι οι στατικές εικόνες δεν προσομοιώνουν όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στον οδηγό και οδηγούν σε μειωμένη αντίληψη της εξέλιξης της καμπυλότητας της χάραξης (μια ταχύτητα της τάξεως 15 εικόνες/sec θα ήταν ικανοποιητική). Εξάλλου, όλα τα σύγχρονα προγράμματα οδοποιίας έχουν τη δυνατότητα παραγωγής βίντεο προσομοίωσης της διαδικασίας της οδήγησης στο εικονικό τρισδιάστατο μοντέλο της οδού.

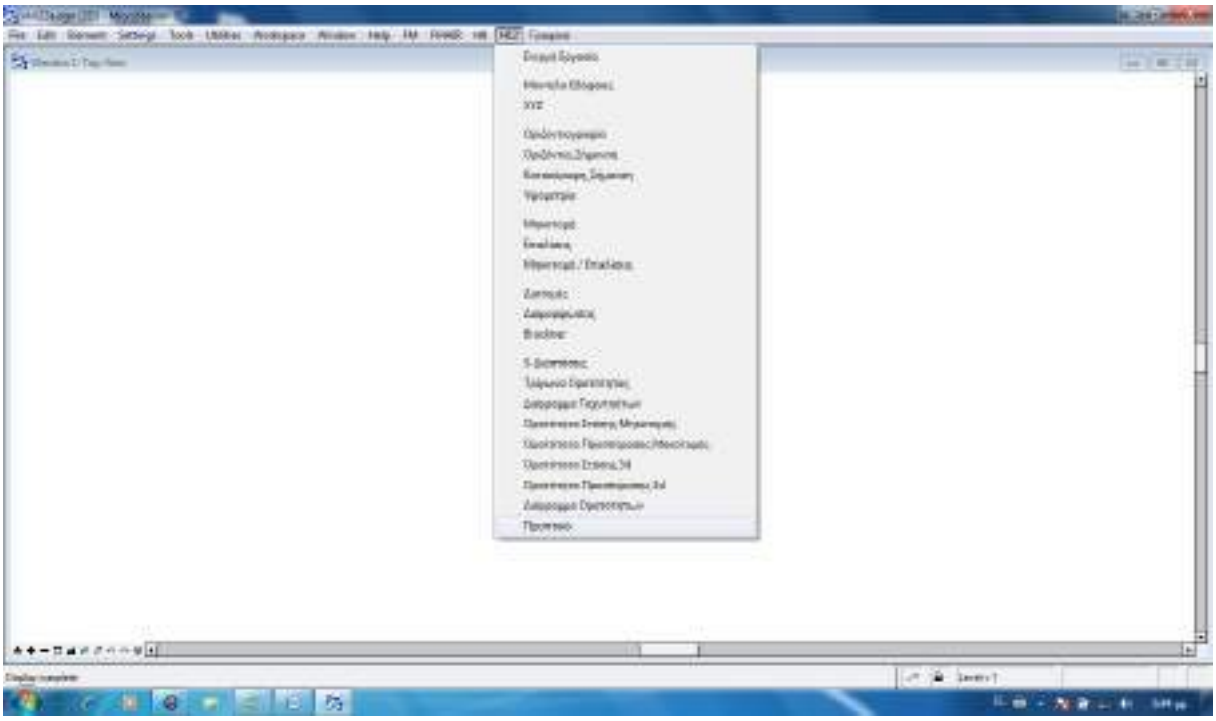
Αξίζει να επισημανθεί πως το "Προοπτικό", πέρα από τη δυνατότητα να εξάγει προοπτικές εικόνες από την άποψη του οδηγού, η οποία είναι αυτή που ενδιαφέρει κυρίως για την αξιολόγηση της τρισδιάστατης χάραξης της οδού [16], έχει τη δυνατότητα εξαγωγής προοπτικών εικόνων της οδού και από ένα τυχαίο σημείο αρκετά ψηλότερα από το κατάστρωμα της οδού (από το ύψος του οδηγού ενός φορτηγού ή, ακόμα, και από ένα πολύ μεγάλο υψόμετρο - bird's eye view), με βάση τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω με μόνη αλλαγή το ύψος της θέση παρατήρησης. Το σημείο παρατήρησης καθορίζεται πολύ εύκολα από το χρήστη, σύμφωνα με την επιθυμία του. Εάν πρόκειται για τη θέση του οδηγού, ο χρήστης καθορίζει μόνο την απόσταση από τον άξονα (οριογραμμή), καθώς το ύψος των οφθαλμών καθορίζεται από το πρόγραμμα, σύμφωνα με τους κανονισμούς με τους οποίους ο ίδιος έχει επιλέξει, σε προηγούμενο βήμα, να δουλέψει. Εάν πρόκειται για ένα τυχαίο σημείο, ο χρήστης πληκτρολογεί ό,τι ύψος επιθυμεί.

Το H8 συνεργάζεται, όπως θα αναφερθεί και στο κεφάλαιο 4, με δύο σχεδιαστικά προγράμματα: το Autocad της Autodesk και το MicroStation της Bentely. Με διπλό κλικ στο αρχείο perp.dxf στο οποίο αποθηκεύονται οι προοπτικές εικόνες που παράγονται από το "Προοπτικό", το σχέδιο ανοίγει στο Autocad. Οι διάφορες οριογραμμές, ο άξονας και οι διαμορφώσεις της οδού έχουν προγραμματιστεί να σχεδιάζονται με διαφορετικό χρώμα προκειμένου να είναι δια-κριτές. Με διαφορετικό χρώμα σχεδιάζονται και οι απεικονίσεις των τριγώνων που αντιστοιχούν στις διάφορες λωρίδες κυκλοφορίας της οδού, στα πρανή των ορυγμάτων, στα πρανή των επιχωμάτων και στο έδαφος. Έτσι, κάθε στοιχείο της οδού και του περιβάλλοντός της γίνεται άμεσα αντιληπτό από το χρήστη στην κάθε προοπτική εικόνα. Επιπλέον, ο άξονας, οι διαμορφώσεις, κάθε οριογραμμή και κάθε ομάδα τριγώνων, σχεδιάζεται σε διαφορετικό επίπεδο (layer). Με τον τρόπο αυτό, κατά τη μελέτη και την επεξεργασία των εικόνων στο σχεδιαστικό πρόγραμμα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να απομονώσει τα στοιχεία της οδού και του περιβάλλοντα χώρου της που τον ενδιαφέρουν κάθε φορά.

Προκειμένου να ανοίγουν εύκολα τα σχέδια που παράγονται από τα διάφορα προγράμματα του H8 και στο Microstation, έχουν προστεθεί κάποιες επιλογές στην επιφάνεια εργασίας του σχεδιαστικού προγράμματος. Έτσι, επιλέγοντας H12 > Προοπτικό (Σχήμα 3-8), έχοντας βέβαια επιλέξει σαν ενεργή εργασία το φάκελο της υπό μελέτης οδού, οι προοπτικές εικόνες σχεδιάζονται στο Microstation. Ένα πρόσθετο στοιχείο του σχεδιαστικού αυτού προγράμματος το οποίο δεν υπάρχει στο Autocad, είναι ότι δίνει τη δυνατότητα "γεμίσματος" των τριγώνων, κάτι που συνήθως οδηγεί σε καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα επειδή δε μπλέκονται οι γραμμές των διάφορων στοιχείων μεταξύ τους. Επίσης, έτσι φαίνεται πιο εύκολα ποια στοιχεία αποκρύπτονται από κάποια άλλα, δηλαδή

ποια δεν είναι ορατά στον οδηγό. Τα χρώματα με τα οποία γεμίζει το κατάστρωμα της οδού, τα πρανή και το έδαφος μπορούν πολύ εύκολα να αλλάξουν, ώστε οι εικόνες να προσεγγίζουν ακόμη περισσότερο την πραγματικότητα, με τη βοήθεια των εργαλείων του Microstation, εφόσον το επιθυμεί ο χρήστης. Τέλος, το Microstation δίνει τη δυνατότητα περαιτέρω επεξεργασίας του σχεδίου με σκοπό την παραγωγή φωτορεαλιστικών προοπτικών εικόνων (για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα αναπαράστασης του ουρανού). Ωστόσο, η εισαγωγή φωτορεαλισμού στις προοπτικές εικόνες δεν αποτελεί στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και δε δοκιμάστηκε.

Τέλος, το "Προοπτικό" καινοτομεί σε σχέση με τα υπόλοιπα προγράμματα οδοποιίας που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά, απεικονίζοντας στην προοπτική εικόνα της οδού σε κάθε θέση του οδηγού ένα όχημα. Το όχημα αυτό, βρίσκεται στην οριογραμμή του οδηγού και σε απόσταση από αυτόν ίση με την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγχει άμεσα και οπτικά, χωρίς περαιτέρω υπολογισμούς, την επάρκεια της υφιστάμενης ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της οδού. Εάν το όχημα δεν αποκρύπτεται από το ίδιο το κατάστρωμα της οδού (για παράδειγμα σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής) ή από κάποιο στοιχείο του περιβάλλοντα χώρου (ουσιαστικά, το μόνο στοιχείο που μπορεί να περιορίσει την ορατότητα του οδηγού είναι ένα πρανές ορύγματος), τότε ο οδηγός έχει επαρκή ορατότητα στη θέση αυτή έτσι ώστε να μπορέσει να αντιληφθεί έγκαιρα ένα απρόσμενο εμπόδιο (συνηθέστερα ένα ακινητοποιημένο όχημα) μπροστά του και να ακινητοποιήσει το όχημά του πριν συγκρουστεί με αυτό. Με άλλα λόγια, το υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση στη θέση αυτή είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το απαιτούμενο. Εάν σε μια προοπτική εικόνα το όχημα αποκρύπτεται από κάποια στοιχείο και δε φαίνεται, τότε το υφιστάμενο μήκος ορατότητας για στάση στην αντίστοιχη θέση είναι μικρότερο από το απαιτούμενο. Με άλλα λόγια, η ορατότητα στη θέση αυτή της οδού είναι περιορισμένη και το συγκεκριμένο σημείο κρίνεται επικίνδυνο.



Σχήμα 3-8: Διαδικασία εμφάνισης των παραγόμενων προοπτικών εικόνων στο Microstation

Συνοψίζοντας, το πρόγραμμα “Προοπτικό” που δημιουργείται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρέχει στο χρήστη ολοκληρωμένες προοπτικές εικόνες της οδού και του περιβάλλοντός της από κάθε θέση του οδηγού κατά την κίνησή του σε αυτή. Οι εικόνες αυτές βοηθούν το χρήστη να αντιληφθεί κατά το στάδιο της προμελέτης τα ενδεχόμενα προβλήματα στο χώρο της υπό μελέτη οδού λόγω σφαλμάτων στην τρισδιάστατη χάραξη, ώστε να τα διορθώσει έγκαιρα. Επιπλέον, εισάγει έναν οπτικό τρόπο τεκμηρίωσης της ύπαρξης ή όχι της απαιτούμενης ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος της οδού και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων που εξάγει με αναλυτικό τρόπο ήδη υπάρχον πρόγραμμα του Η8 σχετικά με την υφιστάμενη ορατότητα για στάση. Το νέο αυτό πρόγραμμα είναι ιδιαίτερα ελκυστικό τόσο λόγω του φιλικού και οικείου περιβάλλοντος εργασίας που προσφέρει (το οποίο παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο), βασικό στοιχείο του οποίου είναι η ελληνική γλώσσα αλληλεπίδρασης με το χρήστη, όσο και λόγω της απλότητας στη χρήση του. Το μόνο που έχει να κάνει ο χρήστης είναι να εισάγει, με απλή πληκτρολόγηση, κάποιες παραμέτρους και να “τρέξει” το πρόγραμμα. Το σχέδιο που παράγεται αυτόματα είναι ολοκληρωμένο και δε χρειάζεται ιδιαίτερες τροποποιήσεις προκειμένου να γίνει αντιληπτό (ενδέχεται μόνο να χρειαστεί να αλλάξουν οι διαστάσεις του πλαισίου γύρω από τις εικόνες προκειμένου να χωρέσει ολόκληρο το οδικό τμήμα που βρίσκεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού). Είναι γεγονός πως υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης του νέου αυτού προγράμματος. Μπορεί, για παράδειγμα, να εισαχθεί η παράμετρος της γωνίας όρασης στον αλγόριθμο, να εισαχθούν στοιχεία φωτορεαλισμού στις παραγόμενες εικόνες, να δημιουργηθεί η δυνατότητα απεικόνισης παρόδιων τεχνικών έργων, μιας κεντρικής νησίδας, στηθαίων ασφαλείας και άλλων οδικών στοιχείων, ακόμη και να αναπτυχθεί η δυνατότητα παραγωγής κανονικού βίντεο για την ολοκληρωμένη προσομοίωση της οδήγησης στα εν λόγω οδικά τμήματα. Ωστόσο, το “Προοπτικό” μπορεί αδιαμφισβήτητα να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους σπουδαστές του Ε.Μ.Π, με περιορισμένες γνώσεις Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και βασικές γνώσεις οδοποιίας, για την εξοικείωσή τους με την τρισδιάστατη χάραξη των οδών.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

4.1 Πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας Η8

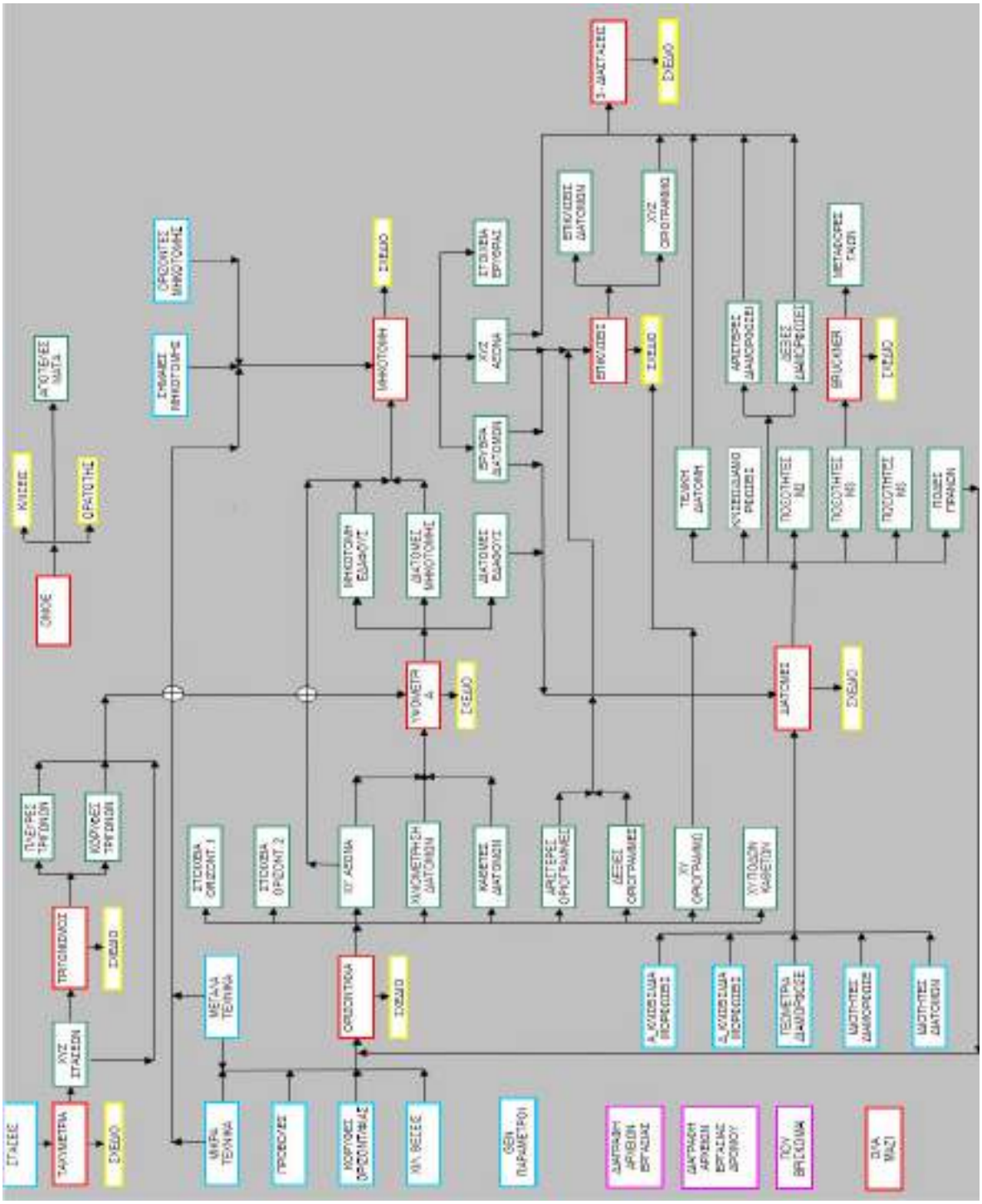
4.1.1 Περιβάλλον εργασίας

Το Η8 είναι ένα πακέτο προγραμμάτων, καθένα από τα οποία συνδέεται με την εκτέλεση μιας αυτοτελούς διαδικασίας, στο πλαίσιο της μελέτης μιας οδού (π.χ. οριζοντιογραφίας, μηκοτομής, διατομών κ.ο.κ) και τα οποία λειτουργούν ενημερώνοντας μία κοινή βάση δεδομένων που αποτελείται από μία σειρά αρχείων. Το Η8 έχει πρωταρχικό στόχο να βοηθήσει τους σπουδαστές του Ε.Μ.Π με στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών και βασικές γνώσεις οδοποιίας να μελετήσουν ένα δρόμο και να παράγουν τα βασικά σχέδιά του, ενώ δεν παύει να αποτελεί χρήσιμο εργαλείο και για πραγματικές μελέτες οδοποιίας. Τα προγράμματά του, που για τη σύνταξή τους έχει χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού Fortran, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μελέτες Σιδηροδρομικών Γραμμών αλλά και Αεροδρομίων.

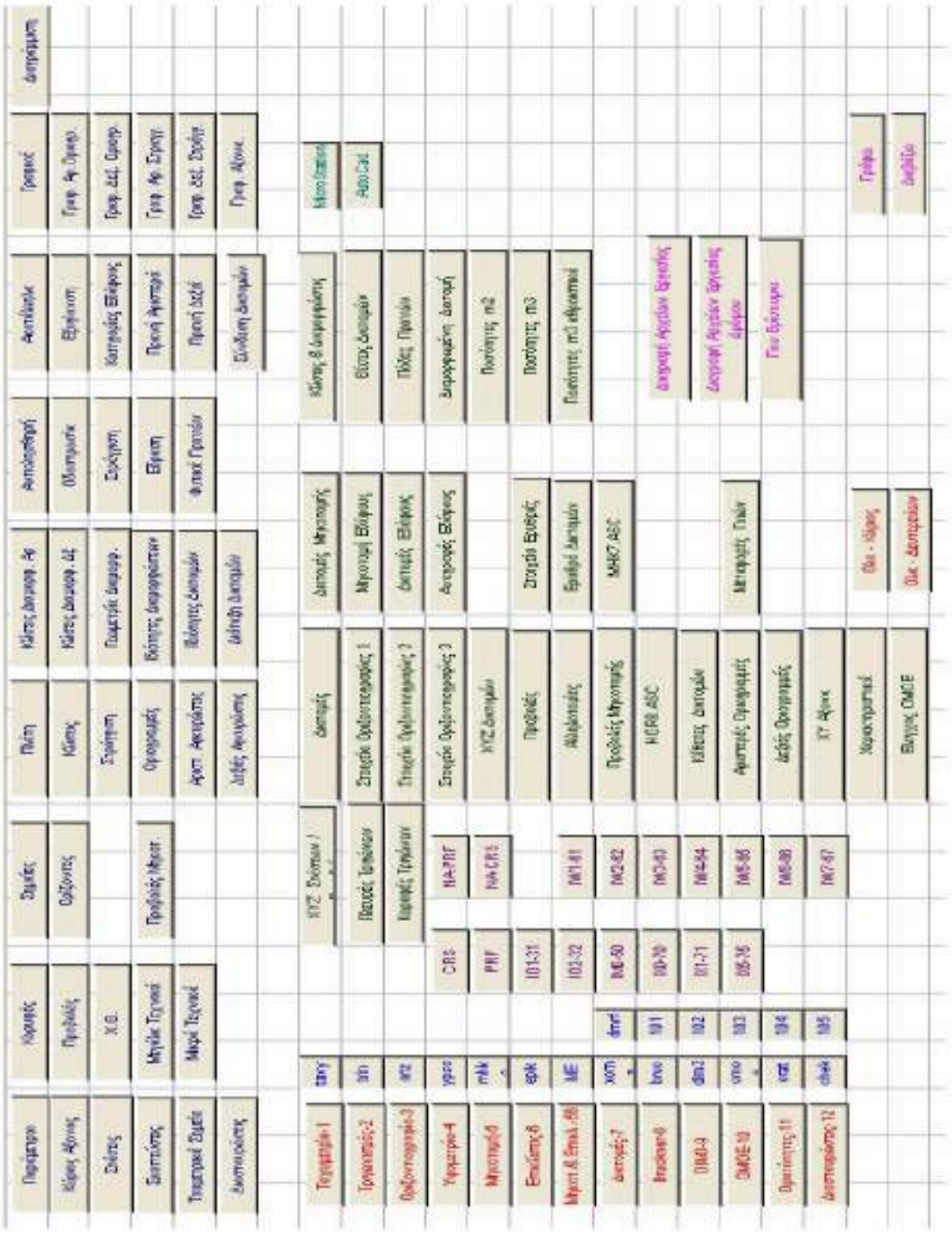
Κατά τη μελέτη Οδών, για παράδειγμα, ο χρήστης εισάγει αρχικά στο Η8, σε διάφορα αρχεία, τα δεδομένα που θέλει για τον υπό μελέτη δρόμο αλλά και τα απαραίτητα δεδομένα για το έδαφος της περιοχής. Στη συνέχεια, με το “τρέξιμο” των αντίστοιχων προγραμμάτων, αφού ελέγξει διαδοχικά τα δεδομένα αυτά ως προς τη γεωμετρική τους ορθότητα, το Η8 εξάγει όλα τα απαραίτητα στοιχεία και σχέδια της υπό μελέτη οδού που χρειάζεται ο μηχανικός προκειμένου να κάνει τις απαραίτητες επεμβάσεις, με βάση τις γνώσεις του στην Οδοποιία και την κριτική του σκέψη, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι το επιθυμητό. Τέλος, ο μηχανικός, έχει τη δυνατότητα να ελέγξει το έργο του με βάση τις βασικές διατάξεις των ΟΜΟΕ, απλά “τρέχοντας” το αντίστοιχο πρόγραμμα “ΟΜΟΕ” του Η8.

Το περιβάλλον εργασίας του Η8 είναι ένα αρχείο τύπου *.xls (Microsoft Excel Worksheet), ένα λογιστικό φύλλο που αποτελεί το κυρίως μενού και παρουσιάζει γραφικά όλο το πακέτο των προγραμμάτων που απαρτίζουν το Η8, αλλά και το σύνολο των αρχείων με τα δεδομένα εισαγωγής, των αρχείων με τα εξαγόμενα στοιχεία καθώς και το πακέτο των σχεδίων που προκύπτουν. Το φύλλο αυτό έχει δύο δυνατές μορφές, την ΕΜΡ (Σχήμα 4-1) και την MENU (Σχήμα 4-2), οι οποίες δε διαφέρουν σε τίποτα άλλο πέρα από τη μορφή τους. Η πρώτη, παρουσιάζει τις λειτουργίες του Η8 υπό μορφή διαγράμματος ροής και δείχνει ξεκάθαρα τις διάφορες ακολουθίες δεδομένων - προγράμματος - παραγόμενου σχεδίου - αποτελεσμάτων, γεγονός που την καθιστά ιδανική για τους σπουδαστές. Η δεύτερη μορφή, δεν αναπαριστά σχηματικά την ακριβή πορεία του αλγόριθμου του Η8 αλλά παρουσιάζει όλα τα αρχεία εισαγωγής δεδομένων, τα προγράμματα, τα παραγόμενα σχέδια και τα αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων συγκεντρωμένα σε ξεχωριστές ομάδες. Η μορφή αυτή, επιτρέπει καλύτερο χειρισμό των προγραμμάτων, απαιτεί όμως πολύ καλή γνώση της λειτουργίας του Η8. Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε χρήση της μορφής MENU.

Στη συνέχεια της παραγράφου αυτής, θα επιχειρηθεί μία συνοπτική παρουσίαση των αρχών λειτουργίας του Η8, με βάση τη μορφή MENU του περιβάλλοντος εργασίας, ώστε μετά να ακολουθήσει η ανάλυση της δημιουργίας του νέου λογισμικού, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία θα αποτελέσει επέκταση του υπάρχοντος πακέτου προγραμμάτων Η8.



Σχήμα 4-1: Περιβάλλον εργασίας μορφής ΕΜΡ



Σχήμα 4-2: Περιβάλλον εργασίας μορφής MENU

4.1.2 Εγκατάσταση και εκκίνηση

Η εγκατάσταση του λογισμικού συνίσταται στην απλή αντιγραφή του φακέλου H8 στο σκληρό δίσκο (C:\) του υπολογιστή, ενώ η έναρξή του στο άνοιγμα του αρχείου H8.xls. Εφόσον ο χρήστης το επιθυμεί, μπορεί να μετονομάσει αυτό το αρχείο και να το αποθηκεύσει με τη νέα ονομασία σε φάκελο της επιλογής του.

Η λειτουργία της εφαρμογής, προϋποθέτει να είναι εγκατεστημένα στον υπολογιστή τα εξής προγράμματα:

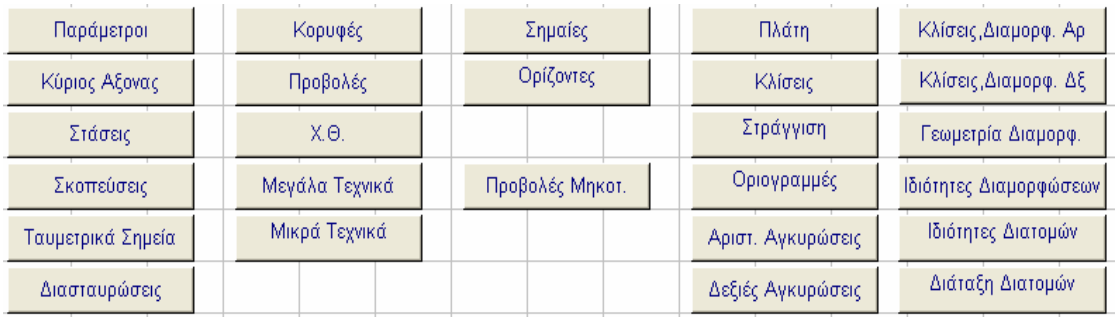
- Microsoft Office Excel
- Autocad (της Autodesk) ή MicroStation (της Bentley)
- Σημειωματάριο των Windows (Notepad)

Επιπλέον, για να μπορέσει ο χρήστης να εργαστεί στο φύλλο εργασίας του Excel, πρέπει να θέσει το επίπεδο ασφαλείας των μακροεντολών του Excel στο χαμηλότερο δυνατό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ακολουθίας Tools → Macro → Security → Low.

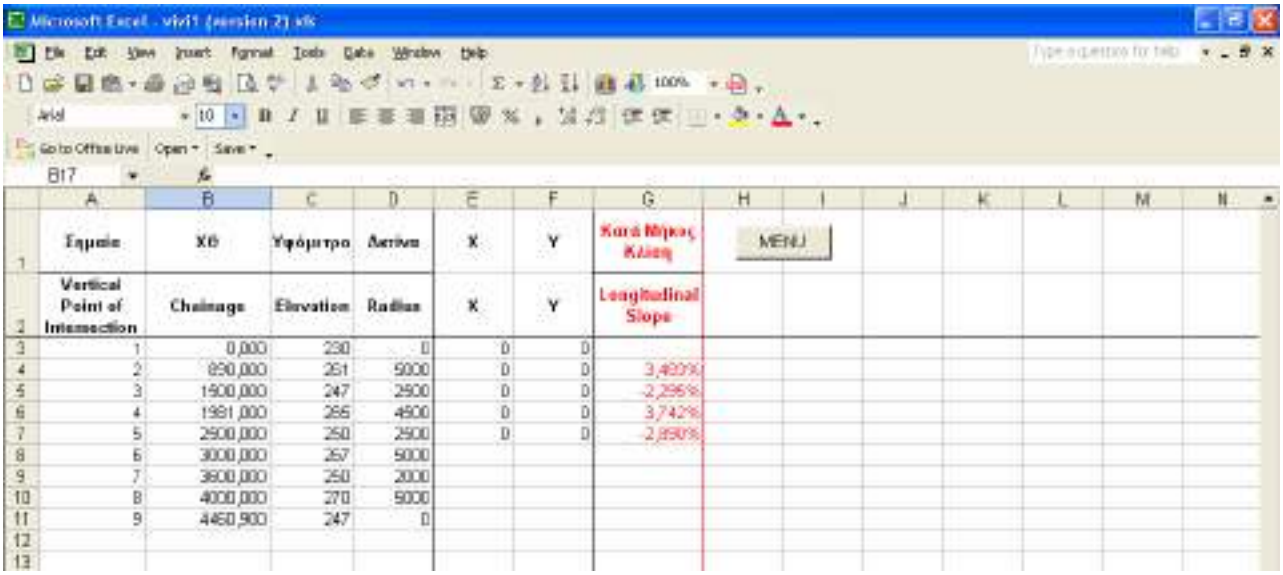
Τα πλαίσια (πλήκτρα) του κυρίως μενού (περιβάλλον εργασίας) είναι συνδεδεμένα με μακροεντολές της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic της Microsoft. Η παρουσία των προαναφερθέντων προγραμμάτων στον υπολογιστή, καθιστά αυτόματο το άνοιγμα όλων των αρχείων και των σχεδίων και το "τρέξιμο" όλων των προγραμμάτων με το πάτημα του αντίστοιχου πλαισίου.

4.1.3 Εισαγωγή δεδομένων

Τα δεδομένα εισάγονται σε απλά λογιστικά φύλλα excel. Για τη μετάβαση στο επιθυμητό φύλλο, ο χρήστης πρέπει απλώς να πατήσει το αντίστοιχο πλαίσιο με γράμματα μπλε χρώματος, που βρίσκεται στην πάνω πλευρά της κεντρικής επιφάνειας εργασίας. Στο Σχήμα 4-3 φαίνονται κάποια πλαίσια που αντιστοιχούν σε αρχεία εισαγωγής δεδομένων, ενώ το Σχήμα 4-4 παρουσιάζει, ενδεικτικά, ένα τέτοιο αρχείο, συγκεκριμένα αυτό στο οποίο εισάγονται οι σημαίες της μηκοτομής.



Σχήμα 4-3: Πλαίσια αρχείων εισαγωγής δεδομένων



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Σημείο	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	X	Y	Κατά Μήκος Κλίση	MENU
2	Vertical Point of Intersection	Chainage	Elevation	Radius	X	Y	Longitudinal Slope	
3	1	0,000	230	0	0	0		
4	2	890,000	251	5000	0	0	3,493%	
5	3	1500,000	247	2500	0	0	-2,296%	
6	4	1981,000	266	4500	0	0	3,742%	
7	5	2500,000	250	2500	0	0	-2,890%	
8	6	3000,000	257	5000				
9	7	3600,000	250	2000				
10	8	4000,000	270	5000				
11	9	4450,900	247	0				
12								
13								

Σχήμα 4-4: Παράδειγμα αρχείου εισαγωγής δεδομένων

Με το πάτημα του πλήκτρου MENU που υπάρχει σε κάθε τέτοιο αρχείο, ενεργοποιούνται οι μακροεντολές της Visual Basic και τα αλφαριθμητικά δεδομένα αποθηκεύονται αυτόματα και σε αρχεία της μορφής ascii, τα οποία αποθηκεύονται μέσα στο φάκελο εργασίας του χρήστη και μπορούν να αναγνωστούν μέσω του Notepad.

4.1.4 Προγράμματα

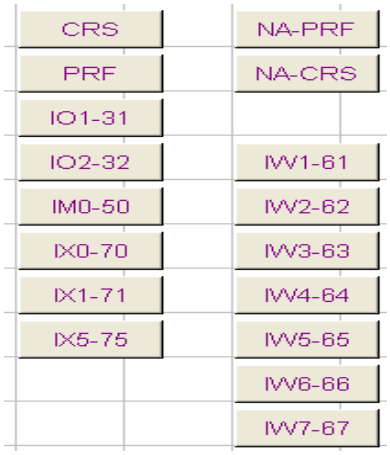
Η έναρξη της λειτουργίας ενός προγράμματος, πραγματοποιείται με το πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου κόκκινου χρώματος της κεντρικής επιφάνειας εργασίας, το οποίο είναι συνδεδεμένο με μακροεντολές της Visual Basic, ενώ υπάρχει και πλήκτρο που μπορεί να καλέσει ταυτόχρονα όλα τα προγράμματα. Το πακέτο των πλαισίων που αντιστοιχούν στα βασικά προγράμματα του Η8 φαίνεται στο σχήμα 4-5, ενώ υπάρχουν και κάποια βοηθητικά προγράμματα, τα οποία καλούνται μέσω των πλαισίων μοβ χρώματος της κεντρικής επιφάνειας εργασίας (Σχήμα 4-6).

Τα προγράμματα έχουν γραφτεί με γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Κάθε πρόγραμμα, μόλις "τρέξει", δημιουργεί κάποια αρχεία αλφαριθμητικών αποτελεσμάτων της μορφής *.dat (§ 4.1.5), τα οποία αποθηκεύονται στο φάκελο εργασίας του χρήστη και μπορούν να αναγνωστούν μέσω του Notepad, καθώς και ένα σχέδιο, το οποίο αποθηκεύεται με τη μορφή *.dxf και μπορεί να αναγνωστεί είτε από το Autocad είτε από το MicroStation. (**Σημείωση**: Στη μορφή EMP, τα σχέδια μπορούν να ανοιχτούν μόνο με Autocad)

Κάθε πρόγραμμα, για να "τρέξει" και να εξάγει τα αποτελέσματά του, διαβάζει κάποια αρχεία fm.* που έχουν προκύψει από τα δεδομένα εισαγωγής, ή και κάποια αρχεία *.dat που έχουν προκύψει από προγράμματα που έχουν "τρέξει" πριν από αυτό. Φυσικά, υπάρχει μία λογική στη διαδοχή των προγραμμάτων, όπως φαίνεται και από την αρίθμησή του στα πλήκτρα κλή-

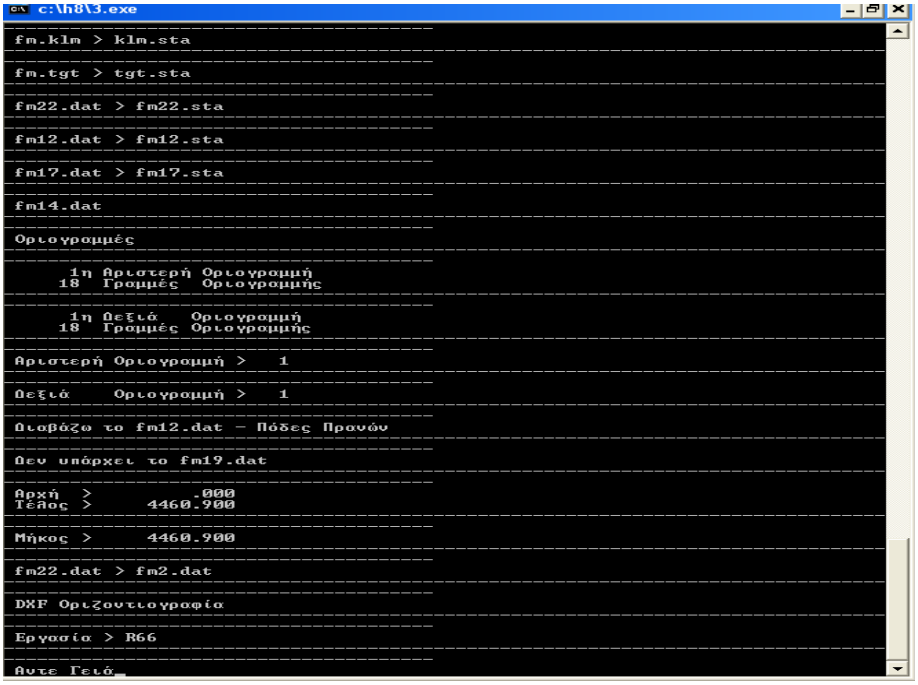
σης τους στην επιφάνεια εργασίας (Σχήμα 4-5). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε πρόγραμμα του H8 εκτελεί μία αυτοτελή διαδικασία. Είναι, επομένως, δυνατή και η αυτόνομη λειτουργία καθενός, ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, εφόσον εξασφαλιστεί από το χρήστη η τροφοδοσία του με τα απαραίτητα δεδομένα.

Σχήμα 4-5: Πλήκτρα κλήσης βασικών προγραμμάτων



Σχήμα 4-6: Πλήκτρα κλήσης βοηθητικών προγραμμάτων

Βασική προϋπόθεση για να είναι σίγουρος ο χρήστης ότι το εκάστοτε πρόγραμμα έφτασε επιτυχώς σε πέρας τη λειτουργία του, είναι να εμφανιστεί στο τέλος της λειτουργίας του στο αντίστοιχο παράθυρο (παράθυρο Command Prompt των MS-DOS) το μήνυμα “Άντε Γειά!” (Σχήμα 4-7). Αν αυτό δεν εμφανιστεί, σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο λάθος στα δεδομένα εισαγωγής και ο χρήστης πρέπει να επέμβει. Στο παράθυρο αναγράφεται ακριβώς το σημείο και ο λόγος για τον οποίο το πρόγραμμα δεν μπορεί να προχωρήσει.



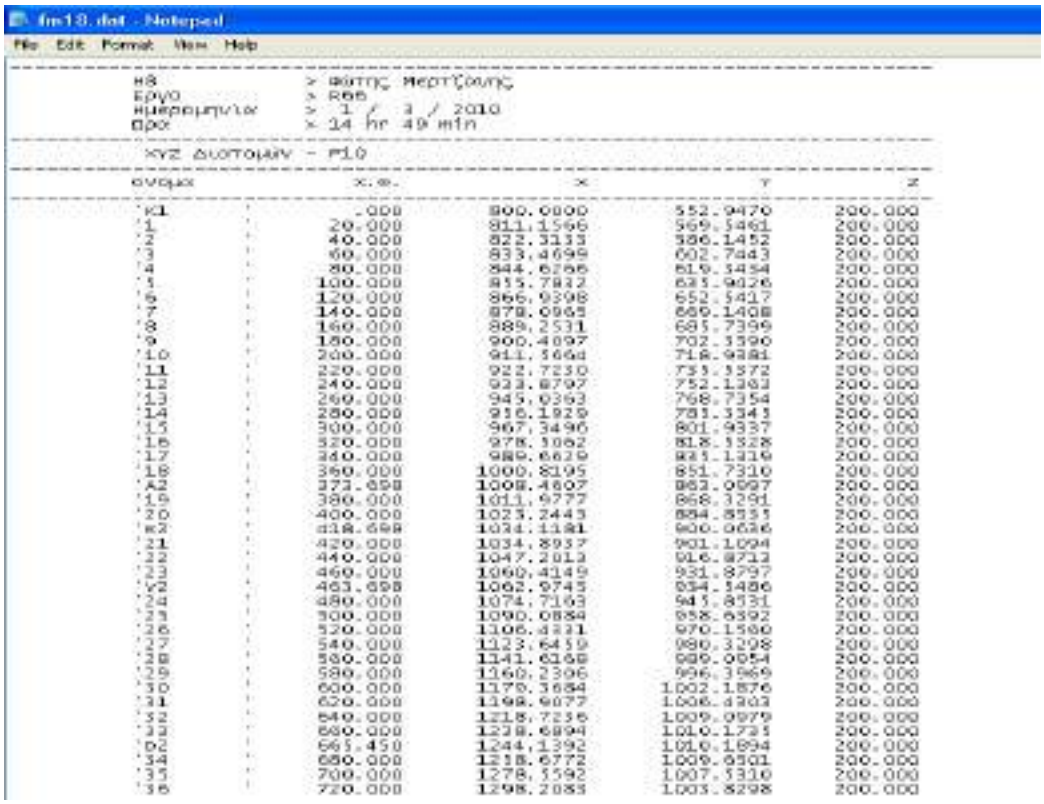
Σχήμα 4-7: Παράδειγμα παραθύρου Command Prompt

4.1.5 Αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων και παραγόμενα σχέδια

Τα αλφαριθμητικά δεδομένα και τα σχέδια που εξάγονται από τα διάφορα προγράμματα, αποθηκεύονται σε μορφή *.dat και *.dxf μέσα στο φάκελο εργασίας όπως ήδη έχει αναφερθεί. Τα αρχεία αυτά, μπορούν να ανοιχτούν με το πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου του κεντρικού μενού, πράσινου και μπλε χρώματος αντίστοιχα ή μέσω του Notepad και του Autocad (ή MicroStation) αντίστοιχα. Η μελέτη τους είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων για επεμβάσεις και τροποποιήσεις στα δεδομένα εισαγωγής από το χρήστη.

Σχήμα 4-8: Πλαίσια που αντιστοιχούν σε αρχεία εξαγωγής δεδομένων

Σχήμα 4-9: Πλήκτρα εξαγόμενων σχεδίων



fm18.dat - Notepad

File Edit Format View Help

H8	> Φώτης Μερτζάνης
Εργο	> R66
ημερομηνια	> 1 / 3 / 2010
ωρα	> 14 hr 49 min

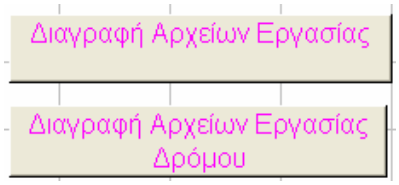
KYZ Διατομών - M10

ονομα	χ.θ.	x	y	z
'K1	.000	890.0000	552.9470	200.000
'1	20.000	811.1566	569.5461	200.000
'2	40.000	822.3133	586.1452	200.000
'3	60.000	833.4699	602.7443	200.000
'4	80.000	844.6266	619.3434	200.000
'5	100.000	855.7832	635.9426	200.000
'6	120.000	866.9398	652.5417	200.000
'7	140.000	878.0965	669.1408	200.000
'8	160.000	889.2531	685.7399	200.000
'9	180.000	900.4097	702.3390	200.000
'10	200.000	911.5664	718.9381	200.000
'11	220.000	922.7230	735.5372	200.000
'12	240.000	933.8797	752.1363	200.000
'13	260.000	945.0363	768.7354	200.000
'14	280.000	956.1929	785.3345	200.000
'15	300.000	967.3496	801.9337	200.000
'16	320.000	978.5062	818.5328	200.000
'17	340.000	989.6629	835.1319	200.000
'18	360.000	1000.8195	851.7310	200.000
'A2	373.698	1008.4607	863.0997	200.000
'19	380.000	1011.9777	868.3291	200.000
'20	400.000	1023.2443	884.8535	200.000
'K2	418.698	1034.1181	900.0626	200.000
'21	420.000	1034.8937	901.1094	200.000
'22	440.000	1047.2013	916.8712	200.000
'23	460.000	1060.4149	931.8797	200.000
'Y2	463.698	1062.9745	934.5486	200.000
'24	480.000	1074.7163	945.8531	200.000
'25	500.000	1090.0884	958.6592	200.000
'26	520.000	1106.4231	970.1580	200.000
'27	540.000	1123.6459	980.3298	200.000
'28	560.000	1141.6168	989.0654	200.000
'29	580.000	1160.2306	996.3969	200.000
'30	600.000	1179.3684	1002.1876	200.000
'31	620.000	1198.9077	1006.4303	200.000
'32	640.000	1218.7236	1009.0979	200.000
'33	660.000	1238.6894	1010.1735	200.000
'D2	665.450	1244.1392	1010.1894	200.000
'34	680.000	1258.6772	1009.6501	200.000
'35	700.000	1278.5592	1007.5310	200.000
'36	720.000	1298.2085	1003.8298	200.000

Σχήμα 4-10: Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής αποτελεσμάτων (*.dat) ανοιγμένου με Notepad

4.1.6 Διαγραφή αρχείων

Στην κεντρική επιφάνεια εργασίας του H8, υπάρχουν δύο πλήκτρα με τα οποία ο χρήστης μπορεί να διαγράψει αρχεία που έχουν δημιουργηθεί μέχρι τη δεδομένη στιγμή (Σχήμα 4-11). Με το πρώτο, διαγράφονται όλα τα αρχεία που έχουν αποθηκευτεί στο φάκελο εργασίας, ενώ με το δεύτερο διαγράφονται όλα τα αρχεία εκτός από αυτά που έχουν δημιουργηθεί από τη λειτουργία των προγραμμάτων Ταχυμετρία και Τριγωνισμός, χρησιμοποιείται δηλαδή στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να αλλάξει κάτι στα δεδομένα του δρόμου, όχι όμως τα δεδομένα του εδάφους.



Σχήμα 4-11: Πλήκτρα διαγραφής αρχείων

4.2 Πρόγραμμα “Προοπτικό”

4.2.1 Γενικά

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η δημιουργία ενός προγράμματος που θα παράγει προοπτικές εικόνες των οδών από τη θέση του οδηγού, με στόχο τόσο τον οπτικό έλεγχο της μορφής των οδών στο χώρο όσο και τον οπτικό έλεγχο της εξασφάλισης της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος αυτών. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται “Προοπτικό” και αποτελεί επέκταση του πακέτου προγραμμάτων οδοποιίας Η8. Η σύνταξή του αλγόριθμου, ο οποίος ονομάστηκε perp, έγινε με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Fortran, της μακροβιότερης γλώσσας προγραμματισμού Η/Υ, με την οποία άλλωστε έχει συνταχθεί και όλο το πακέτο των προγραμμάτων του Η8. Η διαδικασία σύνταξης του προγράμματος έγινε μέσω του περιβάλλοντος Command Prompt (γραμμή εντολών) των MS-DOS, όπου παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να ανοίξει ένα αρχείο *.for μέσω του Notepad. Το αρχείο αυτό έχει πολύ μικρό μέγεθος και, επιπλέον, διαθέτει λειτουργίες εγγράφου οπότε απλοποιεί πολύ τη σύνταξη.

Για να γίνει χρήση του προγράμματος αυτού, θα πρέπει πρώτα να έχουν “τρέξει” όλα τα προηγούμενα προγράμματα του Η8. Κατά τη λειτουργία του, το “Προοπτικό” καλεί μεταξύ άλλων 3 νέες υπορουτίνες που δημιουργήθηκαν για τις ανάγκες λειτουργίας αυτού: την foto, την edge και την clip. Επιπλέον, κατά την υλοποίησή του, δημιουργήθηκε η ανάγκη δημιουργίας ενός ακόμη προγράμματος που ονομάζεται “Ταχύτητες” και εντάσσεται στο Η8, καθώς και η τροποποίηση και διόρθωση ενός ήδη υπάρχοντος προγράμματος του Η8, του προγράμματος “Ορατότητες”.

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζεται και επεξηγείται η λειτουργία του προγράμματος “Προοπτικό”. Επίσης, παρουσιάζονται όλες οι εντολές του perp, καθώς και των 3 νέων υπορουτίνων που προαναφέρθηκαν. Οι αλγόριθμοι αυτοί παρατίθενται στο παράρτημα.

4.2.2 Λειτουργία του προγράμματος “Προοπτικό”

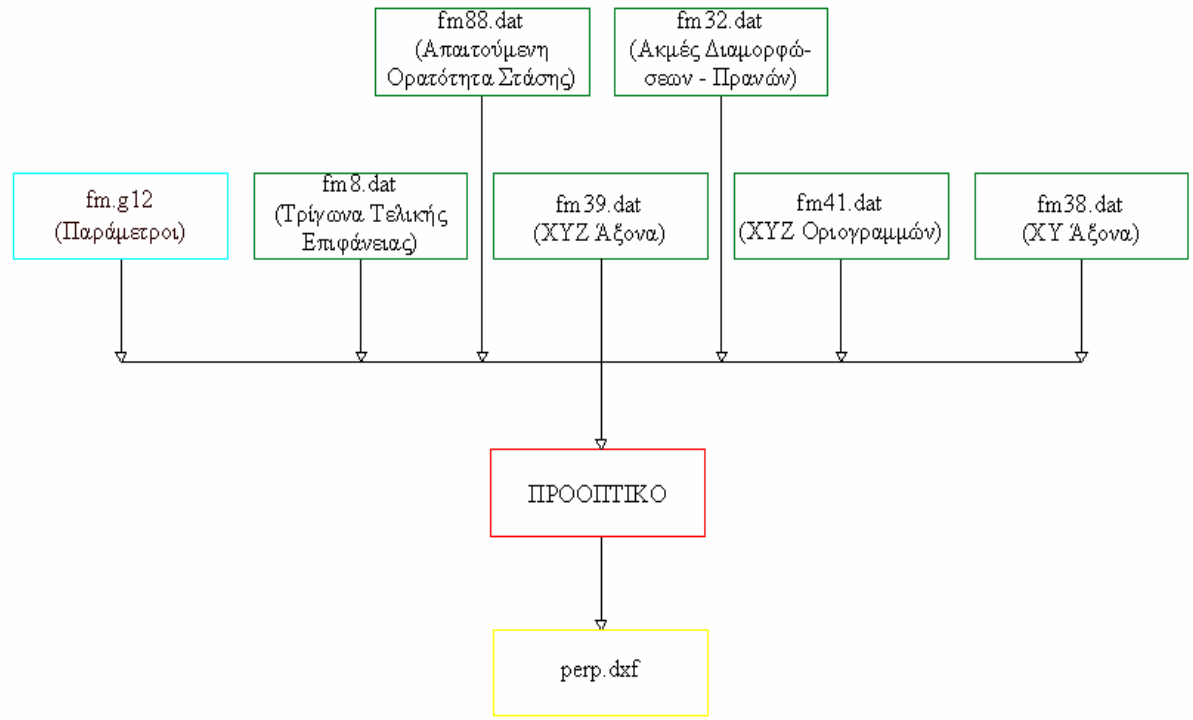
Το πρόγραμμα “Προοπτικό” διαβάζει τα εξής αρχεία:

fm.g12	> Γενικές Παράμετροι
fm8.dat	> Τρίγωνα Τελικής Επιφάνειας
fm39.dat	> XYZ Χάραξη Άξονα
fm41.dat	> XYZ Χάραξη Οριογραμμών
fm38.dat	> XY Άξονα
fm88.dat	> Απαιτούμενη Ορατότητα Στάσης
fm32.dat	> Ακμές Διαμορφώσεων - Πρανών

και δημιουργεί το παρακάτω:

perp.dxf > Προοπτικό σχέδιο

Το Σχήμα 4-12 απεικονίζει σχηματικά την παραπάνω σχέση προγράμματος και αρχείων, υπό μορφή διαγράμματος ροής.



Σχήμα 4-12: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος "Προοπτικό" υπό μορφή διαγράμματος ροής

Ανάλυση των αρχείων που διαβάζει το πρόγραμμα "Προοπτικό"

- Το αρχείο fm.g12 έχει προκύψει από την εισαγωγή δεδομένων στο λογιστικό φύλλο των γενικών παραμέτρων (μορφής *.xls). Από το αρχείο αυτό, το πρόγραμμα διαβάζει:
  - Την ονομασία του έργου
  - Την ταχύτητα μελέτης
  - Την κατηγορία του δρόμου
  - Τη μορφολογία του εδάφους
  - Τη γλώσσα που θα χρησιμοποιηθεί στα αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων
  - Την παραμόρφωση στις συντεταγμένες z
  - Την απόσταση μεταξύ των οριογραμμών από αριστερά και δεξιά
  - Τον τύπο κλίσης κάθε οριογραμμής από αριστερά και δεξιά
  - Το χρώμα που αντιστοιχεί σε κάθε οριογραμμή από αριστερά και δεξιά
  - Τις οδηγίες (RAA, AASHTO, OMOE) που εφαρμόζονται κάθε φορά
  - Την οριογραμμή του οφθαλμού
  - Την προοπτική απόσταση

- Την απόσταση από τον οφθαλμό από την οποία ξεκινάει το πεδίο ορατότητας
- Την απόσταση από τον οφθαλμό στην οποία τελειώνει το πεδίο ορατότητας
- Το πλάτος του πλαισίου
- Το ύψος του πλαισίου
- Τη ΧΘ από την οποία κι έπειτα θα σχεδιαστούν οι προοπτικές εικόνες της οδού
- Τη ΧΘ μέχρι την οποία θα σχεδιαστούν προοπτικές εικόνες της οδού
- Το ύψος της θέσης παρατήρησης, στην περίπτωση που ο χρήστης δεν επιθυμεί να δημιουργήσει προοπτικές εικόνες από την άποψη του οδηγού ενός συμβατικού οχήματος όπως το θεωρούν οι εκάστοτε οδηγίες.

- Το αρχείο fm8.dat έχει δημιουργηθεί από το πρόγραμμα “3-Διαστάσεις” και το βοηθητικό πρόγραμμα “ORTR”, η δουλειά του οποίου είναι να ταξινομεί κατά χιλιομετρική θέση τα τρίγωνα του μοντέλου της οδού και του εδάφους που δημιουργεί το πρώτο. Από αυτό διαβάζει:
  - Τον αύξοντα αριθμό των τριγώνων
  - Τις συντεταγμένες X, Y, Z των τριών κορυφών τους
  - Τη χιλιομετρική τους θέση
  - Το χρώμα τους
- Το αρχείο fm39.dat έχει προκύψει από το πρόγραμμα “Μηκοτομή”. Από αυτό διαβάζει:
  - Τον αύξοντα αριθμό
  - Τη χιλιομετρική θέση
  - Τις συντεταγμένες X, Y, Z
  - Την κατά μήκος κλίση
  - Την ακτίνα καμπύλης στη μηκοτομή και
  - Την ακτίνα καμπύλης στην οριζοντιογραφία για κάθε σημείο του άξονα της οδού.
- Το αρχείο fm41.dat έχει προκύψει από το πρόγραμμα “Επικλίσεις”. Από αυτό διαβάζει:
  - Την οριογραμμή της οδού
  - Τον αύξοντα αριθμό κάθε σημείου πάνω στην κάθε οριογραμμή
  - Τη χιλιομετρική θέση κάθε σημείου
  - Τις συντεταγμένες X, Y, Z αυτού
  - Την κατά μήκος κλίση στο κάθε σημείο
- Το αρχείο fm38.dat έχει προκύψει από το πρόγραμμα “Οριζοντιογραφία”. Από αυτό διαβάζει:
  - Τον αύξοντα αριθμό κάθε σημείου του άξονα της οδού
  - Τη χιλιομετρική του θέση
  - Τις συντεταγμένες του X, Y
  - Το αζιμούθιο στο σημείο αυτό
- Το αρχείο fm88.dat έχει προκύψει από το πρόγραμμα “Ορατότητες”. Από αυτό διαβάζει:
  - Την εκάστοτε χιλιομετρική θέση του οφθαλμού, στην οποία θεωρείται πως ο οδηγός αντιλαμβάνεται ένα εμπόδιο μπροστά του
  - Τη χιλιομετρική θέση του σημείου στο οποίο αρχίζει η τροχοπέδηση (αφού έχει διανυθεί κάποιο διάστημα κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης)
  - Τη χιλιομετρική θέση στην οποία το όχημα ακινητοποιείται
  - Την ταχύτητα μελέτης (σταθερή σε όλο το μήκος της οδού)
  - Τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} σε κάθε σημείο (ενδέχεται να μεταβάλλεται κατά μήκος της οδού)

- Την κατά μήκος κλίση σε κάθε σημείο
- Την επίκλιση σε κάθε σημείο
- Την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο.

Η μοναδική μεταβλητή που ενδιαφέρει το πρόγραμμα είναι η τελευταία, προκειμένου να τοποθετήσει το όχημα στην απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση έμπροσθεν του οδηγού. Αυτή ισούται με τη διαφορά της χιλιομετρικής θέσης στην οποία ακινητοποιείται το όχημα και της χιλιομετρικής θέσης στην οποία ο οδηγός αντιλαμβάνεται το εμπόδιο.

- Το αρχείο fm32.dat έχει προκύψει από το πρόγραμμα "Οριζοντιογραφία". Από αυτό διαβάζει:
  - Την αύξοντα αριθμό
  - Τη χιλιομετρική θέση και
  - Τις συντεταγμένες X, Y, Z διαδοχικών σημείων από τα οποία αποτελούνται οι διαμορφώσεις και τα πρανή, καθώς και
  - Το χρώμα που αντιστοιχεί στα ευθύγραμμα τμήματα που προκύπτουν

  Το αρχείο αυτό χρησιμοποιείται **μόνο** για την προοπτική απεικόνιση των διαμορφώσεων. Για την απεικόνιση των πρανών, γίνεται χρήση των τριγώνων που έχουν προκύψει από το πρόγραμμα "3 Διαστάσεις" (αρχείο fm8.dat).

Ανάλυση του αρχείου που δημιουργεί το πρόγραμμα "Προοπτικό"

- Το μοναδικό αρχείο που εξάγει το πρόγραμμα "Προοπτικό" είναι το perp.dxf. Πρόκειται για το σχέδιο με τις προοπτικές απεικονίσεις της οδού για κάθε θέση του οδηγού επί αυτής, τοποθετημένες τη μία πάνω από την άλλη. Κάθε εικόνα, περιβάλλεται από ένα ορθογώνιο πλαίσιο. Κάθε μία απεικονίζει την οδό και τον περιβάλλοντα χώρο της από την άποψη του οδηγού (κατάστρωμα οδού, διαμορφώσεις, πρανή ορυγμάτων και επιχωμάτων, έδαφος), αλλά και ένα όχημα έμπροσθεν του οδηγού στην ίδια οριογραμμή, σε απόσταση από αυτόν ίση με την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση.

4.2.3 Επεξήγηση του αλγόριθμου του προγράμματος "Προοπτικό"

Ο αλγόριθμος του προγράμματος "Προοπτικό" αποτελείται από τις παρακάτω εντολές με τη σειρά που διατυπώνονται:

- Στις πρώτες γραμμές δηλώνεται το όνομα του προγράμματος, το όνομα του αρχείου και η ημερομηνία έναρξης της σύνταξης του αλγόριθμου.
- Στη συνέχεια, δηλώνονται στο πρόγραμμα όλες οι μεταβλητές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μέχρι το τέλος, είτε αυτές αντιστοιχούν σε δεδομένα που πρόκειται να διαβαστούν από ήδη υπάρχοντα αρχεία, είτε σε νέες μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς, είτε σε μεταβλητές που αντιστοιχούν στα αποτελέσματα που θα εξαχθούν και θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του σχεδίου. Για ευκολία του συντάκτη του προγράμματος, οι μεταβλητές δηλώνονται σε ομάδες, ανάλογα με το αρχείο στο οποίο αναφέρονται ή τη διαδικασία κατά την οποία θα χρησιμοποιηθούν, ενώ δίπλα από την ονομασία τους γράφονται κάποια σχόλια, τα οποία βλέπει μόνο ο χρήστης και τον διευκολύ-

νουν να θυμάται τί είναι η κάθε μεταβλητή. Κάθε μεταβλητή δηλώνεται με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με το αν αντιστοιχεί σε κείμενο ή σε αριθμό. Συγκεκριμένα:

Real → Πραγματικός αριθμός
Integer → Ακέραιος αριθμός
Character → Κείμενο

Επίσης, μαζί με τον προσδιορισμό του είδους της μεταβλητής, δηλώνεται και ο αριθμός των ψηφίων ή των χαρακτήρων αυτής. Για παράδειγμα, μια μεταβλητή που δηλώνεται ως real*8, αντιστοιχεί σε πραγματικό αριθμό με 8 ψηφία.

Επίσης, δίπλα από την ονομασία κάποιων μεταβλητών, δίνεται μέσα σε παρένθεση ο αριθμός των θέσεων που διατίθενται για αυτή. Για παράδειγμα, η έκφραση real*8 k39 (10000) δηλώνει ότι για τη μεταβλητή k39 διατίθενται συνολικά στη μνήμη του υπολογιστή 10000 θέσεις.

- Ακολουθεί η έναρξη του προγράμματος
- Το πρόγραμμα καλεί με την εντολή call τα αρχεία που θα χρησιμοποιήσει, είτε για να διαβάσει δεδομένα είτε για να αποθηκεύσει αποτελέσματα.
- Στη συνέχεια, ανοίγει το αρχείο fm.g12, διαβάζει τα δεδομένα που χρειάζεται από αυτό (βλ. §4.2.2) και πραγματοποιεί τους εξής ελέγχους:
  1) Ελέγχει ότι η απόλυτη τιμή της οριογραμμής στην οποία κινείται ο οφθαλμός δεν είναι μεγαλύτερη από 10 (το H8 θεωρεί ότι μπορούν να υπάρξουν μέχρι και 10 οριογραμμές αριστερά και δεξιά του άξονα).
  2) Ελέγχει ότι η απόλυτη τιμή της οριογραμμής στην οποία κινείται ο οφθαλμός δεν είναι ίση με το 0 (δεν υφίσταται οριογραμμή 0).
  3) Ελέγχει ότι η μεταβλητή που υποδεικνύει τις οδηγίες που θα χρησιμοποιηθούν αντιστοιχεί πράγματι σε κάποιον από αυτούς.
  4) Ελέγχει ότι η προοπτική απόσταση δεν είναι αρνητική (από λάθος) και ότι δεν είναι μεγαλύτερη από 10 μέτρα (αυθαίρετα, θεωρήθηκε ότι μια τόσο μεγάλη προοπτική απόσταση δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα).
  5) Ελέγχει ότι η αρχή και το τέλος του πεδίου ορατότητας βρίσκονται μετά το επίπεδο προβολής.
  6) Ελέγχει ότι το τέλος του πεδίου ορατότητας δε βρίσκεται πριν από την αρχή του.
  7) Ελέγχει ότι οι διαστάσεις του πλαισίου που περιβάλλει την κάθε προοπτική εικόνα δεν είναι αρνητικές.
- Ανοίγει το αρχείο fm38.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφόσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Οριζοντιογραφία") και ελέγχει ότι τα σημεία του (τα σημεία του άξονα) είναι λιγότερα από 10000, όπως έχει ορισθεί στο βήμα δήλωσης των μεταβλητών του αρχείου αυτού.
- Ανοίγει το αρχείο fm8.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφ' όσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "3 Διαστάσεις") και ελέγχει ότι τα τρίγωνα του μοντέλου της οδού και του εδάφους είναι λιγότερα από 500000, όπως έχει ορισθεί στο βήμα δήλωσης των μεταβλητών του αρχείου αυτού.
- Ανοίγει το αρχείο fm38.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφ' όσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Οριζοντιογραφία") και ελέγχει ότι τα σημεία που απαρτίζουν τις διαμορφώσεις και τα πρανή δεν είναι περισσότερα από 100000, όπως έχει ορισθεί στο βήμα δήλωσης των μεταβλητών του αρχείου αυτού.

- Ανοίγει το αρχείο fm39.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφ' όσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Μηκοτομή") και ελέγχει ότι τα σημεία του άξονα είναι λιγότερα από 200000, όπως έχει ορισθεί στο βήμα δήλωσης των μεταβλητών του αρχείου αυτού.
- Ανοίγει το αρχείο fm41.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφ' όσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Επικλίσεις"). Βρίσκει τις γραμμές που αντιστοιχούν στα σημεία της οριογραμμής στην οποία έχει επιλέξει ο χρήστης να κινείται ο οδηγός και τις ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες, ορίζοντας με διαφορετικό τρόπο τις μεταβλητές τους. Ελέγχει ότι τα σημεία όλων των οριογραμμών είναι λιγότερα από 10000, όπως έχει ορισθεί στο βήμα δήλωσης των μεταβλητών του αρχείου αυτού.
- Ελέγχει ότι η προοπτική απόσταση είναι μικρότερη από το βήμα που έχει ορισθεί από το χρήστη (το βήμα υπολογίζεται ως διαφορά των χιλιομετρικών θέσεων δύο διαδοχικών σημείων μιας οριογραμμής).
- Ανοίγει το αρχείο fm88.dat και διαβάζει τα δεδομένα του, εφ' όσον υπάρχουν (δηλαδή, εφ' όσον έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Ορατότητες").
- Στην περίπτωση που οι μεταβλητές του fm.g12 που δηλώνουν τις δύο χιλιομετρικές θέσεις μεταξύ των οποίων θα παραχθούν προοπτικές εικόνες της οδού ισούνται με 0, το πρόγραμμα θεωρεί πως πρέπει να δημιουργήσει προοπτικές εικόνες για όλα τα σημεία του fm88.dat (τα σημεία της οδού στο αρχείο αυτό είναι λιγότερα από τα σημεία στα υπόλοιπα αρχεία, καθώς είναι μόνο αυτά για τα οποία υφίσταται η έννοια της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση μέσα στα όρια της οδού).
- Στη συνέχεια, δηλώνονται στο πρόγραμμα τα ύψη οφθαλμού και εμποδίου σύμφωνα με όλες τις οδηγίες με τις οποίες έχει τη δυνατότητα να δουλέψει (RAA 2008, AASHTO 2004, OMOE 2001) Όσον αφορά στις OMOE, το ύψος του εμποδίου ενδέχεται να μεταβάλλεται από θέση σε θέση, καθώς εξαρτάται από την ταχύτητα $V_{85.}$ Ανάλογα με τις οδηγίες με τις οποίες έχει επιλέξει ο χρήστης να δουλέψει, το πρόγραμμα κρατάει τα ύψη που το ενδιαφέρουν.
- Στη συνέχεια, με σημείο αναφοράς το σημείο πάνω στην οδό που βρίσκεται στην οριογραμμή του οφθαλμού και σε απόσταση ίση με την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση από αυτόν, δίνονται στο πρόγραμμα οι αποστάσεις όλων των χαρακτηριστικών σημείων που μπορούν να μορφώσουν ένα υποτυπώδες τρισδιάστατο όχημα.
- Έχοντας πλέον όλα τα απαραίτητα δεδομένα, το πρόγραμμα ξεκινά τη διαδικασία της προοπτικής απεικόνισης για κάθε θέση του οδηγού πάνω στην οδό ξεχωριστά (βρόγχος που ολοκληρώνεται όταν παραχθεί η προοπτική εικόνα της οδού και για την τελευταία θέση του οδηγού επί αυτής). Τα βήματα που ακολουθούν, επαναλαμβάνονται για κάθε θέση του οδηγού.
- Το πρόγραμμα μορφώνει και ορίζει τη θέση του πλαισίου μέσα στο οποίο θα σχεδιαστεί η προοπτική εικόνα.
- Μετονομάζει τις μεταβλητές που αντιστοιχούν στη χιλιομετρική θέση και στις συντεταγμένες xe, ye του οφθαλμού (καθώς η θέση του είναι πλέον συγκεκριμένη και όχι μεταβλητή) και υπολογίζει τη συντεταγμένη του Z, προσθέτοντας στην αντίστοιχη συντεταγμένη του σημείου της οδού το ύψος του οφθαλμού.
- Με γραμμική παρεμβολή μεταξύ γνωστών σημείων, υπολογίζει τις συντεταγμένες των 3 σημείων (Σ_1, Σ_2, Σ_3 § 3.2) που θα ορίσουν το επίπεδο προβολής.

- Υπολογίζει τις παραμέτρους A, B, C, D της εξίσωσης του επιπέδου (§ 3.2).
- Για κάθε σημείο του άξονα μέσα στο οπτικό πεδίο του οδηγού, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto προκειμένου να υπολογίσει την απεικόνισή του στο επίπεδο προβολής.
- Για κάθε δύο διαδοχικά σημεία του άξονα που προβάλλονται στο επίπεδο, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip, η οποία περιορίζει τη σχεδίαση της προοπτικής εικόνας μέσα στα όρια του πλαισίου.
- Για κάθε σημείο της οριογραμμής του οφθαλμού μέσα στο πεδίο ορατότητας του οδηγού, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto.
- Για κάθε δύο διαδοχικά σημεία της οριογραμμής του οφθαλμού που προβάλλονται στο επίπεδο, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip.
- Για κάθε σημείο καθεμιάς από τις υπόλοιπες οριογραμμές μέσα στο πεδίο ορατότητας του οδηγού, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto.
- Για κάθε δύο διαδοχικά σημεία καθεμίας οριογραμμής που προβάλλονται στο επίπεδο, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip. Σημειώνεται ότι κάθε οριογραμμή σχεδιάζεται σε διαφορετικό επίπεδο (layer) και, μάλιστα, σε διαφορετικό επίπεδο και από τον άξονα.
- Για κάθε σημείο των διαμορφώσεων και των πρανών που βρίσκεται μέσα στο πεδίο ορατότητας του οδηγού, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto.
- Για κάθε δύο διαδοχικά σημεία των διαμορφώσεων και μόνο (όχι των πρανών) που προβάλλονται στο επίπεδο προβολής, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip.
- Το πρόγραμμα υπολογίζει τη χιλιομετρική θέση του σημείου που βρίσκεται μπροστά από τον οφθαλμό σε απόσταση ίση με την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση. Εάν αυτό βρίσκεται μέσα στο πεδίο ορατότητας του οδηγού, το πρόγραμμα υπολογίζει τις συντεταγμένες του X, Y, Z με γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων με γνωστές συντεταγμένες.
- Για το σημείο αυτό, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto ώστε να το προβάλει στο επίπεδο προβολής.
- Με γραμμική παρεμβολή μεταξύ σημείων με γνωστές συντεταγμένες, υπολογίζει τις συντεταγμένες X, Y, Z ενός σημείου πάνω στην οριογραμμή, 1 m πίσω από το παραπάνω σημείο (το οποίο θα χρησιμεύσει για τον υπολογισμό του αζιμούθιου στη θέση στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί το όχημα), καθώς και τις συντεταγμένες x, y, z καθενός από τα χαρακτηριστικά σημεία του οχήματος, σαν αυτά να βρίσκονταν όλα πάνω στην οριογραμμή του οφθαλμού.
- Για κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά αυτά σημεία, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα edge προκειμένου να υπολογίσει τις πραγματικές τους συντεταγμένες x και y (το όχημα προφανώς εκτείνεται δεξιά και αριστερά της οριογραμμής), ενώ η συντεταγμένη τους z υπολογίζονται αμέσως, με απλή πρόσθεση του ύψους αυτών και της συντεταγμένης z των αντίστοιχων σημείων πάνω στην οδό.
- Για κάθε χαρακτηριστικό σημείο του οποίου τις συντεταγμένες υπολογίσει με τη βοήθεια της παραπάνω υπορουτίνας, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto.
- Αφού έχει υπολογίσει την προβολή όλων των σημείων του οχήματος στο επίπεδο προβολής, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip.
- Για κάθε τρίγωνο του μοντέλου την οδού και του περιβάλλοντα χώρου της που βρίσκεται μέσα στο πεδίο ορατότητας του οδηγού και για κάθε κορυφή αυτού, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα foto.

- Για κάθε τρίγωνο που προβάλλεται στο επίπεδο προβολής, το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα clip. Σημειώνεται ότι κάθε τρίγωνο, ανάλογα με το στοιχείο στο μοντέλο του οποίου ανήκει (λωρίδα κυκλοφορίας, έδαφος, πρανές ορύγματος ή επιχώματος) σχεδιάζεται σε διαφορετικό επίπεδο (layer).
- Μόλις ο βρόγχος ολοκληρωθεί (δηλαδή μόλις η διαδικασία πραγματοποιηθεί και για όλες τις θέσεις του οδηγού για τις οποίες ο χρήστης επιθυμεί να παραχθούν προοπτικές εικόνες της οδού) το πρόγραμμα κλείνει το αρχείο στο οποίο έχουν αποθηκευτεί όλες οι πληροφορίες για τη σχεδίαση των προοπτικών εικόνων και καλεί την υπορουτίνα dxf. Με τη βοήθεια της τελευταίας, θα μετατρέψει το παραπάνω αρχείο (perp.des) σε perp.dxf, στο οποίο θα αποθηκευτεί, πλέον, το σχέδιο που έχει δημιουργήσει ο αλγόριθμος.

4.2.4 Υπορουτίνα foto

Η υπορουτίνα foto εκτελεί τους υπολογισμούς που απαιτούνται προκειμένου να απεικονιστεί ένα σημείο στο επίπεδο προβολής. Η διαδικασία έχει περιγραφεί και επεξηγηθεί σε προηγούμενη παράγραφο (§ 3.2). Η σύνταξη της υπορουτίνας αυτής ήταν αναγκαία προκειμένου να μην επαναλαμβάνονται συνεχώς οι ίδιες εντολές στον κυρίως αλγόριθμο του προγράμματος.

Η υπορουτίνα foto έχει ως μεταβλητές εισαγωγής τις συντεταγμένες x, y, z του σημείου της οδού στο οποίο βρίσκεται ο οφθαλμός, τις συντεταγμένες x_1, y_1, z_1 του σημείου του επιπέδου προβολής που θα αποτελέσει αρχή του τοπικού συστήματος αξόνων, τις παραμέτρους A, B, C, D της εξίσωσης του επιπέδου, το ύψος του οφθαλμού και, τέλος, τις συντεταγμένες στο σύστημα Oxyz του σημείου το οποίο πρέπει να απεικονίσει στο επίπεδο. Στο perp εξάγει τις τελικές συντεταγμένες x_t, z_t της προβολής του σημείου αυτού στο σύστημα συντεταγμένων του επιπέδου.

Ο αλγόριθμος της υπορουτίνας foto αποτελείται από τις παρακάτω εντολές με τη σειρά που διατυπώνονται:

- Στις πρώτες γραμμές δηλώνεται το όνομα της υπορουτίνας, ο σκοπός της και η ημερομηνία δημιουργίας της.
- Στη συνέχεια, δίνονται οι μεταβλητές, εισαγόμενες και εξαγόμενες από την υπορουτίνα, που πρέπει να δώσει το πρόγραμμα “Προοπτικό” (και οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα του H8) προκειμένου να την καλέσει επιτυχώς.
- Δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που πρόκειται να χρησιμοποιήσει η υπορουτίνα στους υπολογισμούς της.
- Στη συνέχεια, η υπορουτίνα υπολογίζει την παράμετρο λ των παραμετρικών εξισώσεων της ευθείας μεταξύ οφθαλμού και στόχου παρατήρησης.
- Υπολογίζει τις συντεταγμένες του σημείου τομής της ευθείας όρασης και του επιπέδου προβολής στο τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων Oxyz.
- Υπολογίζει τη γωνία θ περιστροφής των αξόνων ανάλογα με το αζιμούθιο στη θέση του οφθαλμού.
- Εκτελεί πρώτα μετάθεση και έπειτα περιστροφή των αξόνων ώστε να εκφράσει τις συντεταγμένες της προβολής του σημείου στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του επιπέδου προβολής.

- Εξάγει στο perp τις δύο τελικές συντεταγμένες της απεικόνισης του εκάστοτε σημείου.

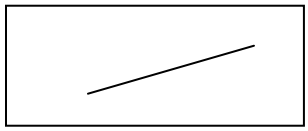
4.2.5 Υπορουτίνα clip

Σκοπός της υπορουτίνας clip είναι να περιορίσει τη σχεδίαση της προοπτικής εικόνας μέσα στα όρια ενός ορθογώνιου πλαισίου. Από τη στιγμή που επιλέχθηκε η εισαγωγή κάθε εικόνας μέσα σε ένα τέτοιο πλαίσιο, δημιουργήθηκε η ανάγκη τα τμήματα των γραμμών που βγαίνουν έξω από αυτό να μη σχεδιάζονται. Οι εντολές που απαιτούνται για την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας είναι πολλές ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε δύο διαδοχικά σημεία που προβάλλονται. Γίνεται σαφές πως η δημιουργία της υπορουτίνας αυτής ήταν αναγκαία.

Η υπορουτίνα clip έχει ως μεταβλητές εισαγωγής 5 σχεδιαστικές μεταβλητές που αφορούν το επίπεδο (layer) σχεδίασης, το χρώμα, το συμβολισμό, το πάχος των γραμμών και το "γέμισμα" κλειστών επιφανειών (μεταβλητή που έχει νόημα μόνο στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Microstation), καθώς επίσης και τον αριθμό των σημείων που πρέπει κάθε φορά να ενωθούν, τις συντεταγμένες τους, τις διαστάσεις και την κατακόρυφη θέση του εκάστοτε πλαισίου.

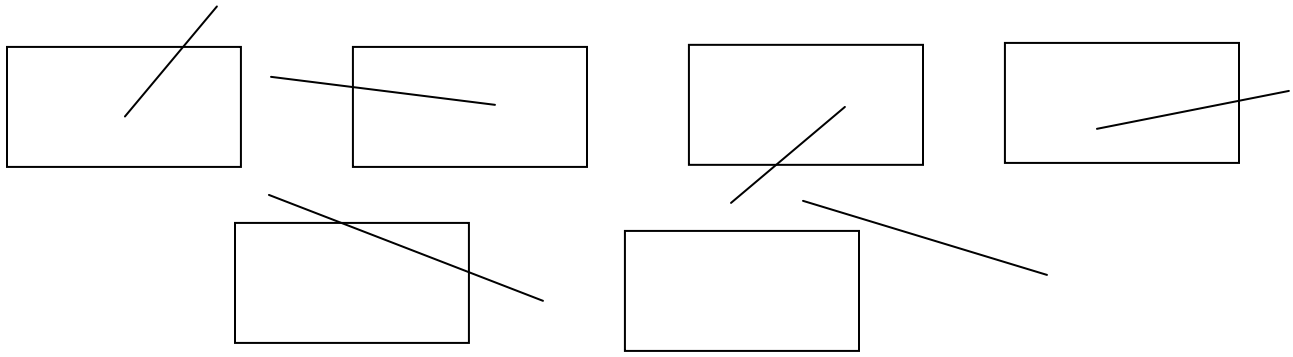
Ο αλγόριθμος της υπορουτίνας clip αποτελείται από τις παρακάτω εντολές με τη σειρά που διατυπώνονται:

- Στις πρώτες γραμμές δηλώνεται το όνομα της υπορουτίνας, ο σκοπός της και η ημερομηνία δημιουργίας της.
- Στις επόμενες, δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που πρέπει να δώσει το πρόγραμμα "Προοπτικό" (και κάθε άλλο πρόγραμμα) προκειμένου να την καλέσει επιτυχώς.
- Στη συνέχεια, δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που πρόκειται να χρησιμοποιήσει η υπορουτίνα στους υπολογισμούς της.
- Για κάθε **δύο διαδοχικά σημεία** (x_1, y_1) και (x_2, y_2), η υπορουτίνα ονομάζει 1 το σημείο με τη μικρότερη συντεταγμένη x.
- Εάν και τα δύο σημεία βρίσκονται μέσα στο όρια του πλαισίου, η υπορουτίνα clip καλεί την υπορουτίνα line και τα ενώνει.



- Εάν δεν ισχύει αυτό, οι περιπτώσεις είναι δύο:
  1) Το ένα σημείο της ευθεία είναι μέσα στα όρια του πλαισίου και το άλλο έξω
  2) Και τα δύο σημεία της ευθείας είναι έξω από το πλαίσιο. Στη δεύτερη αυτή περίπτωση, διακρίνονται πάλι δύο περιπτώσεις: Ενδέχεται **α)** η ευθεία να τέμνει το πλαίσιο, οπότε να υπάρχει τμήμα της μέσα σε αυτό που πρέπει να σχεδιαστεί (αν και ορισμένες φορές, ενδέχεται η εικόνα να ήταν καλύτερη εάν αυτό δε σχεδιαζόταν αλλά αυτό δεν μπορεί να προβλεφτεί προγραμματιστικά) ή **β)** η ευθεία να μην τέμνει πουθενά το πλαίσιο.

Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις απεικονίζονται στα σκαριφήματα που ακολουθούν.



- Για τις περιπτώσεις αυτές, η υπορουτίνα υπολογίζει τις παραμέτρους α, β της εξίσωσης της ευθείας που τα ενώνει ($y = \alpha x+\beta$).
- Στη συνέχεια, υπολογίζει τις συντεταγμένες x, y του τυχόντος σημείου τομής της ευθείας αυτής με κάθε μία από τις 4 πλευρές του πλαισίου.
- Ελέγχει ποιο/α από αυτά τα παραπάνω σημεία τομής βρίσκεται **και** μέσα στα όρια του πλαισίου (όχι στην προέκταση κάποιας πλευράς του) **και** μεταξύ των σημείων 1 και 2 της ευθείας (δεν ενδιαφέρει το σημείο εάν είναι τομή της πλευρά του πλαισίου με την προέκταση της ευθείας). Μόνο τα σημεία που πληρούν τις δύο αυτές προϋποθέσεις ενδιαφέρουν.
- Εάν μόνο ένα σημείο τομής πληροί και τις 2 προϋποθέσεις, η υπορουτίνα συμπεραίνει πως το ένα σημείο της ευθείας βρίσκεται μέσα στα όρια του πλαισίου και το άλλο έξω από αυτά.
- Ελέγχει ποιο από τα δύο σημεία της ευθείας (1 ή 2) βρίσκεται μέσα στο πλαίσιο και καλεί την υπορουτίνα line προκειμένου να το ενώσει με το παραπάνω σημείο τομής.
- Εάν βρεθούν 2 σημεία που πληρούν τις προϋποθέσεις αυτές, τότε και τα δύο σημεία της ευθείας βρίσκονται έξω από το πλαίσιο, αλλά η ευθεία το τέμνει. Στην περίπτωση αυτή, η υπορουτίνα clip καλεί την υπορουτίνα line προκειμένου να ενώσει τα δύο παραπάνω σημεία τομής μεταξύ τους.
- Εάν κανένα σημείο τομής δεν πληροί τις προϋποθέσεις αυτές, τότε η ευθεία δεν τέμνει το πλαίσιο οπότε δε σχεδιάζεται καθόλου.

4.2.6 Υπορουτίνα edge

Η υπορουτίνα edge υπολογίζει τις συντεταγμένες x, y των χαρακτηριστικών σημείων του τρισδιάστατου οχήματος, για τα οποία δίνεται το αντίστοιχο σημείο τους πάνω στην οριογραμμή του οφθαλμού και η κάθετη στην οριογραμμή απόστασή τους από αυτό.

Η υπορουτίνα edge έχει ως μεταβλητές εισαγωγής τις συντεταγμένες x_1, y_1 ενός σημείου πάνω στην οριογραμμή του οφθαλμού 1 μέτρο πίσω από το σημείο που απέχει όσο και η απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση από τον οφθαλμό, τις συντεταγμένες x_2, y_2 του αντίστοιχου σημείου πάνω στην οριογραμμή του οφθαλμού ενός σημείου του οχήματος και την κάθετη στην οριογραμμή απόσταση d των δύο αυτών σημείων (θεωρώντας πως βρίσκονται στο ίδιο ύψος). Στο perp εξάγει τις πραγματικές συντεταγμένες του σημείου του οχήματος.

Ο αλγόριθμος της υπορουτίνας edge αποτελείται από τις παρακάτω εντολές με τη σειρά που διατυπώνονται:

- Στις πρώτες γραμμές δηλώνεται το όνομα της υπορουτίνας, ο σκοπός της και η ημερομηνία δημιουργίας της.
- Στις επόμενες, δηλώνονται όλες οι μεταβλητές που πρέπει να δώσει το πρόγραμμα “Προοπτικό” (και κάθε άλλο πρόγραμμα) προκειμένου να την καλέσει επιτυχώς.
- Η υπορουτίνα edge υπολογίζει το αζιμούθιο (az) στη θέση που πρόκειται να τοποθετηθεί το όχημα, ως τόξο εφαπτομένης μεταξύ των δύο σημείων τις συντεταγμένες των οποίων πήρε από το perp, ανάλογα με τα πρόσημα των διαφορών $x_2 - x_1$ και $y_2 - y_1$.
- Τέλος, η υπορουτίνα υπολογίζει τις επιθυμητές συντεταγμένες x, y με βάση της απόσταση d και το αζιμούθιο, σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$x = x_2 + d \cdot \cos(az)$$

$$y = y_2 - d \cdot \sin(az)$$

4.3 Πρόγραμμα “Ταχύτητες”

4.3.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της σύνταξης του προγράμματος “Προοπτικό”, δημιουργήθηκε η ανάγκη δημιουργίας ενός ακόμη προγράμματος. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που θα υπολογίζει τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} σε κάθε σημείο των οδών κατηγορίας Α και θα εξάγει ένα διάγραμμα ταχυτήτων. Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ 2001, σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, η V_{85} μεταβάλλεται καθ’ όλο το μήκος της οδού. Το γεγονός αυτό μέχρι τώρα δεν είχε ληφθεί υπόψη από το Η8, αν και παίζει σημαντικό ρόλο στον ορθό υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, στην περίπτωση που αυτό υπολογίζεται είτε σύμφωνα με τους RAA 2008 είτε σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ 2001. Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε “Ταχύτητες” και εντάχθηκε στο αρχικό περιβάλλον εργασίας του Η8.

Δε χρειάστηκε να δημιουργηθεί κάποια νέα φόρμα εισαγωγής δεδομένων πέρα από τις ήδη υπάρχουσες του Η8. Το νέο αυτό πρόγραμμα χρησιμοποιεί ως δεδομένα ήδη υπάρχοντα αρχεία fm.* και *.dat. Για να “τρέξει”, θα πρέπει πρώτα να έχουν “τρέξει” τα προγράμματα τουλάχιστον μέχρι και τη “Μηκοτομή”, ώστε να έχουν δημιουργηθεί τα απαραίτητα αρχεία *.dat που χρειάζεται προκειμένου να εκτελέσει τους υπολογισμούς του και να εξάγει τα αποτελέσματά του. Το υπολογιστικό κομμάτι του προγράμματος είναι βασισμένο στις παραγράφους του κεφαλαίου 3 (Χαράξεις) των ΟΜΟΕ (Έκδοση 2001).

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνταξη και αυτού του προγράμματος είναι η Fortran, ενώ η διαδικασία σύνταξης του προγράμματος έγινε πάλι μέσω του περιβάλλοντος Command Prompt (γραμμή εντολών) των MS-DOS.

Το αρχείο που περιέχει τον αλγόριθμο του προγράμματος “Ταχύτητες”, ονομάζεται taxy.for. Το περιεχόμενό του θα εξηγηθεί αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους. Στο παράρτημα, παρατίθεται ολόκληρο, στην τελική του μορφή.

4.3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο του προγράμματος Ταχύτητες

Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} είναι ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται στο γεωμετρικό υπολογισμό μεμονωμένων στοιχείων μελέτης της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Στις οδούς της ομάδας Α, η ταχύτητα V_{85} αντιστοιχεί στην ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατικών οχημάτων σε καθαρό και υγρό οδόστρωμα. Σχετικές έρευνες, έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα V_{85} σε υγρό οδόστρωμα δε διαφέρει ουσιαστικά από την ταχύτητα V_{85} σε υγρό οδόστρωμα, εφόσον η ένταση της βροχής είναι τέτοια ώστε το μήκος ορατότητας των οδηγών να είναι τουλάχιστον ίσο με 150m. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα V_{85} που αναφέρεται στην κρίσιμη περίπτωση του υγρού οδοστρώματος, ισχύει τόσο σε υγρά όσο και σε στεγνά οδοστρώματα.

Στις οδούς της ομάδας Β, η ταχύτητα V_{85} συνδέεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα και, σύμφωνα με σχετικές έρευνες, είναι μεγαλύτερη από αυτή. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας και της σύνταξης του προγράμματος "Ταχύτητες", λαμβάνονται υπόψη μόνο οι σχέσεις που ισχύουν για τις οδούς της ομάδας Α.

Η ταχύτητα V_{85} μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας σχεδιασμού των επιμέρους οδικών τμημάτων όσον αφορά στην ασφάλεια, σύμφωνα με τα Κριτήρια I, II και III. Τα τελευταία, αποτελούν τρία ποσοτικά κριτήρια αξιολόγησης της οριζόντιας χάραξης μιας οδού ως προς την ασφάλεια, τα οποία αναφέρονται σε οδούς της ομάδας Α με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Η διατύπωσή τους είναι αποτέλεσμα εκτενούς ανάλυσης και συσχέτισης των τροχαίων ατυχημάτων με τα κατασκευαστικά στοιχεία ή τα στοιχεία κυκλοφοριακής τεχνικής (διαμόρφωση διατομής, ακτίνες, κατά μήκος κλίση, πρόσφυση οδοστρώματος, διαγραμμίσεις κλπ) των οδικών τμημάτων.

Επιγραμματικά, τα τρία αυτά Κριτήρια ασφαλείας εξετάζουν τα εξής:

- **Κριτήριο Ασφαλείας I**: Εξετάζει την απόκλιση μεταξύ των τιμών των ταχυτήτων V_e και V_{85} ενός οδικού τμήματος.
- **Κριτήριο Ασφαλείας II**: Εξετάζει την απόκλιση μεταξύ διαδοχικών V_{85}.
- **Κριτήριο Ασφαλείας III**: Εξετάζει την απόκλιση μεταξύ των τιμών του διατιθέμενου f_R και του απαιτούμενου f_{RA} συντελεστή εγκάρσιας τριβής σε μια καμπύλη και χαρακτηρίζουν την ποιότητα σχεδιασμού των επιμέρους οδικών τμημάτων ως καλή, μέτρια και μη αποδεκτή.

Όσον αφορά στις οδούς της ομάδας Α, η ταχύτητα V_{85} υπολογίζεται σε οδικά τμήματα με ενιαία χαρακτηριστικά ως εξής:

α) Οδοί με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας

Για τις οδούς αυτές, δεν υπάρχουν ακόμη τεκμηριωμένες απόψεις όσον αφορά στη σχέση μεταξύ γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού και της ταχύτητας κυκλοφορίας. Επομένως, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ 2001, η ταχύτητα V_{85} υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$V_{85} = V_e + 20\,\text{km/h} \text{ για } V_e \geq 100\,\text{km/h}$$
$$V_{85} = V_e + 30\,\text{km/h} \text{ για } V_e < 100\,\text{km/h}$$

β) Οδοί με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας

Στις οδούς αυτές, η ταχύτητα V_{85} είναι, σύμφωνα με πολλές ερευνητικές εργασίες, συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού και προσδιορίζεται για κάθε μεμονωμένο γεωμετρικό στοιχείο (καμπύλη ή ευθυγραμμία). Οι καθοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ταχύτητας V_{85} είναι η ελικτότητα K_E της μεμονωμένης καμπύλης και το πλάτος b της λωρίδας κυκλοφορίας.

Η ελικτότητα K_E μιας μεμονωμένης καμπύλης είναι συνάρτηση της γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης και του συνολικού μήκους της καμπύλης, που αποτελείται από το μήκος του κυκλικού τόξου και τα μήκη των εκατέρωθεν τόξων συναρμογής (κλωθοειδείς), και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K_E = \frac{|\gamma|}{L} \qquad \text{όπου:}$$

$\mathbf{K_E}$ (gon/km): η ελικτότητα της μεμονωμένης καμπύλης, **γ** (gon): η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε καμπύλη, **L** (m): το συνολικό μήκος της καμπύλης.

Στην περίπτωση που η μεμονωμένη καμπύλη είναι σύνθετη και αποτελείται από κυκλικά τόξα και τόξα συναρμογής (κλωθοειδείς) ισχύει:

$$K_E = \frac{\sum \frac{L_{ci}}{R_i} + \sum \frac{L_i}{2R_i}}{\sum L_{ci} + \sum L_i} \cdot 63700 \qquad \text{όπου:}$$

$\mathbf{K_E}$ (gon/km): η ελικτότητα της μεμονωμένης καμπύλης, $\mathbf{L_{ci}}$ (m): το μήκος του κυκλικού τόξου I, $\mathbf{L_i}$ (m): το μήκος της κλωθοειδούς I και $\mathbf{R_i}$ (m): η ακτίνα του κυκλικού τόξου i.

Στη σύνταξη του προγράμματος Ταχύτητες, έγινε χρήση της τελευταίας σχέσης για τον υπολογισμό της ελικτότητας κάθε καμπύλης. Η ελικτότητα της ευθυγραμμίας ισούται με $K_E = 0$.

Όσον αφορά στις **καμπύλες**, η ταχύτητα V_{85} σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας της ομάδας Α, προσδιορίζεται ως η μέση τιμή των ταχυτήτων και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, οι οποίες υπολογίζονται σε συνάρτηση με την ελικτότητα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος (κατά μήκος κλίση, μήκος εφαρμογής της κλίσης και πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας) από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Για κατά μήκος κλίση $s \le 5\%$ ή $s > 5\%$ με μήκος < 250 m:
  $V_{85} = [10^6 / (10150{,}10 + 8{,}529 \cdot K_E)] + [(b - 3{,}5) \cdot 20]$
- Για $s > 5\%$ επί μήκους $\ge 250\,\text{m}$, ανεξαρτήτως του πλάτους λωρίδας κυκλοφορίας:
  – για $5\% < s \le 7\%$: $V_{85} = 73{,}260 - 0{,}015 \cdot K_E$
  – για $7\% < s < 10\%$: $V_{85} = 69{,}456 - 0{,}014 \cdot K_E$

<u>Αυθαίρετα</u> θεωρήθηκε, κατά τη σύνταξη του προγράμματος, πως για κατά μήκος κλίση $s \ge 10\%$, V_{85} = 60 km/h.

Όσον αφορά στις **ευθυγραμμίες (K_E = 0),** οι 3 τελευταίες σχέσεις δίνουν τη <u>θεωρητική</u> V_{85Tmax} που θα μπορούσε να αναπτυχθεί σε αυτές, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κατά μήκος κλίση τους και όχι το μήκος τους. Στις ΟΜΟΕ 2001, όμως, οι ευθυγραμμίες θεωρούνται πλέον ως "δυναμικά στοιχεία μελέτης", λαμβανομένων υπόψη των αναγκαίων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων των οδηγών. Ενώ για την αξιολόγηση των κυκλικών τόξων με ή χωρίς τόξα συναρμογής έχουν ουσιαστική σημασία τα Κριτήρια Ασφαλείας I και III, για την αξιολόγηση μιας ευθυγραμμίας καθοριστική σημασία έχει το Κριτήριο II "επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στη

λειτουργική ταχύτητα", προκειμένου να αξιολογηθεί η μετάβαση από την ευθυγραμμία στην καμπύλη και αντίστροφα ως καλός, μέτριος ή μη αποδεκτός σχεδιασμός. Για την υπόψη ανάλυση και αξιολόγηση, διακρίνονται οι εξής 3 περιπτώσεις ευθυγραμμιών:

Περίπτωση 1 - Εξαρτημένη ευθυγραμμία

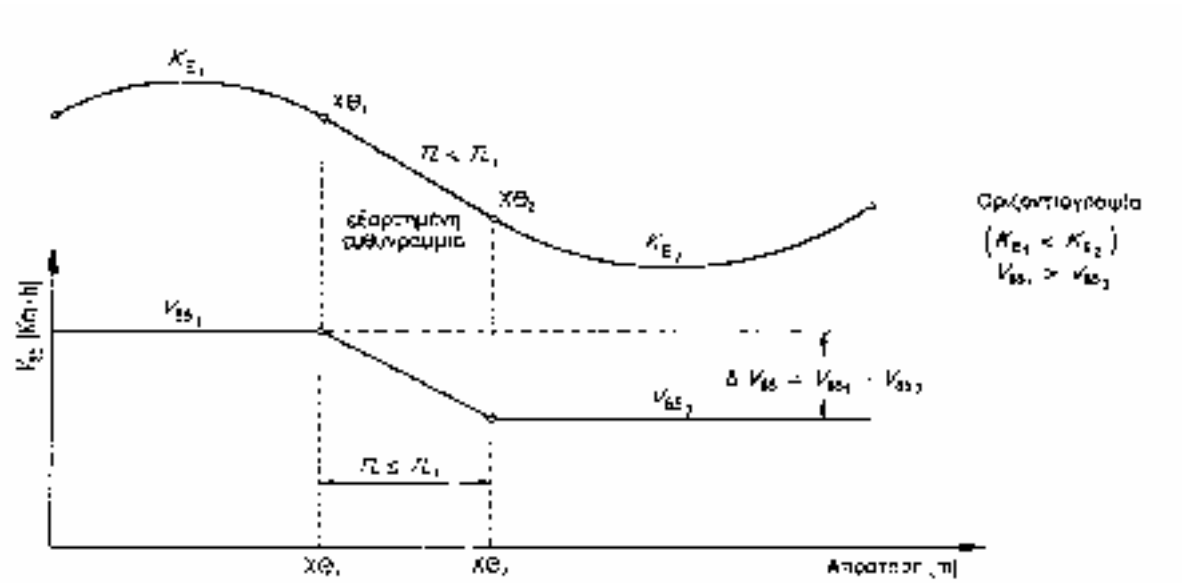
Ως εξαρτημένες χαρακτηρίζονται εκείνες οι ευθυγραμμίες που έχουν σχετικά μικρό μήκος, με αποτέλεσμα η διαφορά μεταξύ των διαδοχικών ταχυτήτων V_{85} να μην μπορεί να υπερβεί την επιτρεπόμενη, σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας ΙΙ για καλή ποιότητα σχεδιασμού ($\Delta V_{85} \leq 10 km/h$) ή ακόμη και για μέτρια ποιότητα σχεδιασμού ($10 km/h \leq \Delta V_{85} \leq 20 km/h$) κατά τη διάρκεια επιταχυνόμενων ή επιβραδυνόμενων κινήσεων των οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, η διαδικασία αξιολόγησης της αλληλουχίας των στοιχείων μελέτης από την άποψη της ασφάλειας, καθορίζεται από την αλληλουχία καμπύλη - καμπύλη και η ύπαρξη της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας αγνοείται. Έτσι καλύπτεται η κρίσιμη περίπτωση της μέτριας ποιότητας σχεδιασμού μιας οδού ($\Delta V_{85} = 20 km/h$), ιδιαίτερα όσον αφορά στις επιβραδύνσεις, ενώ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, τα μήκη των ευθυγραμμιών δεν επαρκούν προκειμένου ο μέσος οδηγός να επιβραδύνει ή να επιταχύνει με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει υπέρβαση των ορίων μεταβολής της λειτουργικής ταχύτητας που χαρακτηρίζουν το μέτριο ή ακόμα και τον καλό σχεδιασμό οδών.

Προκειμένου μια ευθυγραμμία να χαρακτηριστεί ως εξαρτημένη, πρέπει το μήκος της TL να είναι μικρότερο από την τιμή TL_s (έντονη γραμμή πλαισίου - διαγώνιος του Πίνακα) των ευθυγραμμιών μικρού μήκους του Πίνακα 4-1 ($TL < TL_s$) που αντιστοιχεί στην πλησιέστερη ταχύτητα V_{85} της καμπύλης με τη <u>μεγαλύτερη τιμή ελικτότητας K_E</u> (μεγαλύτερη τιμή V_{85}). Σε ευθυγραμμίες τέτοιου μήκους, αναμένεται οι οδηγοί να επιβραδύνουν (ή να επιταχύνουν) ομοιόμορφα προκειμένου να προσαρμοστούν από τη V_{85} της μίας καμπύλης στη V_{85} της επόμενης, αγνοώντας την ύπαρξη της ευθυγραμμίας. Η περίπτωση 1 απεικονίζεται στο Σχήμα 4-13..

Οι τιμές του Πίνακα 4-1 με πλάγια γράμματα παρουσιάζονται μόνο για την αντίληψη της μεταβολής των τιμών. Όλες οι τιμές του έχουν προκύψει με θεώρηση της μέσης επιτάχυνσης των οχημάτων σταθερής και ίσης με 0,85 m/s^2. Κατά τη σύνταξη του προγράμματος, για τιμές της ταχύτητας V_{85} των καμπυλών μεγαλύτερες των 80 m/s, θεωρήθηκε ότι η τιμή TL_s παραμένει ίση με 165 m ενώ για τιμές μικρότερες των 50 m/s έγινε επέκταση του Πίνακα, με θεώρηση της επιτάχυνσης σταθερής και ίσης με 0,85 m/s^2.

V_{85K} σε καμπύλη [km/h]	Τιμές R_1 και R_2						
	V_{85T} σε ευθυγραμμία [km/h]						
	70	75	80	85	90	95	100
50	110	145	180	215	255	300	345
55		120	155	195	230	275	320
60			130	165	205	250	295
65				140	175	220	265
70					145	190	235
75						155	200
80							165

Πίνακας 4-1: Σχέση μεταξύ μηκών ευθυγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας V_{85} κατά την αλληλουχία ευθυγραμμία - καμπύλη.

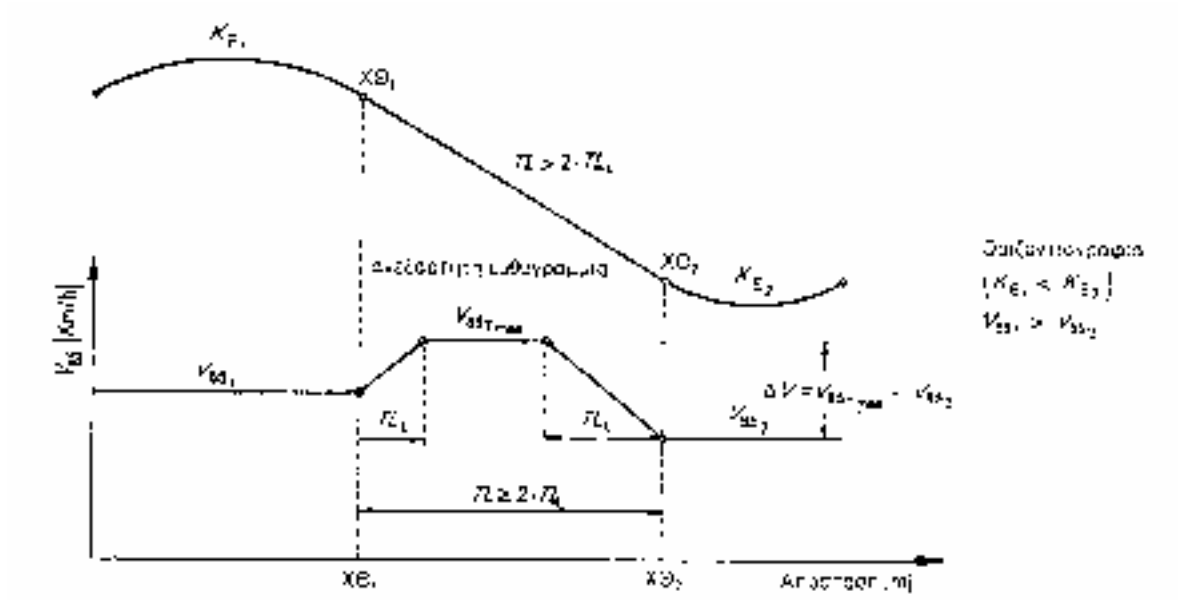


Σχήμα 4-13: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για την εξαρτημένη ευθυγραμμία (Περίπτωση 1)

Περίπτωση 2 - Ανεξάρτητη ευθυγραμμία

Ως ανεξάρτητες χαρακτηρίζονται εκείνες οι ευθυγραμμίες οι οποίες έχουν επαρκές μήκος ώστε ο μέσος οδηγός να έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει ή να επιβραδύνει το όχημά του τόσο ώστε τελικά να υπερβεί τα μέγιστα όρια μεταβολής της ταχύτητας V_{85} που χαρακτηρίζουν τη μέτρια ποιότητα σχεδιασμού σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας ΙΙ ($10\,\mathrm{km/h} \le \Delta V_{85} \le 20\,\mathrm{km/h}$), ή ακόμα και το όριο που χαρακτηρίζει τη μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού ($\Delta V_{85} > 20\,\mathrm{km/h}$), με αποτέλεσμα την πολύ πιθανή εμφάνιση κρίσιμων καταστάσεων από την άποψη της ασφάλειας κυκλοφορίας των οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, η διαδικασία αξιολόγησης της αλληλουχίας των στοιχείων μελέτης καθορίζεται από την αλληλουχία ευθυγραμμία - καμπύλη, δηλαδή η ύπαρξη της ευθυγραμμίας δεν αγνοείται.

Προκείμενου μια ευθυγραμμία να χαρακτηριστεί ως ανεξάρτητη, πρέπει το μήκος της TL να ισούται τουλάχιστον με το διπλάσιο της τιμής TL_L της "μεγάλης ευθυγραμμίας" που δίδεται στη στήλη 8 του Πίνακα 4-1 ($TL \geq 2 \cdot TL_L$) και η οποία αντιστοιχεί στην πλησιέστερη τιμή της ταχύτητας V_{85} της καμπύλης με τη μεγαλύτερη τιμή ελικτότητας K_E (μικρότερη τιμή V_{85}). Σε ευθυγραμμίες με τέτοια (ή μεγαλύτερα) μήκη, αναμένεται η ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας $V_{85Tmax.}$ Η περίπτωση 2 απεικονίζεται στο Σχήμα 4-14.

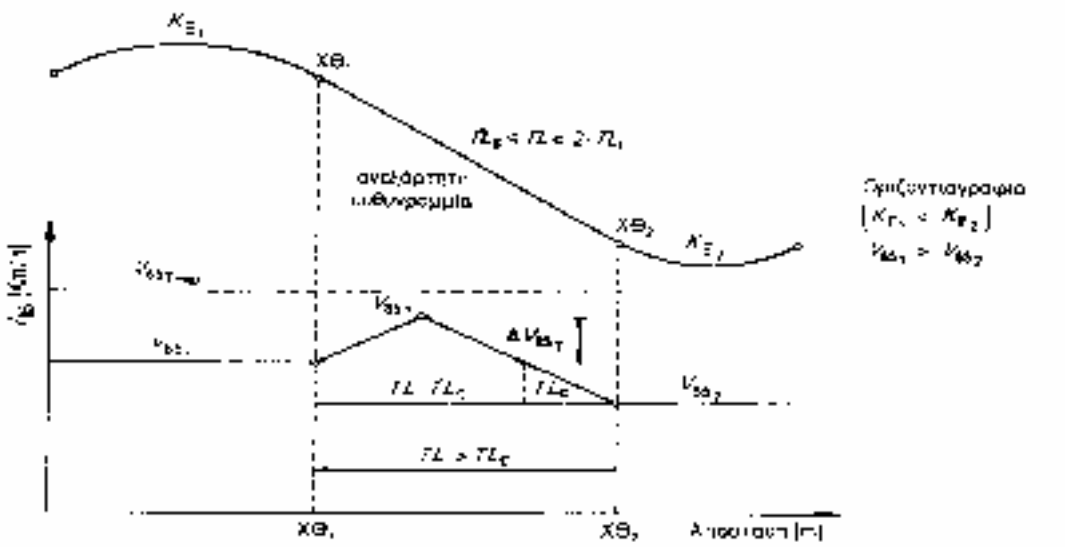


Σχήμα 4-14: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για την ανεξάρτητη ευθυγραμμία (Περίπτωση 2)

Περίπτωση 3 - Μερικώς ανεξάρτητη ευθυγραμμία

Ως μερικώς ανεξάρτητες χαρακτηρίζονται εκείνες οι ευθυγραμμίες των οποίων το μήκος είναι αρκετά μεγάλο ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη επιτάχυνσης από τους οδηγούς, αλλά όχι τόσο ώστε να μπορέσουν να αναπτύξουν τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα V_{85} (V_{85Tmax}). Επομένως, στη διαδικασία αξιολόγησης της αλληλουχίας των στοιχείων μελέτης σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας ΙΙ, καθοριστική είναι η ακολουθία ευθυγραμμία - καμπύλη, δηλαδή η ύπαρξη της ευθυγραμμίας δεν αγνοείται.

Για να χαρακτηριστεί μια ευθυγραμμία ως μερικώς ανεξάρτητη, πρέπει το μήκος της TL να είναι μεγαλύτερο από το μήκος TL_s της " μικρής ευθυγραμμίας " και μικρότερο από το διπλάσιο του μήκους TL_L της " μεγάλης ευθυγραμμίας " ($TL_s < TL < 2 \cdot TL_L$) που δίνονται στον Πίνακα 4-1 όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στην περίπτωση αυτή, η μέγιστη ταχύτητα V_{85T} που τελικά θα αναπτυχθεί στην ευθυγραμμία, υπολογίζεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-15.



Σχήμα 4-15: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ταχυτήτων για τη μερικώς ανεξάρτητη ευθυγραμμία (Περίπτωση 3)

Η αναμενόμενη μεταβολή της ταχύτητας V_{85} στην περίπτωση αυτή είναι: $\Delta V_{85} = V_{85T} - V_{85_i}$

όπου V_{85i} : η λειτουργική ταχύτητα της καμπύλης με τη μικρότερη ελικτότητα K_E, δηλαδή η μεγαλύτερη από τις V_{85} των δύο καμπυλών.

Το μήκος TL_C είναι το μήκος συναρμογής ταχυτήτων μεταξύ των δυο καμπυλών, το οποίο, με θεώρηση της μέσης επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης α των οχημάτων σταθερής και ίσης με 0,85 m/s^2, δίνεται από τη σχέση: $TL_C = \dfrac{V_{85_1}{}^2 - V_{85_2}{}^2}{2 \cdot \alpha \cdot 3,6^2} = \dfrac{V_{85_1}{}^2 - V_{85_2}{}^2}{22,03}$

όπου: V_{85} σε km/h, α σε m/s^2

$TL_C \rightarrow$ (m)

Το πρόγραμμα "Ταχύτητες", υπολογίζει τη μέγιστη ταχύτηταV$_{85T}$ που αναμένεται να αναπτυχθεί στην ευθυγραμμία, καθώς και τη χιλιομετρική θέση του σημείου στο οποίο αυτή αναπτύσσεται, βρίσκοντας, με τη βοήθεια μιας υπορουτίνας, το σημείο τομής δύο ευθειών: η πρώτη, είναι μία ευθεία που συνδέει το σημείο στο οποίο τελειώνει η πρώτη καμπύλη και το όχημα έχει ταχύτητα V_{85_1} με το σημείο στο οποίο το όχημα θα έφτανε με επιτάχυνση σταθερή και ίση με α = 0,85 m/ s^2 τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα V_{85Tmax} της ευθείας, αν είχε το απαραίτητο μήκος στη διάθεσή του. Η δεύτερη, είναι μία ευθεία που συνδέει το τελευταίο αυτό σημείο με το σημείο στο οποίο αρχίζει η επόμενη καμπύλη, όπου το όχημα έχει φτάσει, με επιβράδυνση σταθερή και ίση με 0,85 m/ s^2, την ταχύτητα V_{85_2} .

Τέλος, μια οδός αρχίζει και τελειώνει πάντα με ευθυγραμμία. Εάν, όμως, θεωρηθεί ότι το όχημα, στο πρώτο και στο τελευταίο σημείο της οδού, έχει τη μέγιστη ταχύτητα V_{85Tmax} της αντίστοιχης ευθυγραμμίας, ενώ παράλληλα στο σημείο από το οποίο ξεκινά η πρώτη καμπύλη και στο σημείο στο οποίο τελειώνει η τελευταία πρέπει να έχει την αντίστοιχη V_{85}, διατηρώντας

πάντα σταθερή επιτάχυνση ή επιβράδυνση ίση με 0,85 m/s^2, τότε το διάγραμμα ταχυτήτων ενδέχεται να βγαίνει και έξω από τα όρια του δρόμου, εάν το μήκος των ακραίων αυτών ευθυγραμμιών είναι σχετικά μικρό. Για το λόγο αυτό, κατά τη σύνταξη του προγράμματος, θεωρήθηκε ότι στην αρχή και στο τέλος του δρόμου, το όχημα δεν έχει πάντα την αντίστοιχη V_{85Tmax}, αλλά την ταχύτητα που προκύπτει από τις σχέσεις της επιταχυνόμενης και της επιβραδυνόμενης κίνησης με επιτάχυνση ή επιβράδυνση, αντίστοιχα, σταθερή και ίση με 0,85 $m/s^{2,}$ έτσι ώστε στην αρχή της πρώτης και στο τέλος της τελευταίας καμπύλης να έχει την αντίστοιχη ταχύτητα V_{85} αυτής.

Σημειώνεται ότι, όσον αφορά στην Ελλάδα, θεωρείται ότι επιβάλλεται να γίνουν επιπλέον μετρήσεις και σχετικές έρευνες, προκειμένου οι διατάξεις των ΟΜΟΕ να προσαρμοστούν στα ελληνικά δεδομένα και να είναι πλήρως εφαρμόσιμες στα ελληνικά οδικά έργα. Διαφορετικά, θεωρείται ότι, προκειμένου για ελληνικά έργα, οι διατάξεις αυτές καλό είναι να έχουν μόνο συμβουλευτικό χαρακτήρα. Παρ' όλα αυτά, η σύνταξη του προγράμματος "Ταχύτητες" στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, βασίστηκε στις διατάξεις των ΟΜΟΕ 2001, καθώς δεν υπάρχουν άλλες επίσημες οδηγίες, πλήρως αντιπροσωπευτικές της ελληνικής πραγματικότητας.

4.3.3 Λειτουργία του προγράμματος "Ταχύτητες"

Για να "τρέξει" το πρόγραμμα Ταχύτητες, πρέπει πρώτα να έχουν "τρέξει" τα προγράμματα του Η8, μέχρι τουλάχιστον και το πρόγραμμα της Μηκοτομής (Ταχυμετρία, Τριγωνισμός, Οριζοντιογραφία, Υψομετρία, Μηκοτομή), έτσι ώστε να έχουν δημιουργηθεί όλα τα αρχεία *.dat που χρειάζονται για τη λειτουργία του προγράμματος.

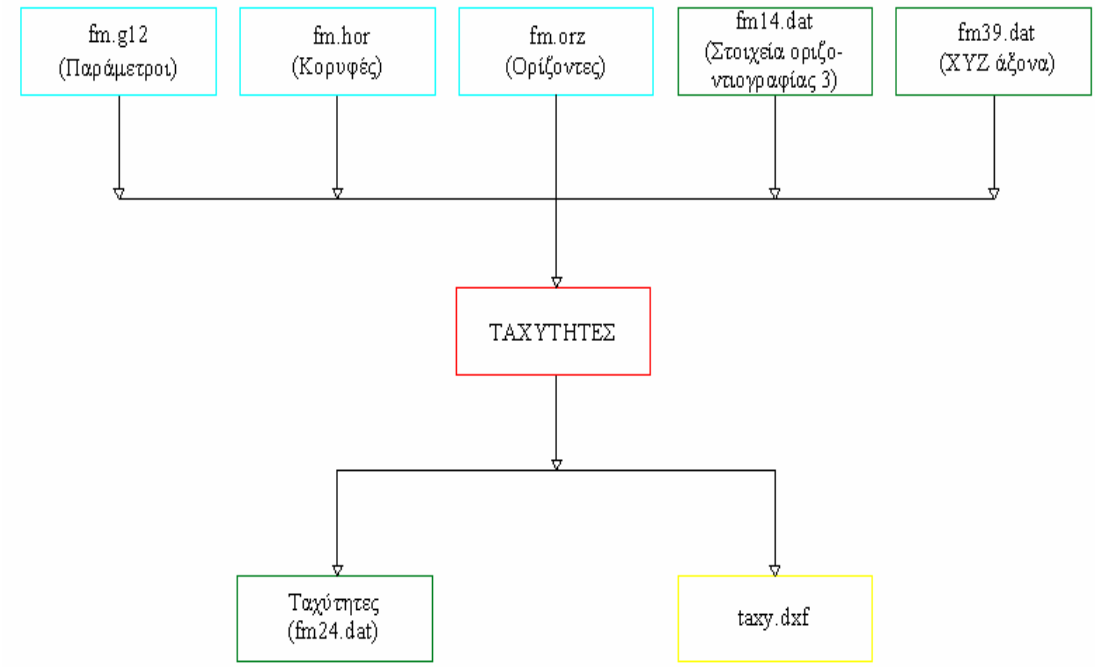
Το πρόγραμμα "Ταχύτητες" διαβάζει τα εξής αρχεία:

fm.g12	> Γενικές Παράμετροι
fm.hor	> Κορυφές
fm.orz	> Ορίζοντες
fm39.dat	> XYZ Χάραξη Άξονα
fm14.dat	> Στοιχεία Οριζοντιογραφίας

και δημιουργεί τα παρακάτω:

fm24.dat	> Ταχύτητες
taxy.dxf	> Διάγραμμα Ταχυτήτων

Η παραπάνω σχέση αρχείων και προγράμματος απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 4-16, υπό μορφή διαγράμματος ροής.



Σχήμα 4-16: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος "Ταχύτητες", υπό μορφή διαγράμματος ροής

Ανάλυση των αρχείων που διαβάζει το πρόγραμμα "Ταχύτητες"

- Το αρχείο fm.g12 έχει προκύψει από την εισαγωγή δεδομένων στο λογιστικό φύλλο των γενικών παραμέτρων (μορφής *.xls). Από το αρχείο αυτό, το πρόγραμμα διαβάζει:
  - Την κλίμακα μηκών και την κλίμακα υψών του σχεδίου της μηκοτομής. Αν στη θέση της κλίμακας των υψών ο αριθμός είναι 0, τότε αυτή θα προκύπτει από την κλίμακα των μηκών διαιρεμένη με το 10
  - Την οριζόντια (κλίμακα μηκών) και την κατακόρυφη (κλίμακα ταχυτήτων) κλίμακα με τις οποίες θα κατασκευάσει το διάγραμμα των ταχυτήτων
  - Τις τιμές της επιτάχυνσης και της επιβράδυνσης
  - Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας
  - Το αν πρόκειται για οδό με διαιρεμένη ή ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Αν στην αντίστοιχη θέση υπάρχει ο αριθμός 0, τότε πρόκειται για οδό με ενιαία επιφάνεια, ενώ αν υπάρχει ο αριθμός 1, πρόκειται για οδό με διαιρεμένη επιφάνεια κυκλοφορίας.
- Το αρχείο fm.hor έχει προκύψει από την εισαγωγή δεδομένων στο λογιστικό φύλο "Κορυφές". Από αυτό διαβάζει τον αριθμό των κορυφών της οριζοντιογραφίας.
- Το αρχείο fm.orz έχει προκύψει από την εισαγωγή δεδομένων στο λογιστικό φύλλο "Ορίζοντες". Από αυτό διαβάζει τη χιλιομετρική θέση της αρχής του ορίζοντα και την τιμή της βάσης του. Ουσιαστικά, διαβάζει τη θέση στην οποία θα σχεδιαστεί η ερυθρά του δρόμου σε σχέση με τους άξονες του διαγράμματος των ταχυτήτων στο τελικό σχέδιο που να προκύψει.

- Το αρχείο fm39.dat έχει προκύψει από τη λειτουργία του προγράμματος “Μηκοτομή”. Από αυτό διαβάζει:
  - Τον αύξοντα αριθμό των σημείων του άξονα
  - Τη χιλιομετρική θέση των σημείων του άξονα
  - Τις συντεταγμένες x, y, z των σημείων του άξονα
  - Την κατά μήκος κλίση
  - Την ακτίνα της μηκοτομής
  - Την ακτίνα της οριζοντιογραφίας σε καθένα από αυτά τα σημεία
- Το αρχείο fm14.dat έχει προκύψει από τη λειτουργία του προγράμματος “Οριζοντιογραφία”. Από αυτό διαβάζει:
  - Τον αύξοντα αριθμό και τη χιλιομετρική θέση της πρώτης και της τελευταίας κορυφή της οριζοντιογραφίας
  - Τον αύξοντα αριθμό των ενδιάμεσων κορυφών
  - Τις χιλιομετρικές θέσεις αρχής και τέλους του κυκλικού τους τόξου
  - Τη χιλιομετρική θέση αρχής του τόξου συναρμογής που προηγείται του κυκλικού τόξου
  - Τη χιλιομετρική θέση τέλους του τόξου συναρμογής που έπεται του κυκλικού τόξου,
  - Το μήκος του κυκλικού τόξου,
  - Τα μήκη των τόξων συναρμογής
  - Τη γωνία της κορυφής
  - Τρεις χαρακτηριστικές αποστάσεις της οριζοντιογραφίας

  Τα δύο τελευταία στοιχεία δεν τα χρησιμοποιεί πουθενά.

Ανάλυση των αρχείων που δημιουργεί το πρόγραμμα “Ταχύτητες”

- Δημιουργεί το αρχείο fm24.dat στο οποίο αποθηκεύει τις χιλιομετρικές θέσεις και τις ταχύτητες V_{85} των σημείων που χρειάζεται για να μορφώσει το διάγραμμα των ταχυτήτων. Σε κάθε ένα από αυτά τα σημεία, το πρόγραμμα αντιστοιχίζει έναν αριθμό, τον οποίο επίσης αποθηκεύει στο αρχείο αυτό. Με βάση τη διαδοχή των αριθμών αυτών, τα τμήματα που αντιστοιχούν σε επιβραδυνόμενη ή επιταχυνόμενη κίνηση, τα τμήματα που αντιστοιχούν σε καμπύλες και τα τμήματα που αντιστοιχούν στην ανάπτυξη της μέγιστης λειτουργικής ταχύτητας σε ευθυγραμμίες, θα έχουν διαφορετικά χρώματα στο διάγραμμα ταχυτήτων που θα προκύψει.
- Δημιουργεί το αρχείο taxy.dxf, το οποίο αντιστοιχεί στο σχέδιο που απεικονίζει το διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων της οδού. Πάνω από το διάγραμμα ταχυτήτων απεικονίζεται, με πλήρη αντιστοιχία σημείων, η ερυθρά του δρόμου, ενώ κάτω από αυτό αναγράφονται τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας, για όλα τα επιμέρους γεωμετρικά στοιχεία της οδού. Ένα παράδειγμα εξαγόμενου σχεδίου Ταχυτήτων αποτελεί το Σχήμα 4-17.

4.3.4 Επεξήγηση του αλγόριθμου του προγράμματος “Ταχύτητες”

Ο αλγόριθμος του προγράμματος “Ταχύτητες” αποτελείται από τις παρακάτω εντολές με τη σειρά που διατυπώνονται:

- Στις πρώτες γραμμές δηλώνεται το όνομα του προγράμματος, το όνομα του αρχείου και η ημερομηνία δημιουργίας του.
- Στη συνέχεια, δηλώνονται στο πρόγραμμα όλες οι μεταβλητές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μέχρι το τέλος, είτε αυτές αντιστοιχούν σε δεδομένα που πρόκειται να διαβαστούν είτε σε στοιχεία που πρόκειται να δημιουργηθούν. Για ευκολία του συντάκτη του προγράμματος, οι μεταβλητές δηλώνονται σε ομάδες, ανάλογα με το αρχείο στο οποίο αναφέρονται ή τη διαδικασία κατά την οποία θα χρησιμοποιηθούν, ενώ δίπλα από την ονομασία τους γράφονται σχόλια τα οποία βλέπει μόνο ο χρήστης και τον διευκολύνουν να θυμάται τί είναι η κάθε μεταβλητή. Κάθε μεταβλητή δηλώνεται με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με το αν αντιστοιχεί σε κείμενο ή σε αριθμό. Συγκεκριμένα:

  Real → Πραγματικός αριθμός
  Integer → Ακέραιος αριθμός
  Character → Κείμενο

  Μαζί με τον προσδιορισμό του είδους της μεταβλητής, δηλώνεται και ο αριθμός των ψηφίων ή των χαρακτήρων αυτής. Για παράδειγμα, μια μεταβλητή που δηλώνεται ως real*8, αντιστοιχεί σε πραγματικό αριθμό με 8 ψηφία. Επίσης, δίπλα από την ονομασία κάποιων μεταβλητών, δίνεται μέσα σε παρένθεση ο αριθμός των θέσεων που διατίθενται για αυτή. Για παράδειγμα, η έκφραση real*8 k39 (10000) δηλώνει ότι για τη μεταβλητή k39 διατίθενται συνολικά στη μνήμη του υπολογιστή 10000 θέσεις.
- Ακολουθεί η έναρξη του προγράμματος
- Το πρόγραμμα καλεί με την εντολή call τα αρχεία που θα χρησιμοποιήσει είτε για να διαβάσει δεδομένα είτε για να αποθηκεύσει αποτελέσματα.
- Στη συνέχεια, ανοίγει το αρχείο fm.g12 και διαβάζει τα δεδομένα που χρειάζεται από αυτό. Υπολογίζει το ύψος των γραμμάτων που θα εμφανίζονται στο διάγραμμα ταχυτήτων, διαιρώντας την οριζόντια κλίμακα αυτού με το 200.
- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα ανοίγει το αρχείο fm.hor και διαβάζοντας όλες τις σειρές στις οποίες υπάρχουν δεδομένα, υπολογίζει και τυπώνει στην οθόνη τον αριθμό των κορυφών της οριζοντιογραφίας.
- Στη συνέχεια, ανοίγει το αρχείο fm.orz και διαβάζει τα δεδομένα του (το αρχείο αυτό αποτελείται από μία σειρά με δύο αριθμούς), με τη βοήθεια των οποίων, αργότερα, θα καθορίσει τη θέση της ερυθράς και των στοιχείων της οριζοντιογραφίας στο τελικό *.dxf πάνω και κάτω, αντίστοιχα, από το διάγραμμα ταχυτήτων σε σχέση με αυτό. Τα τρία σχέδια θα βρίσκονται ακριβώς το ένα κάτω από το άλλο έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης αντιστοιχία των σημείων της οδού.
- Ακολούθως, το πρόγραμμα ανοίγει το αρχείο fm39.dat και διαβάζει τα δεδομένα του.
- Αφού κλείσει το αρχείο fm39.dat, ελέγχει την ορθότητα αυτών που έχει διαβάσει. Αν έχει διαβάσει περισσότερες σειρές με δεδομένα από τον αριθμό των θέσεων που διατίθενται για τις αντίστοιχες μεταβλητές (ο αριθμός αυτός έχει καθοριστεί κατά τη δήλωση των μεταβλητών και είναι ίσος με 10000), ή αν δεν έχει διαβάσει καμία σειρά με δεδομένα (αν δεν έχει "τρέξει" το πρόγραμμα "Μηκοτομή"), τότε σταματάει τη λειτουργία του και εμφανίζει σχετικό μήνυμα στην οθόνη.

- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα διαχωρίζει τους υπολογισμούς του για τις δυο περιπτώσεις οδών:
  α) Οδοί με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και
  β) οδοί με διαιρεμένη επιφάνεια κυκλοφορίας.
  Αν η τελευταία μεταβλητή που διάβασε στις σειρές δεδομένων του fm39.dat είναι 0, τότε πρόκειται για οδό με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και ακολουθούνται οι αντίστοιχες παράγραφοι των ΟΜΟΕ όσον αφορά στις λειτουργικές ταχύτητες.
- Ανοίγει το υπάρχον αρχείο fm14.dat προκειμένου να το διαβάσει και το νέο αρχείο fm24.dat προκειμένου να αποθηκεύσει τα αποτελέσματά του. Καλεί μια υπορουτίνα η οποία γράφει τις σειρές των τίτλων του fm24.dat.
- Πρώτα, θέλει να εκτελέσει τους σχετικούς υπολογισμούς για τις οριζοντιογραφικές καμπύλες της οδού. Διαβάζει τα στοιχεία της πρώτης σειράς του fm14.dat (αριθμός/ονομασία και χιλιομετρική θέση πρώτης κορυφής). Στη συνέχεια, διαβάζει όλες τις επόμενες σειρές εκτός από την τελευταία. Οι σειρές αυτές, ανά 4 αντιστοιχούν σε μία κορυφή της οριζοντιογραφίας, οπότε κάθε φορά διαβάζει μια ομάδα των 4 σειρών. Το πρόγραμμα διαβάζει, <u>για κάθε κορυφή</u>, τη χιλιομετρική θέση έναρξης του πρώτου τόξου συναρμογής, το μήκος αυτού, τη χιλιομετρική θέση έναρξης του κυκλικού τόξου, την ακτίνα και το μήκος αυτού, τη χιλιομετρική θέση του τέλους του κυκλικού τόξου άρα και της αρχής του επόμενου τόξου συναρμογής, τη χιλιομετρική θέση του τέλους του δεύτερου τόξου συναρμογής και το μήκος αυτού. Αναγκαστικά, διαβάζει και κάποιες ενδιάμεσες μεταβλητές τις οποίες, όμως, δε θα χρησιμοποιήσει πουθενά. Ελέγχει ότι το ακέραιο μέρος του αριθμού που αντιστοιχεί στην ακτίνα του κυκλικού τόξου, δεν ισούται με 0.
- Παράλληλα, μέσα στο βρόγχο στον οποίο διαβάζει τα στοιχεία των κορυφών της οριζοντιογραφίας, ανοίγεται ένας δεύτερος βρόγχος στον οποίο κοιτάζει κάθε φορά τις χιλιομετρικές θέσεις όλων των σημείων του άξονα που έχει ήδη διαβάζει και ελέγχει ποια από αυτά βρίσκονται στην εκάστοτε καμπύλη της οριζοντιογραφίας που διαβάζει (ελέγχει δηλαδή αν η χιλιομετρική θέση κάθε σημείου του άξονα βρίσκεται μεταξύ της αρχής της πρώτης και του τέλους της δεύτερης κλωθοειδούς της εκάστοτε καμπύλης).
- Στη συνέχεια, υπολογίζει την ελικτότητα K_E της καμπύλης καθώς και τη V_{85} αυτής, σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στην § 4.3.2. Τέλος, αποθηκεύει στο αρχείο fm24.dat μία σειρά με το γράμμα K (αντιπροσωπευτικό της καμπύλης), τη χιλιομετρική θέση από την οποία αρχίζει και τη χιλιομετρική θέση στην οποία τελειώνει η καμπύλη αυτή, τη V_{85} και τη μέση κατά μήκος κλίση της.
- Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται για όλες τις καμπύλες της οριζοντιογραφίας, καθώς τα δεδομένα αυτών διαβάζονται διαδοχικά από το αρχείο fm14.dat. Τέλος, το πρόγραμμα διαβάζει και τα στοιχεία της τελευταίας σειράς του fm14.dat, δηλαδή τα στοιχεία της τελευταίας κορυφής της οριζοντιογραφίας.
- Ακολούθως, το πρόγραμμα επιστρέφει στην αρχή του fm14.dat για να το ξαναδιαβάσει και να κάνει τους ίδιους υπολογισμούς για τις ευθυγραμμίες της οδού αυτή τη φορά.
- Ανοίγεται ένας βρόγχος μέσα στον οποίο κάθε φορά το πρόγραμμα διαβάζει στο fm14.dat την τελευταία σειρά μιας κορυφής και την πρώτη σειρά της επόμενης. Οι σειρές αυτές αντιστοιχούν στην αρχή και το τέλος μιας ευθυγραμμίας. Για παράδειγμα, διαβάζει την πρώτη και τη δεύτερη σειρά του fm14.dat που αντιστοιχούν στην πρώτη και τη δεύτερη κορυφή. Στη συνέχεια, διαβάζει την τελευταία σειρά της δεύτερης κορυφής και την πρώτη της

τρίτης κορυφής, κοκ.

- Μέσα στον προηγούμενο βρόγχο, ανοίγεται πάλι ένας δεύτερος, με τον οποίο το πρόγραμμα κοιτάζει τις χιλιομετρικές θέσεις όλων των σημείων του άξονα που έχει ήδη διαβάσει και ελέγχει εάν αυτές βρίσκονται μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων που βρίσκονται στις δύο σειρές του fm14.dat που κάθε φορά διαβάζει. Εάν ναι, τότε τα αντίστοιχα σημεία του άξονα βρίσκονται στην αντίστοιχη ευθυγραμμία της οδού.
- Αφού βρει ποια σημεία του άξονα βρίσκονται μέσα στην ευθυγραμμία που κάθε φορά διαβάζει, το πρόγραμμα υπολογίζει τη μέση κατά μήκος κλίση αυτών, με άλλα λόγια τη μέση κατά μήκος κλίση της ευθυγραμμίας.
- Στη συνέχεια, με K_E=0 αυτή τη φορά, και σύμφωνα με τις σχέσεις που έχουν αναφερθεί στην § 4.3.2, υπολογίζει τη V_{85max} της ευθυγραμμίας, ανάλογα με την κατά μήκος κλίση και το μήκος της ευθυγραμμίας.
- Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία για μια ευθυγραμμία, το πρόγραμμα αποθηκεύει στο αρχείο fm24.dat μία γραμμή που αντιστοιχεί στην ευθυγραμμία αυτή και εμπεριέχει το γράμμα Ε (αντιπροσωπευτικό της ευθυγραμμίας), τις χιλιομετρικές θέσεις της αρχής και του τέλους αυτής, τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα V_{85} και τη μέση κατά μήκος κλίση αυτής.
- Τα παραπάνω πραγματοποιούνται διαδοχικά για όλες τις ευθυγραμμίες της οδού. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα κλείνει τα αρχεία fm14.dat και fm24.dat. Σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει μέχρι τώρα ακολουθηθεί, τα στοιχεία που ενδιαφέρουν έχουν γραφτεί στο αρχείο fm24.dat ομαδοποιημένα, πρώτα για όλες τις καμπύλες και στη συνέχεια για όλες τις ευθυγραμμίες της οδού, και όχι με αύξουσα σειρά των χιλιομετρικών θέσεων των επιμέρους οδικών τμημάτων.
- Το πρόγραμμα ανοίγει ξανά το αρχείο fm24.dat στο οποίο έχει αποθηκεύσει τα μέχρι τώρα αποτελέσματα των υπολογισμών του. Ανοίγει ένα βρόγχο, μέσα στον οποίο θα βρει την πραγματική διαδοχική σειρά των γεωμετρικών στοιχείων (ευθυγραμμίες - καμπύλες) της οδού.
- Διαβάζει τις σειρές του fm24.dat από την πρώτη έως την προτελευταία και, ταυτόχρονα, μέσα σε ένα δεύτερο βρόγχο μέσα στον προηγούμενο, τις διαβάζει και από τη δεύτερη ως την τελευταία. Δηλαδή, για κάθε επιμέρους οδικό τμήμα διαβάζει το χαρακτηρισμό του (Κ ή Ε), τις χιλιομετρικές θέσεις της αρχής και του τέλους τους, τη λειτουργική τους ταχύτητα και τη μέση κατά μήκος κλίση τους. Συγκρίνει την ακέραια τιμή της χιλιομετρικής θέσης που κάθε φορά διαβάζει με τον πρώτο βρόγχο με κάθε μία από τις ακέραιες τιμές των χιλιομετρικών θέσεων που διαβάζει με το δεύτερο βρόγχο, και, ανά δύο, τις τοποθετεί με τη σωστή σειρά. Δηλαδή, ξεκινάει συγκρίνοντας τις χιλιομετρικές θέσεις της πρώτης και της δεύτερης σειράς. Αν η ΧΘ της πρώτης είναι μικρότερη από αυτή της δεύτερης σειράς, δεν αλλάζει τίποτα. Αν, όμως, η ΧΘ της πρώτης είναι μεγαλύτερη από τη ΧΘ της δεύτερης, τότε, ουσιαστικά, το πρόγραμμα αντιστρέφει τη σειρά τους. Οπότε τώρα, η ΧΘ της τρίτης σειράς θα συγκριθεί με τη ΧΘ της πρώην δεύτερης και νυν πρώτης σειράς.
- Με την ολοκλήρωση του μέσα βρόγχου, θα προκύψει μία νέα διαδοχή των γεωμετρικών στοιχείων της οδού στο αρχείο fm24.dat, εκ των οποίων το πρώτο θα είναι και το πρώτο στην πραγματικότητα, ενώ τα ενδιάμεσα θα είναι ακόμα σε τυχαία σειρά. Η πρώτη σειρά αφήνεται ως έχει και συγκρίνεται, πλέον, η ΧΘ της δεύτερης σειράς με τις ΧΘ όλων των υπόλοιπων, όπως προηγουμένως. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, όταν δηλαδή

συγκριθεί και η προτελευταία σειρά του αρχείου με την τελευταία, τοτε το πρόγραμμα αποθηκεύει στο αρχείο fm24.dat με τη σωστή, πλέον, σειρά το χαρακτηρισμό (Κ ή Ε), τις χιλιομετρικές θέσεις αρχής και τέλους, την ταχύτητα V_{85} και τη μέση κατά μήκος κλίση για κάθε επιμέρους οδικό τμήμα.

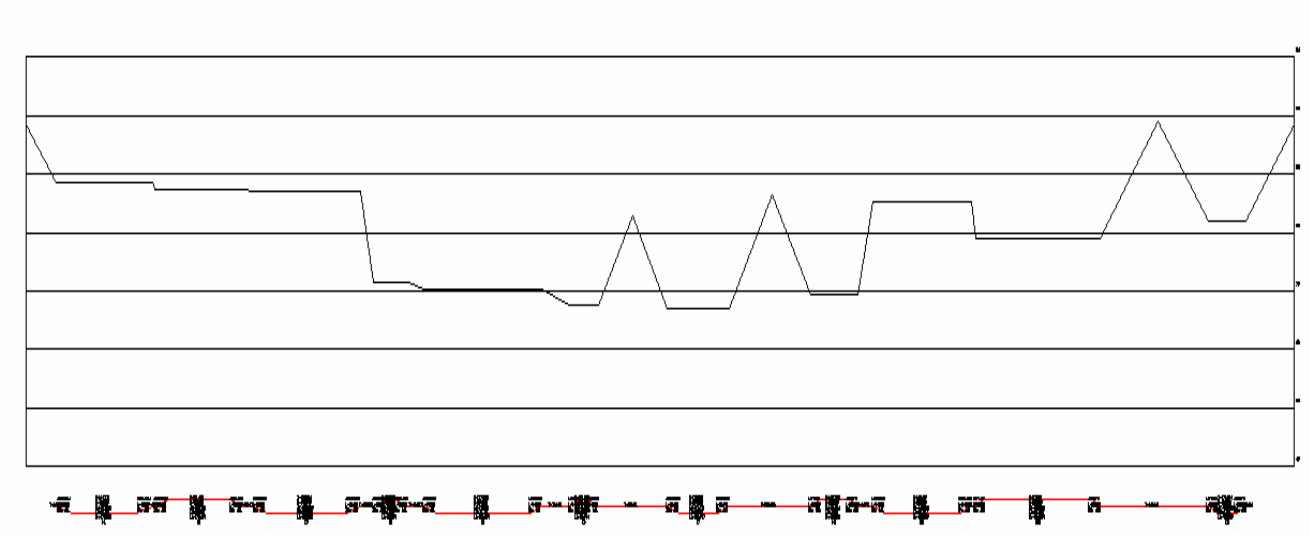
- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα πρέπει να δημιουργήσει και να αποθηκεύσει τα δεδομένα που χρειάζεται για τη μόρφωση του διαγράμματος ταχυτήτων Ανοίγει πάλι το αρχείο fm24.dat, του οποίου τη μορφή θα μετατρέψει ξανά. Αποθηκεύει τη νέα πρώτη γραμμή του αρχείου των αποτελεσμάτων του, η οποία περιλαμβάνει τη χιλιομετρική θέση αρχής του πρώτου γεωμετρικού στοιχείου της οδού (ουσιαστικά αυτή είναι η χιλιομετρική θέση αρχής της οδού) και τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} αυτού.
- Στη συνέχεια, διαβάζει το χαρακτηρισμό της προϋπάρχουσας δεύτερης σειράς του fm24.dat. Αν αυτός είναι το γράμμα Κ (γεγονός που θεωρήθηκε το πιο σύνηθες, οπότε δεν εξετάστηκε η περίπτωση να είναι Ε), το πρόγραμμα υπολογίζει το διάστημα που απαιτείται για την επιβράδυνση από τη λειτουργική ταχύτητα της πρώτης ευθυγραμμίας στη λειτουργική ταχύτητα της καμπύλης αυτής, υποθέτοντας ότι στο μήκος της πρώτης ευθυγραμμίας, το όχημα έχει αναπτύξει τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα αυτής.
- Εάν το απαιτούμενο αυτό διάστημα, είναι μικρότερο από το μήκος της πρώτης ευθυγραμμίας, το πρόγραμμα υπολογίζει το σημείο από το οποίο θα ξεκινήσει η επιβράδυνση του οχήματος προκειμένου στο σημείο στο οποίο αρχίζει η καμπύλη, να μπει με τη λειτουργική ταχύτητα αυτής. Κατόπιν, αποθηκεύει στο fm24.dat μία σειρά με τη χιλιομετρική θέση από την οποία ξεκινάει η επιβράδυνση του οχήματος και την ταχύτητα που έχει στο σημείο αυτό (η οποία ισούται με τη V_{85Tmax} της πρώτης ευθυγραμμίας), μία σειρά με τη χιλιομετρική θέση της αρχής της επόμενης καμπύλης και τη λειτουργική ταχύτητα αυτής και μία σειρά με τη χιλιομετρική θέση του τέλους της καμπύλης και τη λειτουργική ταχύτητα αυτής. Ο τελευταίος αριθμός κάθε σειράς, θα χρησιμοποιηθεί για τα χρώματα στο διάγραμμα ταχυτήτων.
- Εάν το απαιτούμενο για την επιβράδυνση μήκος είναι μεγαλύτερο από το μήκος της πρώτης ευθυγραμμίας, τότε το όχημα, προκειμένου να μπει στην καμπύλη με τη λειτουργική ταχύτητα αυτής, δεν μπορεί στην ευθυγραμμία να έχει αναπτύξει τη $V_{85Tmax.}$ Στην περίπτωση αυτή, το πρόγραμμα υπολογίζει την ταχύτητα που θα έχει το όχημα στην αρχή της πρώτης ευθυγραμμίας και οι σειρές που αποθηκεύει στο αρχείο είναι οι εξής: Μία σειρά με τη χιλιομετρική θέση της αρχής της πρώτης ευθυγραμμίας και την ταχύτητα του οχήματος στο σημείο αυτό, μία σειρά με τη ΧΘ της αρχής της επόμενης καμπύλης και τη λειτουργική ταχύτητα αυτής και μία σειρά με τη ΧΘ του τέλους της καμπύλης και τη λειτουργική ταχύτητα αυτής. Στο τέλος κάθε σειράς αποθηκεύεται και ο κατάλληλος αριθμός για τα χρώματα στο διάγραμμα.
- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα διαβάζει όλες τις επόμενες υπάρχουσες σειρές του fm24.dat, εκτός από τις 2 τελευταίες.
- Αν ο χαρακτηρισμός μίας σειράς είναι Κ, το πρόγραμμα αποθηκεύει για αυτήν δύο νέες σειρές, μία με τη χιλιομετρική θέση αρχής και τη V_{85} της καμπύλης και μία με τη χιλιομετρική θέση τέλους και τη V_{85} της καμπύλης. Τις V_{85} των καμπυλών τις διαβάζει στο υπάρχον αρχείο fm24.dat όπου τις έχει υπολογίσει και αποθηκεύσει σε προηγούμενο βήμα.

- Αν ο χαρακτηρισμός μίας σειράς είναι Ε, το πρόγραμμα πρέπει να διακρίνει αν πρόκειται για εξαρτημένη, μερικώς ανεξάρτητη ή ανεξάρτητη ευθυγραμμία (§ 4.3.2). Τις V_{85} των εκατέρωθεν καμπυλών, τις διαβάζει από το fm24.dat. Το μήκος της αντίστοιχης ευθυγραμμίας, το υπολογίζει αφαιρώντας τη χιλιομετρική θέση αρχής από τη χιλιομετρική θέση τέλους της. Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται αναλυτικά στην § 4.3.2, καταλήγει σε ποια περίπτωση ανήκει η ευθυγραμμία αυτή και το τυπώνει στην οθόνη.
- Εάν η ευθυγραμμία είναι εξαρτημένη, δεν αποθηκεύει κάποιο καινούριο σημείο στο αρχείο fm24.dat. Το διάγραμμα θα ενώσει το δεύτερο σημείο της προηγούμενης καμπύλης με το πρώτο της επόμενης.
- Εάν είναι ανεξάρτητη, το πρόγραμμα υπολογίζει τη χιλιομετρική θέση του σημείου όπου το όχημα φτάνει τη V_{85Tmax} και τη χιλιομετρική θέση του σημείου από το οποίο ξεκινάει να επιβραδύνει προκειμένου να μπει στην επόμενη καμπύλη με τη V_{85} αυτής. Στο αρχείο fm24.dat αποθηκεύονται δύο νέες σειρές, οι οποίες αντιστοιχούν στα δύο αυτά σημεία του διαγράμματος ταχυτήτων.
- Εάν η ευθυγραμμία είναι μερικώς ανεξάρτητη, το πρόγραμμα υπολογίζει, δίνοντας τα απαραίτητα δεδομένα σε μια υπορουτίνα που βρίσκει την τομή δύο ευθειών, τη χιλιομετρική θέση και την ταχύτητα που αντιστοιχούν στη "μύτη" που θα κάνει το διάγραμμα των ταχυτήτων, και αποθηκεύει στο αρχείο fm24.dat μία σειρά με τη ΧΘ και τη λειτουργική ταχύτητα του σημείου αυτού.
- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα διαβάζει την προτελευταία σειρά του fm24.dat. Εξετάζεται μόνο η περίπτωση που αυτή αντιστοιχεί σε καμπύλη. Το πρόγραμμα υπολογίζει το διάστημα που απαιτείται για την επιτάχυνση του οχήματος από τη V_{85} της καμπύλης έως τη V_{85Tmax} της τελευταίας ευθυγραμμίας. Εάν αυτό είναι μικρότερο από το μήκος της τελευταίας ευθυγραμμίας, αν δηλαδή το όχημα προλαβαίνει να αναπτύξει τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα της ευθυγραμμίας πριν το τελευταίο σημείο του δρόμου, τότε το πρόγραμμα αποθηκεύει στο αρχείο fm24.dat 4 νέες σειρές με χιλιομετρικές θέσεις και τις αντίστοιχες ταχύτητες, οι οποίες αντιστοιχούν στο πρώτο σημείο της τελευταίας καμπύλης, στο τελευταίο σημείο της καμπύλης αυτής, στο σημείο όπου το όχημα έχει αναπτύξει τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα της τελευταίας ευθυγραμμίας και, τέλος, στο τελευταίο σημείο του δρόμου. Εάν το μήκος της τελευταίας ευθυγραμμίας είναι μικρότερο από το διάστημα που απαιτείται για την επιτάχυνση από τη V_{85} της καμπύλης έως τη V_{85Tmax} της ευθείας, τότε το πρόγραμμα υπολογίζει την ταχύτητα που θα έχει αναπτύξει το όχημα, επιταχυνόμενο, στο τελευταίο σημείο του δρόμου, και οι νέες σειρές που αποθηκεύονται στο αρχείο είναι 3: μία για το πρώτο σημείο της καμπύλης, μία για το τελευταίο σημείο της καμπύλης και μία για το τελευταίο σημείο του δρόμου.
- Το πρόγραμμα κλείνει το αρχείο fm24.dat.
- Το πρόγραμμα ξανανοίγει το fm24.dat για να το ξαναδιαβάσει.
- Όλα τα παραπάνω, αφορούν στην κατασκευή του διαγράμματος των ταχυτήτων στην περίπτωση που η οδός είναι αδιαίρετη. Αν, όμως, η τελευταία μεταβλητή που διάβασε το πρόγραμμα στις σειρές δεδομένων του fm39.dat είναι 1, τότε πρόκειται για οδό με διαιρεμένες επιφάνειες κυκλοφορίας και η διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή του διαγράμματος είναι διαφορετική. Το πρόγραμμα υπολογίζει τη λειτουργική ταχύτητα της οδού και αποθηκεύει στο αρχείο δύο σειρές. Μία με τη χιλιομετρική θέση και τη λειτουργική ταχύτητα του πρώτου σημείου του άξονα της οδού και μία με τη χιλιομετρική θέση και τη

λειτουργική ταχύτητα του τελευταίου. Οι σειρές αυτές αντιστοιχούν στα δύο σημεία που χρειάζονται για την κατασκευή του διαγράμματος ταχυτήτων, το οποίο θα είναι μία ευθεία.

- Στη συνέχεια, το πρόγραμμα ξεκινάει τη σχεδίαση του διαγράμματος. Διαβάζει το αρχείο fm24.dat. Για κάθε σειρά που διαβάζει (η οποία αντιστοιχεί σε ένα επιμέρους οδικό τμήμα), ελέγχει τις μεταβλητές που είναι αποθηκευμένες στο τέλος της προηγούμενης και της επόμενης σειράς. Με βάση το ζεύγος αυτών των μεταβλητών, αντιστοιχίζει το αντίστοιχο οδικό τμήμα στο διάγραμμα των ταχυτήτων μέσω μιας νέας μεταβλητής.
- Καλεί την υπορουτίνα η οποία θα δημιουργήσει γραμμές μεταξύ των σημείων, των οποίων οι συντεταγμένες ($X = X.\Theta$, $Y = V_{85}$) είναι αποθηκευμένες στο fm24.dat έτσι ώστε να μορφωθεί το διάγραμμα ταχυτήτων.
- Καλεί την υπορουτίνα που θα δημιουργήσει το σχέδιο του κανάβου.
- Καλεί την υπορουτίνα η οποία θα δημιουργήσει το σχέδιο με τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας, ακριβώς κάτω από το διάγραμμα ταχυτήτων.
- Καλεί την υπορουτίνα η οποία θα δημιουργήσει το σχέδιο της γραμμής της ερυθράς του άξονα, ακριβώς πάνω από το διάγραμμα των ταχυτήτων.

  Έχει, πλέον, δημιουργηθεί το αρχείο taxy.des, στο οποίο είναι αποθηκευμένες όλες οι πληροφορίες που έχει δημιουργήσει ο αλγόριθμος για το διάγραμμα των ταχυτήτων. Το πρόγραμμα καλεί την υπορουτίνα dxf, με τη βοήθεια της οποίας το αρχείο taxy.des θα μετατραπεί σε taxy.dxf, στο οποίο θα αποθηκευτεί το σχέδιο που έχει δημιουργήσει ο αλγόριθμος.
- Η ύπαρξη τυχόντος προβλήματος στο αρχείο fm.g12 θα γνωστοποιηθεί στο χρήστη μέσω της οθόνης του υπολογιστή.



Σχήμα 4-17: Διάγραμμα ταχυτήτων που εξάγεται από το πρόγραμμα “Ταχύτητες”

4.4 Πρόγραμμα "Ορατότητες"

4.4.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της σύνταξης του προγράμματος "Προοπτικό", δημιουργήθηκε η ανάγκη πραγματοποίησης διορθώσεων και τροποποιήσεων σε ένα ήδη υπάρχον πρόγραμμα του Η8. Πρόκειται για το πρόγραμμα "Ορατότητες", το οποίο σχετίζεται με το "Προοπτικό" με 2 τρόπους.

Πρώτον, υπολογίζει την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της οδού. Την απόσταση αυτή πρέπει να διαβάσει το "Προοπτικό" προκειμένου να μπορέσει να τοποθετήσει στην προοπτική εικόνα της οδού ένα όχημα, σε απόσταση από τον οδηγό ίση με αυτή. Δεύτερον, το πρόγραμμα των Ορατοτήτων, εξάγει μεταξύ άλλων ένα διάγραμμα ορατοτήτων, στο οποίο απεικονίζεται γραφικά η απαιτούμενη καθώς και η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος της οδού. Η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας έχει προσδιοριστεί με δύο τρόπους: α) Λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κατακόρυφη χάραξη (μηκοτομή) και β) λαμβάνοντας υπόψη την τρισδιάστατη χάραξη της οδού. Είναι σαφές πως ορθά και αντιπροσωπευτικά της πραγματικότητας αποτελέσματα προκύπτουν με χρήση του δεύτερου τρόπου. Το διάγραμμα αυτό καθιστά δυνατή την τεκμηρίωση της ύπαρξης ή όχι της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση σε όλο το μήκος μιας οδού. Αποτελεί, λοιπόν, απαραίτητο εργαλείο επαλήθευσης της εικόνας που εξάγει το "Προοπτικό" όσον αφορά στον έλεγχο της ορατότητας για στάση καθώς και εξαιρετικό τρόπο σύγκρισης του αναλυτικού και του οπτικού τρόπου ελέγχου της ορατότητας.

Για να "τρέξει" το πρόγραμμα των Ορατοτήτων, πρέπει πρώτα να έχουν "τρέξει" όλα τα προηγούμενα προγράμματα του Η8 μέχρι και το "3 Διαστάσεις", συμπεριλαμβανομένου και του νέου προγράμματος "Ταχύτητες" που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έτσι ώστε να έχουν δημιουργηθεί όλα τα αρχεία της μορφής *.dat που πρέπει αυτό να διαβάσει προκειμένου να εκτελέσει τους υπολογισμούς του.

Οι τροποποιήσεις που έλαβαν χώρα συνίστανται:

- Σε κάποιες διορθώσεις σφαλμάτων του προγράμματος
- Στην ανάπτυξη της δυνατότητας υπολογισμού της απαιτούμενης ορατότητας για στάση σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ 2001 (πέρα από τους RAA 2008 και τους AASHTO 2004 με βάση τους οποίους μπορούσε να γίνει μέχρι τώρα ο υπολογισμός),
- Στην τροποποίηση του προγράμματος προκειμένου να διαβάζει και να αξιοποιεί το αρχείο fm24.dat που προκύπτει από το νέο πρόγραμμα "Ταχύτητες" που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας
- Στην τροποποίησή του προκειμένου το εξαγόμενο αρχείο fm88.dat, το οποίο διαβάζει το "Προοπτικό", να έχει την επιθυμητή μορφή.

Το θεωρητικό υπόβαθρο του προγράμματος "Ορατότητες" δίνεται στην § 2.7 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το μαθηματικό υπόβαθρο και οι εντολές του αλγορίθμου, παρουσιάζονται λεπτομερώς στη Δ.Ε του Σ. Πασχούδη [29], αντικείμενο της οποίας ήταν η δημιουργία του προγράμματος αυτού. Γι' αυτό, κρίθηκε σκόπιμο η παρουσίαση αυτή να παραληφθεί, παρ'

όλο που ο αλγόριθμος έχει κάποιες διαφορές από τον παλιό μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, ο αλγόριθμος παρατίθεται, στην τελική του μορφή, στο παράρτημα. Στην παράγραφο που ακολουθεί, παρουσιάζεται σχηματικά η σχέση μεταξύ του προγράμματος και των αρχείων που αυτό διαβάζει και δημιουργεί, αναλύονται τα αρχεία που δημιουργεί καθώς αυτά είναι που ενδιαφέρουν και παρουσιάζονται, ενδεικτικά, κάποια σχέδια που έχουν παραχθεί από αυτό για μια πραγματική υπό μελέτη οδό.

4.4.2 Λειτουργία του προγράμματος "Ορατότητες"

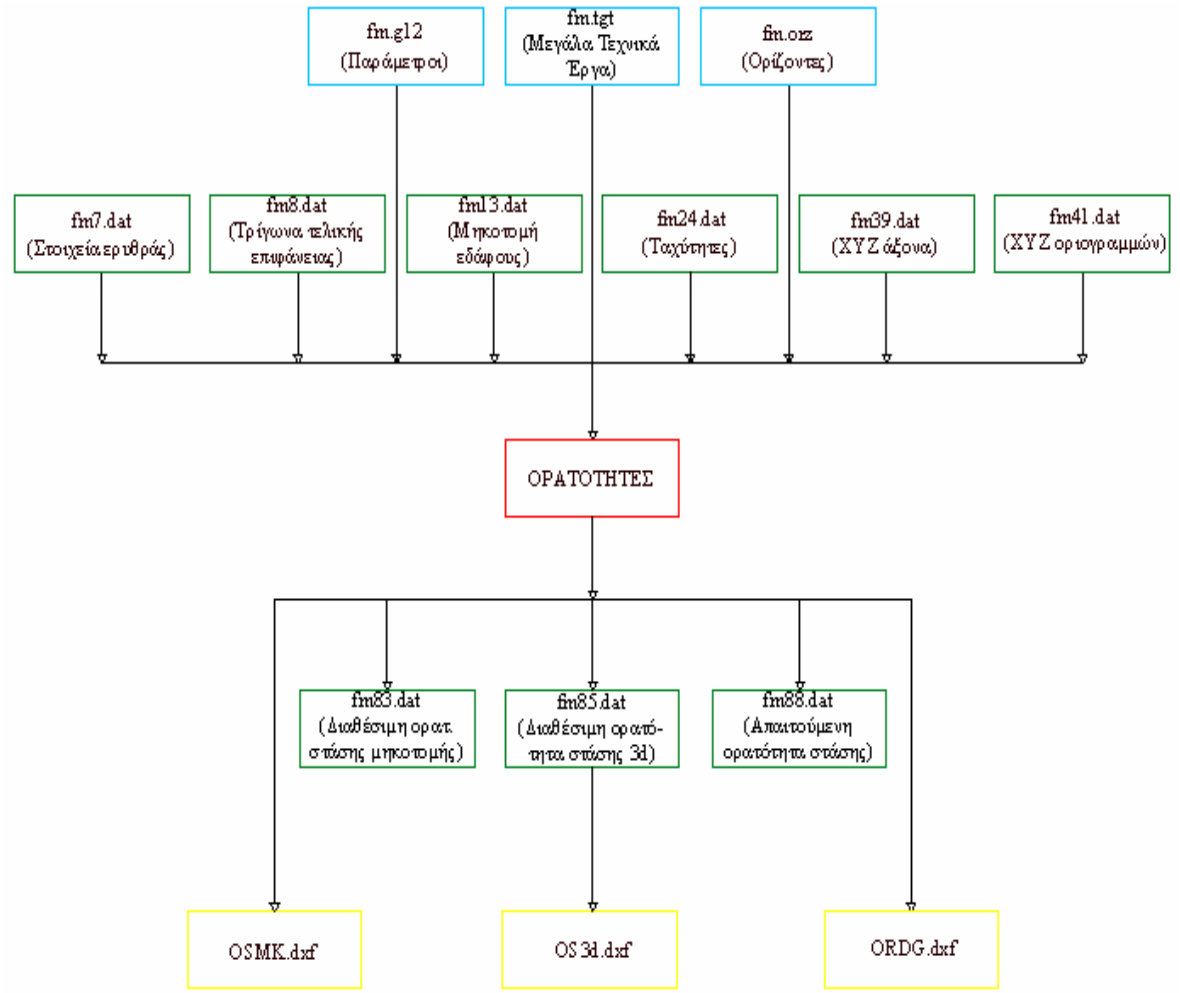
Το πρόγραμμα "Ορατότητες" διαβάζει τα εξής αρχεία:

fm.g12	> Γενικές Παράμετροι
fm.tgt	> Μεγάλα Τεχνικά Έργα
fm.orz	> Ορίζοντες
fm7.dat	> Στοιχεία Ερυθράς
fm8.dat	> Τρίγωνα Τελικής Επιφάνειας
fm13.dat	> Μηκοτομή Εδάφους
fm24.dat	> Ταχύτητες
fm39.dat	> XYZ Χάραξη Άξονα
fm41.dat	> XYZ Χάραξη Οριογραμμών

και δημιουργεί τα παρακάτω:

fm83.dat	> Διαθέσιμη Ορατότητα Στάσης Μηκοτομής
fm85.dat	> Διαθέσιμη Ορατότητα Στάσης 3d
fm88.dat	> Απαιτούμενη Ορατότητα Στάσης
osmk.dxf	> Σχέδιο Ορατότητας Στάσης Μηκοτομής
os3d.dxf	> Σχέδιο Ορατότητας Στάσης 3d
ordg.dxf	> Γενικό Διάγραμμα Ορατότητας Στάσης

Η παραπάνω σχέση αρχείων και προγράμματος απεικονίζεται σχηματικά, υπό μορφή διαγράμματος ροής, στο Σχήμα 4-18.



Σχήμα 4-18: Σχέσεις μεταξύ αρχείων κατά τη λειτουργία του προγράμματος "Ορατότητες", υπό μορφή διαγράμματος ροής

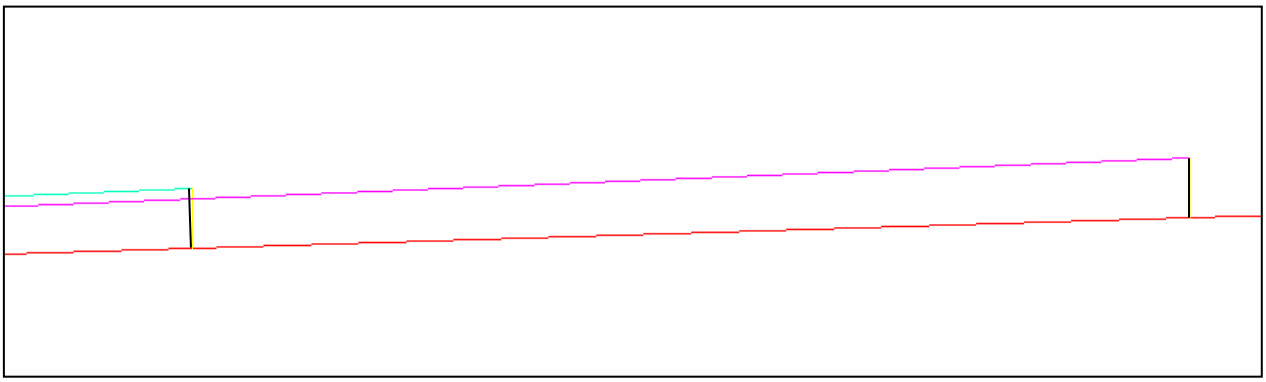
Ανάλυση των αρχείων που δημιουργεί το πρόγραμμα "Ορατότητες"

- Στο αρχείο fm83.dat το πρόγραμμα αποθηκεύει:
  - Τη χιλιομετρική θέση του οφθαλμού
  - Το υψόμετρο του οφθαλμού
  - Τη χιλιομετρική θέση και
  - Το υψόμετρο του τελευταίου εμποδίου που είναι ορατό από κάθε θέση του οφθαλμού
  - Τη διαθέσιμη απόσταση ορατότητας για στάση, μόνο λόγω της μηκοτομής, σε κάθε θέση
- Στο αρχείο fm85.dat το πρόγραμμα αποθηκεύει:
  - Τη χιλιομετρική θέση του οφθαλμού
  - Το υψόμετρο του οφθαλμού,
  - Τη χιλιομετρική θέση και
  - Το υψόμετρο του τελευταίου εμποδίου που είναι ορατό από κάθε θέση του οφθαλμού
  - Τη διαθέσιμη απόσταση ορατότητας για στάση λόγω της τρισδιάστατης χάραξης της

οδού, σε κάθε θέση
- Τέλος, για κάθε θέση του οφθαλμού αποθηκεύει μία μεταβλητή που αντιστοιχεί σε κάποιο χρώμα σχεδίασης.

- Στο αρχείο fm88.dat το πρόγραμμα αποθηκεύει:
  - Τη χιλιομετρική θέση του οφθαλμού, στην οποία θεωρείται πως ο οδηγός αντιλαμβάνεται το εμπόδιο
  - Τη χιλιομετρική τη χιλιομετρική θέση του σημείου όπου αρχίζει η τροχοπέδηση (αφού έχει διανυθεί κάποιο διάστημα κατά τη διάρκεια του χρόνου αντίδρασης)
  - Τη χιλιομετρική θέση στην οποία τελικά το όχημα ακινητοποιείται
  - Την ταχύτητα μελέτης (σταθερή καθ' όλο το μήκος της οδού)
  - Τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} (ενδέχεται να μεταβάλλεται κατά μήκος της οδού)
  - Την κατά μήκος κλίση
  - Την επίκλιση
  - Την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση σε κάθε θέση του οφθαλμού (διαφορά της χιλιομετρικής θέσης ακινητοποίησης του οχήματος και της χιλιομετρικής θέσης αντίληψης του εμποδίου)
- Το αρχείο osmk.dxf απεικονίζει την ερυθρά του δρόμου και τις γραμμές της διαθέσιμης ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της. Συγκεκριμένα, από κάθε σημείο του άξονα της οδού, υψωμένο πάνω από την ερυθρά κατά το ύψος του οφθαλμού όπως το υπαγορεύουν οι εκάστοτε οδηγίες, ξεκινούν δύο γραμμές ορατότητας: μία γαλάζια, μέχρι το τελευταίο σημείο της ερυθράς που είναι ορατό στον οδηγό από τη θέση αυτή (σημείο υπερυψωμένο σε σχέση με την ερυθρά κατά όσο ορίζουν οι εκάστοτε οδηγίες το ύψος του εμποδίου) και μία κόκκινη, μέχρι το πρώτο σημείο της ερυθράς (υπερυψωμένο κατά το ύψος εμποδίου) που δεν είναι ορατό από τη θέση αυτή, λόγω της μηκοτομής (Σχήμα 4-19).

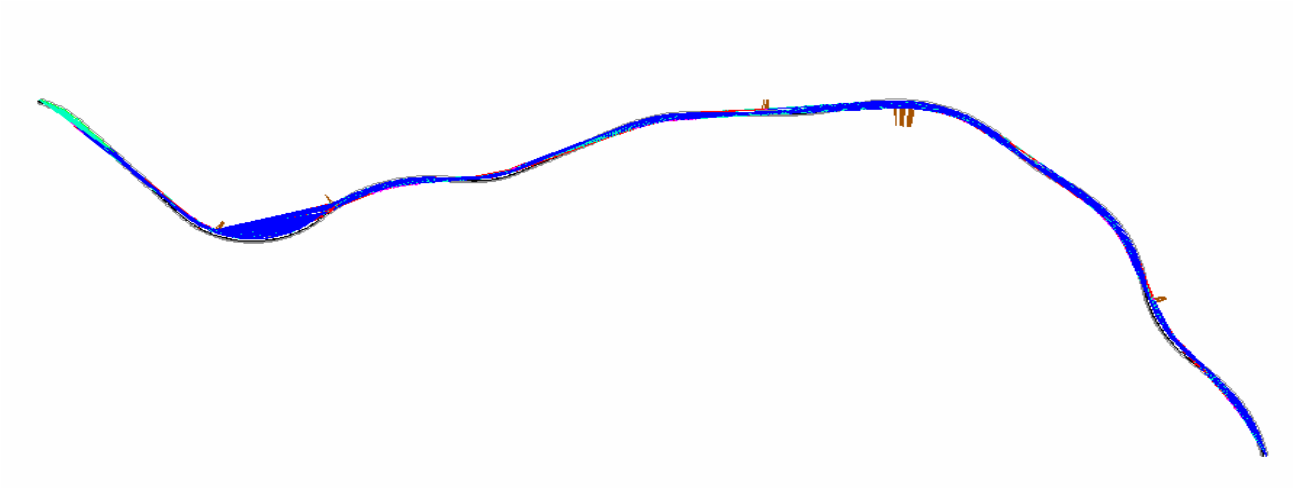
Σχήμα 4-19: Απεικόνιση της διαθέσιμης ορατότητας λόγω μηκοτομής σε τμήμα οδού



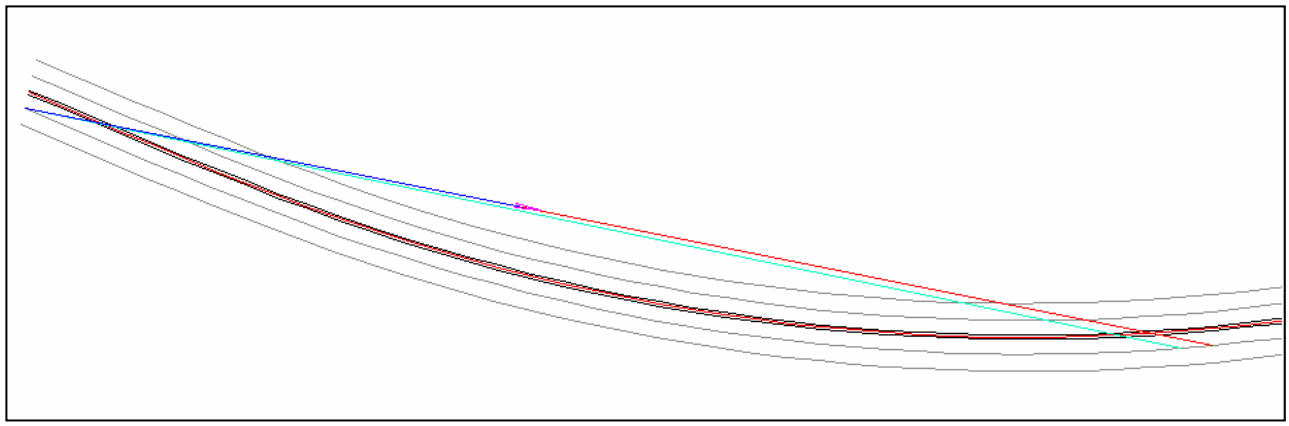
Σχήμα 4-20: Λεπτομέρεια του Σχήματος 4-19: Διαθέσιμη ορατότητα για στάση για μία μόνο θέση οφθαλμού.

Η **γαλάζια γραμμή** φτάνει μέχρι το τελευταίο σημείο που είναι ορατό στον οφθαλμό, ενώ η **μοβ** μέχρι το πρώτο σημείο που δεν είναι ορατό λόγω μηκοτομής. Με **κόκκινο** απεικονίζεται η γραμμή ερυθράς ενώ με **μαύρο** το ύψος του εμποδίου.

- Το αρχείο os3d.dxf απεικονίζει τη σχέδιο της οριζοντιογραφίας του δρόμου και τις γραμμές της διαθέσιμης ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο της, λόγω τρισδιάστατης χάραξης. Συγκεκριμένα, από κάθε θέση του οφθαλμού κατά μήκος της οριογραμμής στην οποία έχει επιλέξει ο χρήστης να κινείται ο οφθαλμός, ξεκινούν δύο γραμμές: μία γαλάζια, μέχρι το τελευταίο σημείο της οδού όπου ένα εμπόδιο είναι ορατό από τον οδηγό και μία μπλε και κόκκινη, μέχρι το πρώτο σημείο της οδού όπου ένα εμπόδιο δεν είναι ορατό από τον οδηγό, λόγω της τρισδιάστατης χάραξης. Ακόμη, στο σχέδιο απεικονίζεται το τρίγωνο που κόβει τη γραμμή ορατότητας, με αποτέλεσμα το αντίστοιχο εμπόδιο να μην είναι ορατό. Η γραμμή ορατότητας που κόβεται είναι μπλε από τον οφθαλμό μέχρι το τρίγωνο αυτό και κόκκινη από το τρίγωνο μέχρι το εμπόδιο, δηλαδή στο τμήμα που δεν είναι ορατό από τον οδηγό. Από το χρώμα του τριγώνου, γίνεται αντιληπτό σε ποια οριογραμμή ανήκει. Σημειώνεται ότι τόσο η θέση του οφθαλμού όσο και η θέση του εμποδίου, είναι υπερυψωμένες σε σχέση με την οριζοντιογραφία, κατά όσο θεωρούν οι αντίστοιχες οδηγίες τα αντίστοιχα ύψη (Σχήματα 4-21, 4-22 και 4-23).
- Το αρχείο ordg.dxf αντιστοιχεί σε ένα γενικό διάγραμμα ορατοτήτων. Ο οριζόντιος άξονάς του αντιστοιχεί σε μήκη κατά μήκος της οδού, ο αριστερός κάθετος σε μήκη ορατότητας και ο δεξιός κάθετος σε ταχύτητες V_{85}. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζονται, με διαφορετικά χρώματα, οι διαθέσιμες αποστάσεις στάσης κατά μήκος της οδού λόγω μηκοτομής και λόγω τρισδιάστατης χάραξης, καθώς και η απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση κατά μήκος της οδού. Έτσι, γίνεται εύκολα αντιληπτό σε ποια τμήματα της οδού υπάρχει επαρκής ορατότητα και σε ποια όχι. Στο ίδιο σχέδιο σχηματίζεται και το διάγραμμα ταχυτήτων. Κάτω από το διάγραμμα ορατοτήτων απεικονίζονται η γραμμή ερυθράς, η γραμμή εδάφους και τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας (Σχήματα 4-24 και 4-25).

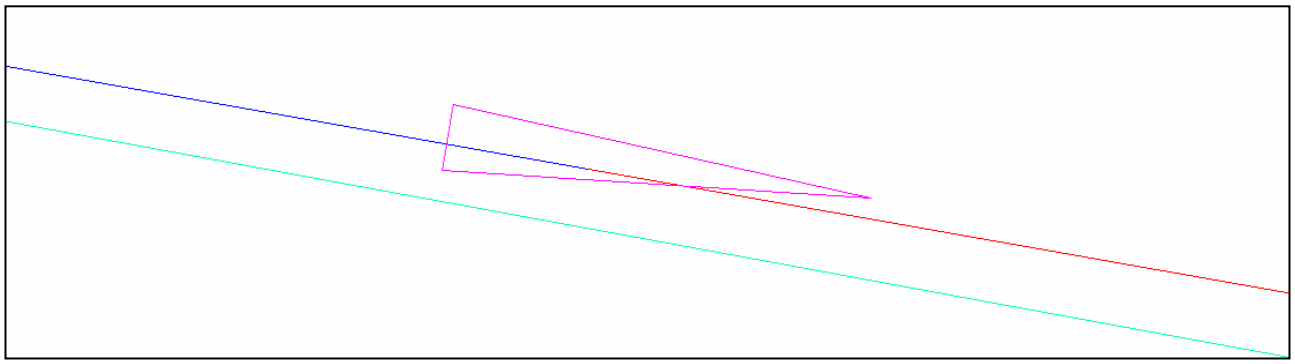


Σχήμα 4-21: Απεικόνιση της διαθέσιμης ορατότητας λόγω τρισδιάστατης χάραξης σε τμήμα οδού



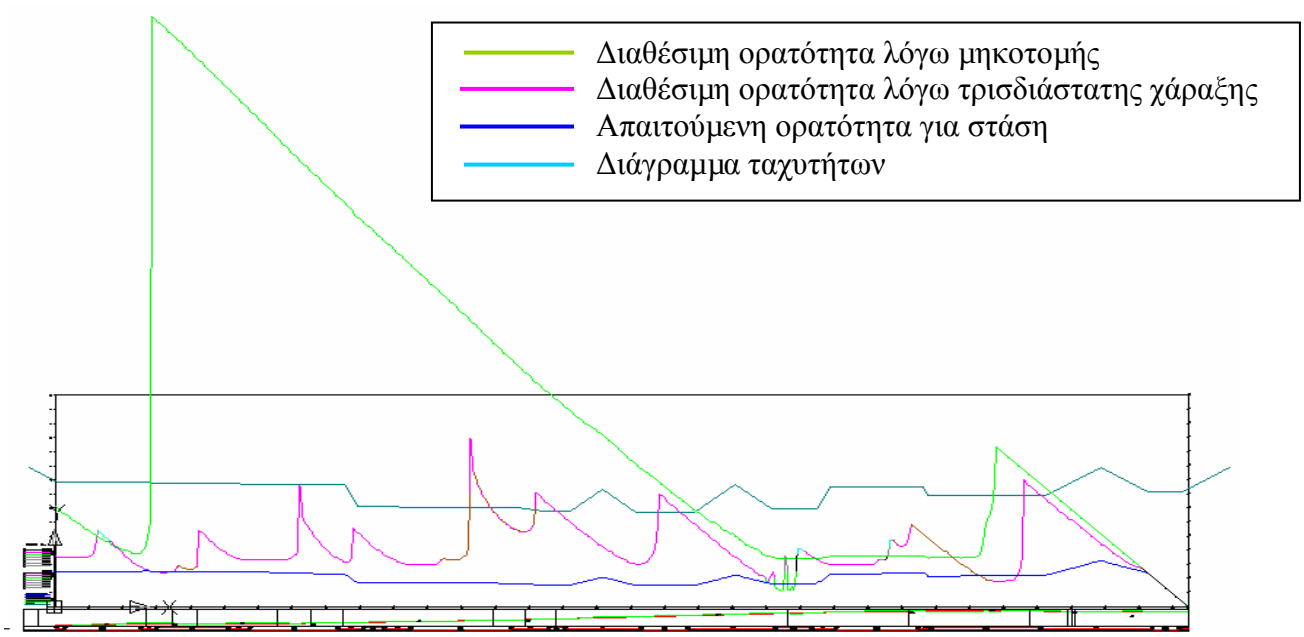
Σχήμα 4-22: Λεπτομέρεια του Σχήματος 4-21: Διαθέσιμη ορατότητα για στάση στο χώρο για μία μόνο θέση οφθαλμού.

Η **γαλάζια** γραμμή φτάνει μέχρι το τελευταίο σημείο που είναι ορατό. Η **σκούρη μπλε** και **κόκκινη** γραμμή φτάνει μέχρι το πρώτο σημείο που δεν είναι ορατό, λόγω τρισδιάστατης χάραξης. Με **μοβ** απεικονίζεται το τρίγωνο που κόβει τη γραμμή όρασης. Οι υπόλοιπες γραμμές απεικονίζουν τον άξονα και της οριογραμμές της οδού.

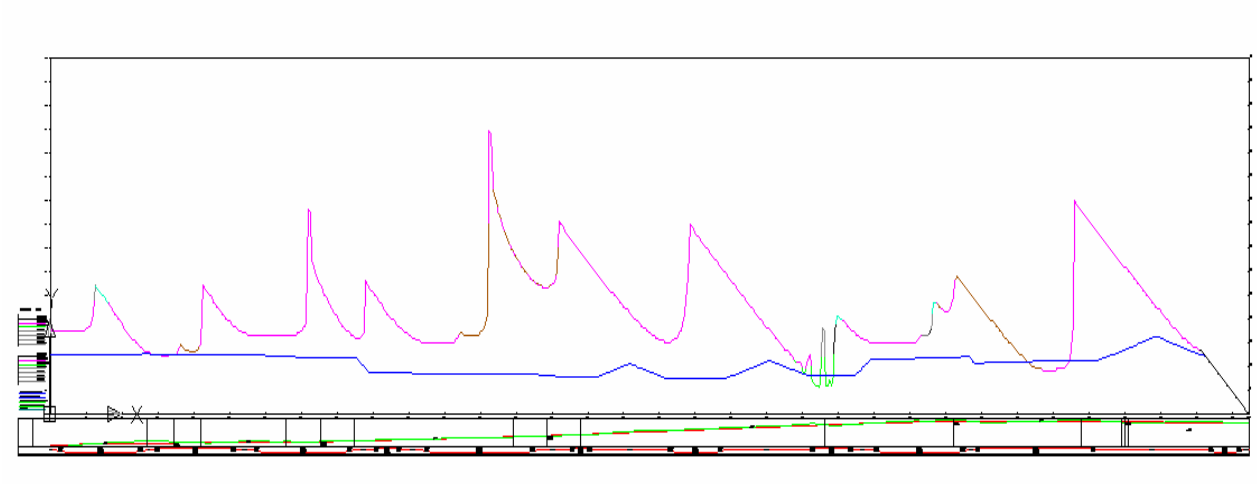


Σχήμα 4-23: Ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια του Σχήματος 4-21.

Η γραμμή μέχρι το πρώτο σημείο που δεν είναι ορατό, από **μπλε σκούρη** γίνεται **κόκκινη** μετά την τομή με το τρίγωνο που περιορίζει την ορατότητα. Το τρίγωνο αυτό είναι μοβ, οπότε μπορεί κανείς να συμπεράνει πως η ορατότητα περιορίζεται από πρανές ορύγματος. Με **γαλάζιο** απεικονίζεται η γραμμή όρασης μέχρι το τελευταίο ορατό από τον οδηγό σημείο.



Σχήμα 4-24: Γενικό διάγραμμα ορατοτήτων



Σχήμα 4-25: Διάγραμμα ορατοτήτων με απεικόνιση μόνο της απαιτούμενη ορατότητας για στάση και της διαθέσιμης ορατότητας για στάση στο χώρο.

Γίνεται κατανοητό πως στο μεγαλύτερο μήκος της οδού, πλην πολύ λίγων μεμονωμένων σημείων, η διαθέσιμη απόσταση ορατότητας για στάση είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη.

5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

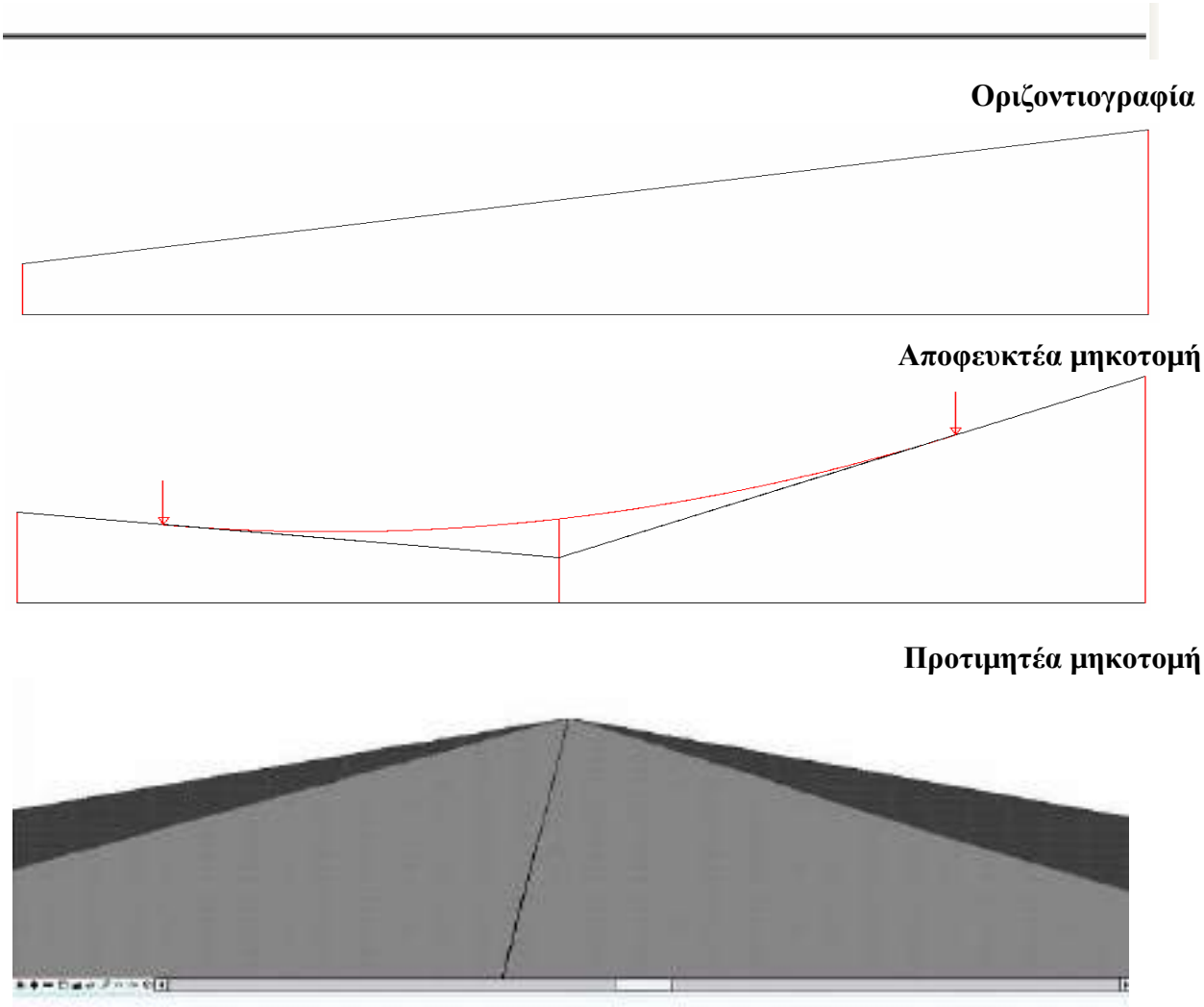
5.1 Εφαρμογή σε οδικά τμήματα που αντιστοιχούν σε αποφευκτέες και επιθυμητές περιπτώσεις τρισδιάστατης χάραξης που επισημαίνονται στους κανονισμούς

Στην παράγραφο που ακολουθεί, γίνεται χρήση του προγράμματος "Προοπτικό" προκειμένου να παραχθούν προοπτικές εικόνες που αντιστοιχούν στις βασικότερες περιπτώσεις συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής με τα αντίστοιχα επιθυμητά ή μη αποτελέσματα στο χώρο, που αναφέρονται στους σύγχρονους κανονισμούς της οδοποιίας και στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι καινούριες Γερμανικοί οδηγίες [16] είναι οι μόνες που συνοδεύουν τις διατάξεις τους σχετικά με την τρισδιάστατη χάραξη με ολοκληρωμένες προοπτικές εικόνες από την άποψη του οδηγού, δημιουργημένες με τη βοήθεια λογισμικού Η/Υ. Σε όλες τις υπόλοιπες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των καινούριων Αυστραλιανών οδηγιών [4], οι υποδείξεις για το συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής συνοδεύονται από απλά σκαριφήματα, ενώ οι Αμερικανικές οδηγίες [1] δεν περιλαμβάνουν γενικά προοπτικές εικόνες. Κρίθηκε, λοιπόν, σκόπιμο, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας να παραχθούν με τη βοήθεια του προγράμματος που δημιουργήθηκε οι προοπτικές εικόνες των βασικότερων εξ' αυτών των υποδείξεων για την εναρμόνιση οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Μία πολύ αξιόλογη προσπάθεια συμπλήρωσης των Αμερικανικών κανονισμών με τις προοπτικές εικόνες που αντιστοιχούν στις υποδείξεις τους για την τρισδιάστατη χάραξη έχει γίνει στη Δ.Ε. της Ε. Ταϊγανίδη [30].

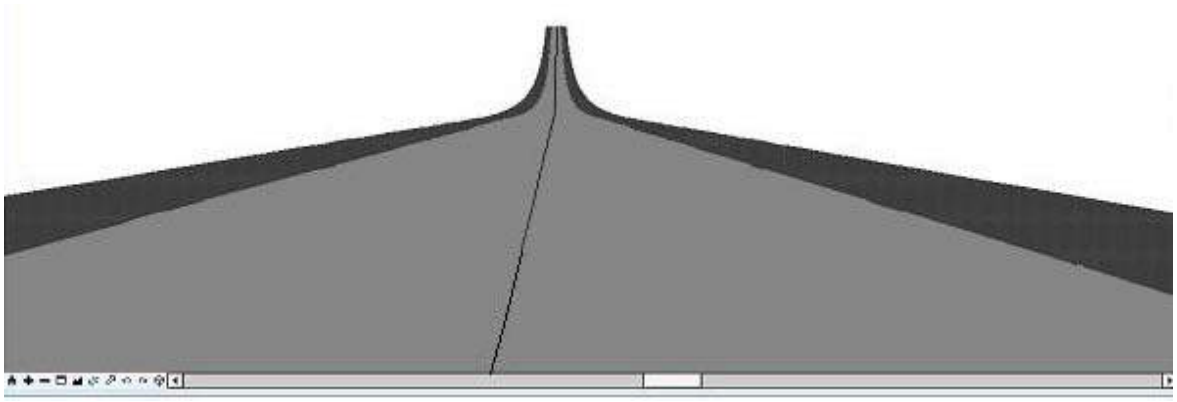
Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν από τη γράφουσα προοπτικές εικόνες σε οδικά τμήματα των οποίων οι συνδυασμοί οριζοντιογραφίας και μηκοτομής δίνουν τα δυσμενή ή τα επιθυμητά αποτελέσματα στο χώρο που αναφέρουν οι επίσημες οδηγίες. Οι εφαρμογές αυτές υλοποιήθηκαν με χρήση του πακέτου προγραμμάτων Η8 στο οποίο εντάσσεται και το "Προοπτικό", με εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στα αντίστοιχα αρχεία εισαγωγής δεδομένων (τύπου *.xls) και λειτουργία όλων των προγραμμάτων του.

Οι προοπτικές εικόνες που προέκυψαν, παρατίθενται στη συνέχεια της παραγράφου. Από αυτές, έχει αφαιρεθεί το όχημα καθώς και ο περιβάλλων χώρος των οδικών τμημάτων (πρανή ορυγμάτων και επιχωμάτων και έδαφος), καθώς ο στόχος τους είναι η απλούστευση του σχήματος και η εστίαση στην τρισδιάστατη απεικόνιση του συνδυασμού της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Κάθε προοπτική εικόνα συνοδεύεται από την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή του αντίστοιχου οδικού τμήματος, έτσι ώστε να είναι σαφής ο συνδυασμός που οδήγησε στη συγκεκριμένη τρισδιάστατη απεικόνιση.

Κατά την κατασκευή των οδικών αυτών τμημάτων, ο οδηγός τοποθετήθηκε δεξιά του άξονα, σε απόσταση ίση με 0,25 m από αυτόν και σε ύψος 1,06 m (ΟΜΟΕ 2001), ενώ το βήμα της κίνησής του ορίσθηκε ίσο με 20 m. Το πεδίο ορατότητάς του θεωρήθηκε πολύ ευρύ (συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι σε αυτό περικλείεται ολόκληρο το μήκος των οδικών τμημάτων) προκειμένου να απεικονιστεί όλο το επιθυμητό οδικό τμήμα μπροστά από αυτόν. Οι προοπτικές εικόνες που προέκυψαν, εξήχθησαν και επεξεργάστηκαν στο Microstation.

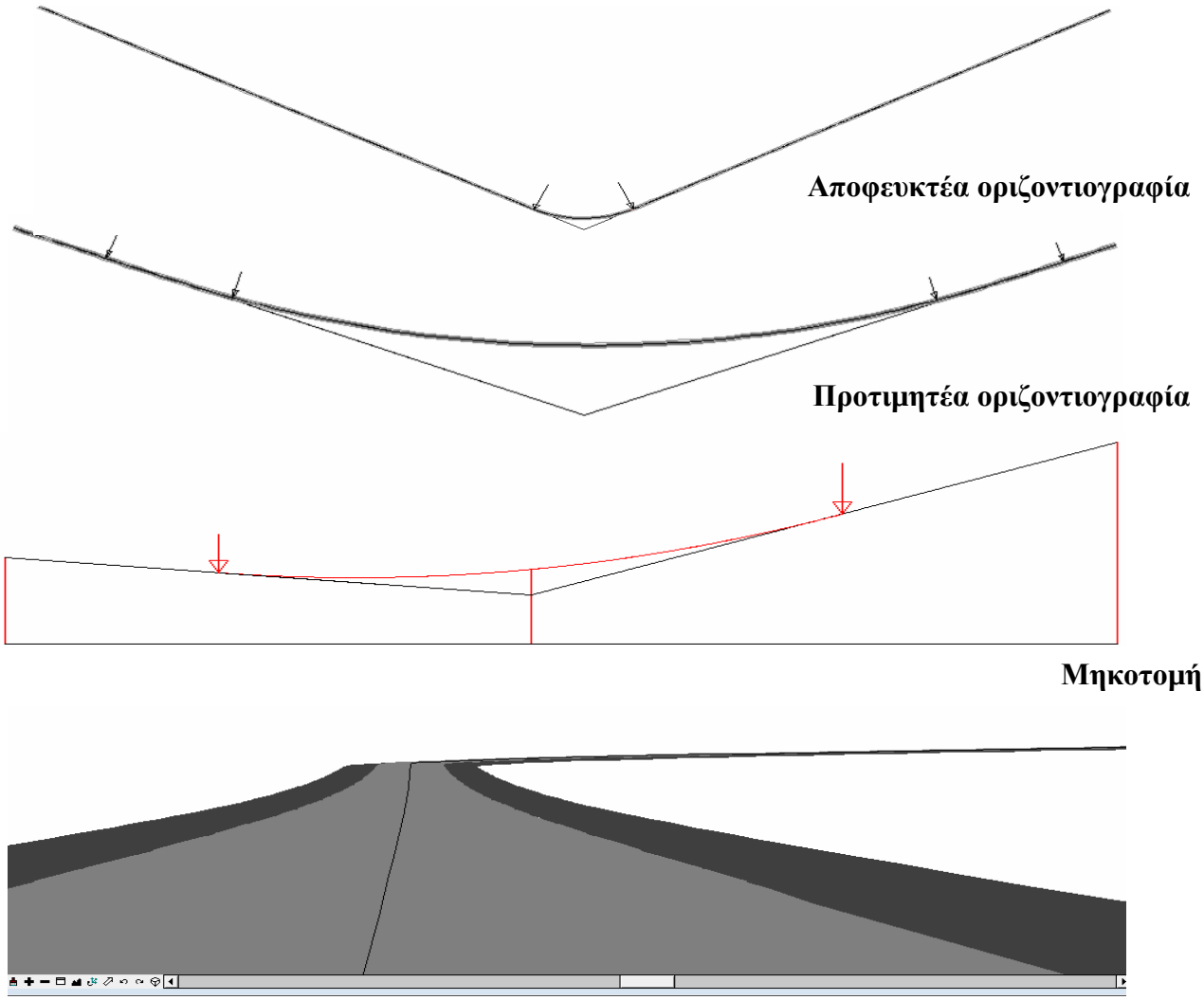


Σχήμα 5-1: Σταθερή κατά μήκος κλίση σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμία

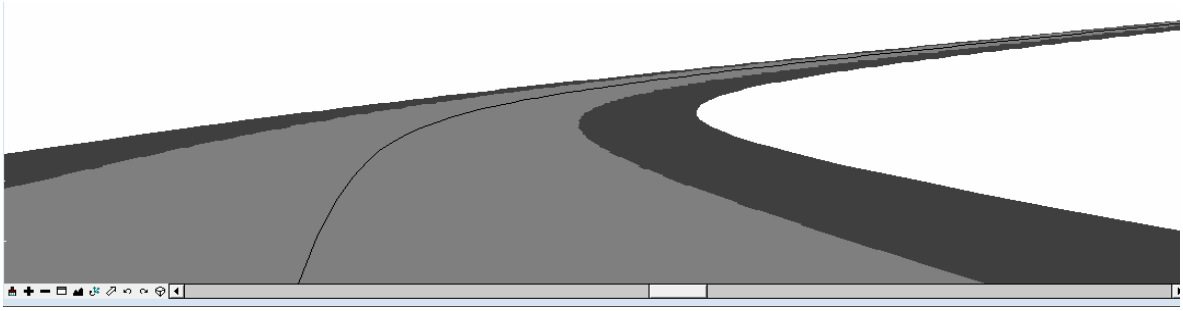


Σχήμα 5-2: Επιλογή μεγάλου μήκους κοιλώματος σε μεγάλου μήκους ευθυγραμμία, προκειμένου να αποφευχθεί η δυσμενής οπτική εντύπωση που δημιουργεί η σταθερή κατά μήκος κλίση

Σημείωση: Μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες με σταθερή κατά μήκος κλίση δημιουργούν δυσμενή οπτική εντύπωση (Σχήμα 5-1). Συνιστάται η επιλογή μεγάλου μήκους κοιλώματος (Σχήμα 5-2).



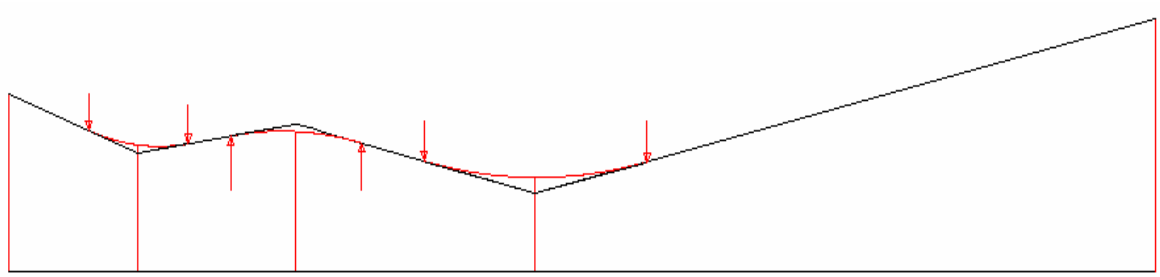
Σχήμα 5-3: Οπτική θλάση λόγω επιλογής οριζοντιογραφικής καμπύλης με πολύ μικρή ακτίνα



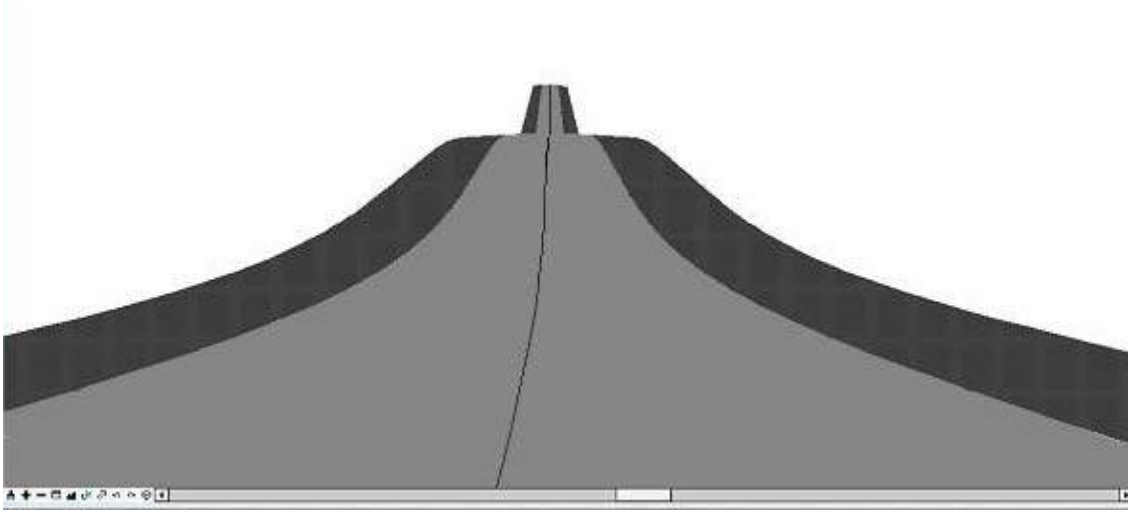
Σχήμα 5-4: Επιλογή μεγάλου οριζοντιογραφικού τόξου με καμπύλες συναρμογής, για την αποφυγή του φαινομένου οπτικής θλάσης

Σημείωση: Η επιλογή πολύ μικρού οριζοντιογραφικού τόξου δημιουργεί ένα πολύ επικίνδυνο φαινόμενο οπτικής θλάσης, καθώς γίνεται αντιληπτή από τον οδηγό σαν απότομη αλλαγή γωνίας (Σχήμα 5-3). Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, συνιστάται η επιλογή μεγαλύτερων ακτινών κυκλικών τόξων και καμπυλών συναρμογής μεγαλύτερου μήκους (Σχήμα 5-4).

Οριζοντιογραφία



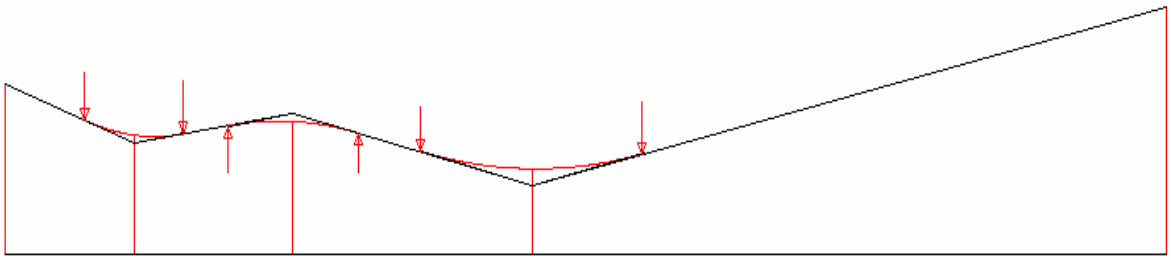
Μηκοτομή



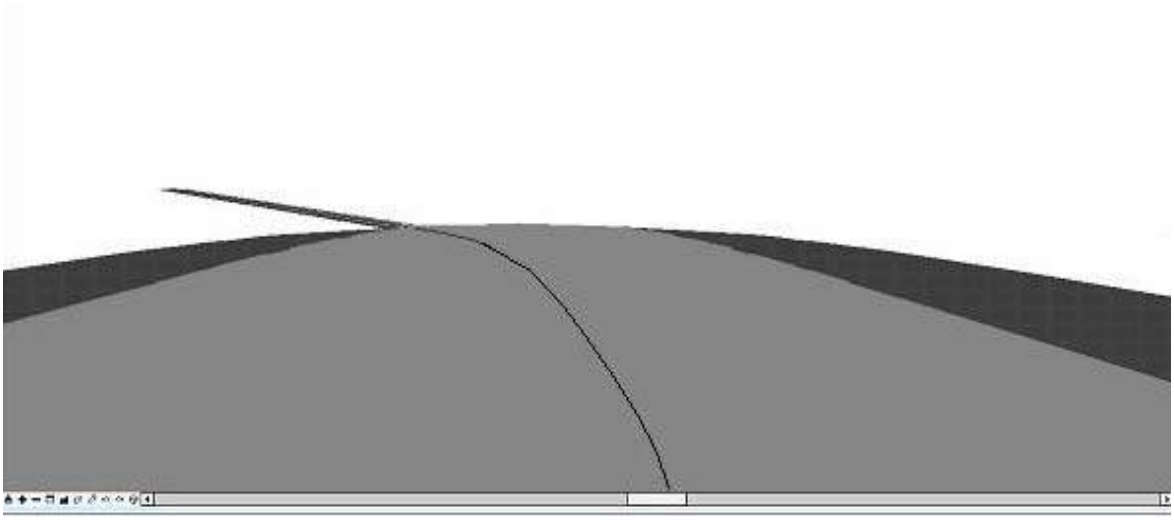
Σχήμα 5-5: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία

Σημείωση: Οι διαδοχικές κοίλες και κυρτές καμπύλες μηκοτομής, οι οποίες προκύπτουν από την επιθυμία μείωσης των όγκων των χωματισμών και των αποστάσεων μεταφοράς τους, οδηγούν σε τοπικές βυθίσεις της οδού που περιορίζουν την ορατότητα του οδηγού. Η οδός χάνεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού και επανεμφανίζεται στην προέκταση του διανυόμενου οδικού τμήματος. Για την αποφυγή του φαινομένου, συνιστάται η εφαρμογή σταθερής κατά μήκος κλίσης.

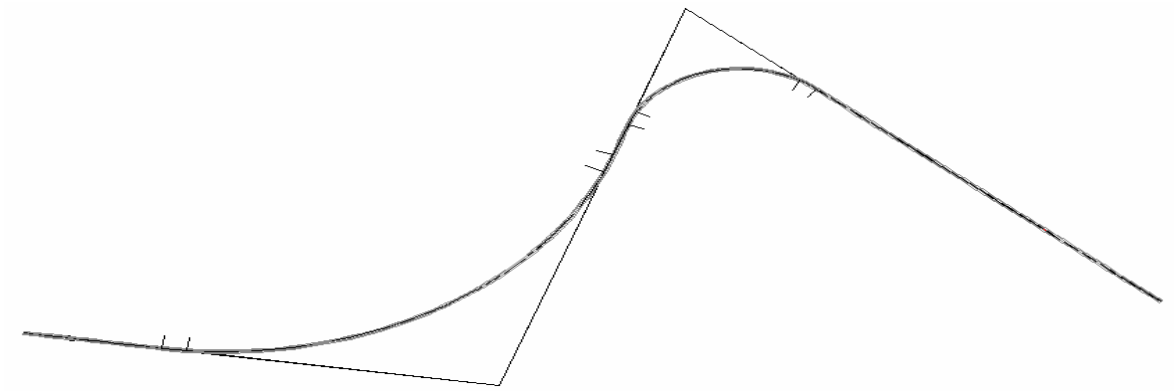
Οριζοντιογραφία



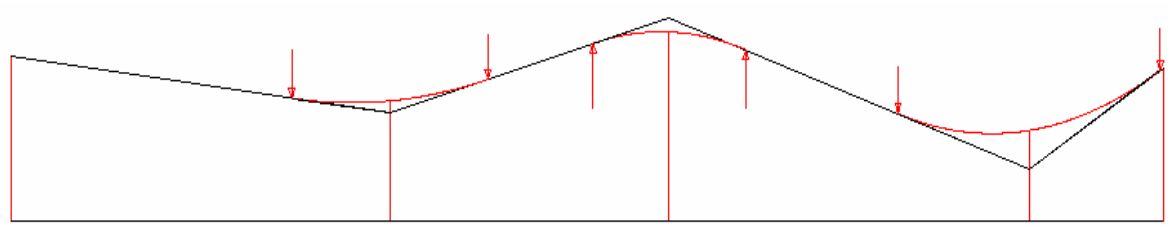
Μηκοτομή



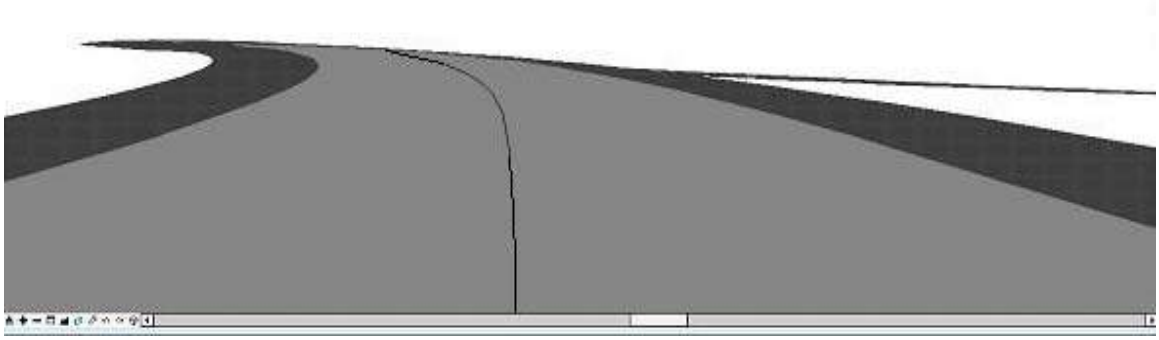
Σχήμα 5-6: Βύθισμα σε οριζοντιογραφική καμπύλη



Οριζοντιογραφία

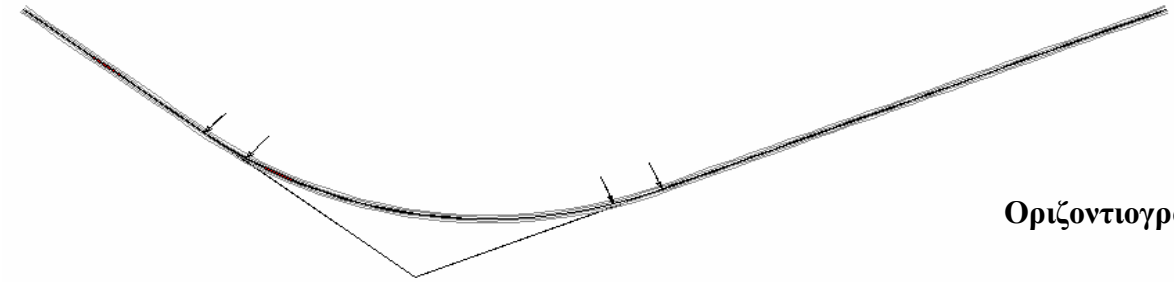


Μηκοτομή

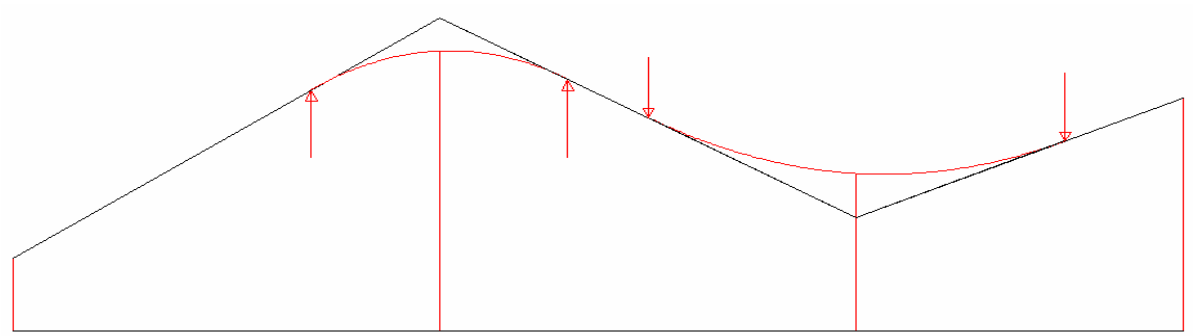


Σχήμα 5-7: Ασυνέχεια οδού – Φαινόμενο άλματος

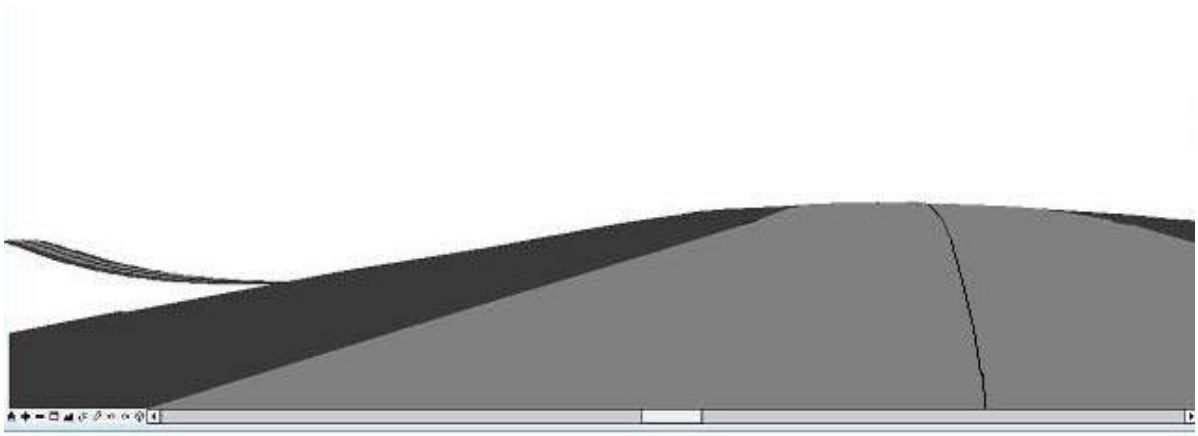
Σημείωση: Όταν η βύθιση της οδού λαμβάνει χώρα σε οδικό τμήμα με διαδοχικές αντίρροπες οριζοντιογραφικές καμπύλες, με αποτέλεσμα η οδός να χάνεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού και να επανεμφανίζεται σε διαφορετική από το διανυόμενο τμήμα κατεύθυνση, τότε το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως άλμα. Αναφέρεται και ως ασυνέχεια.



Οριζοντιογραφία



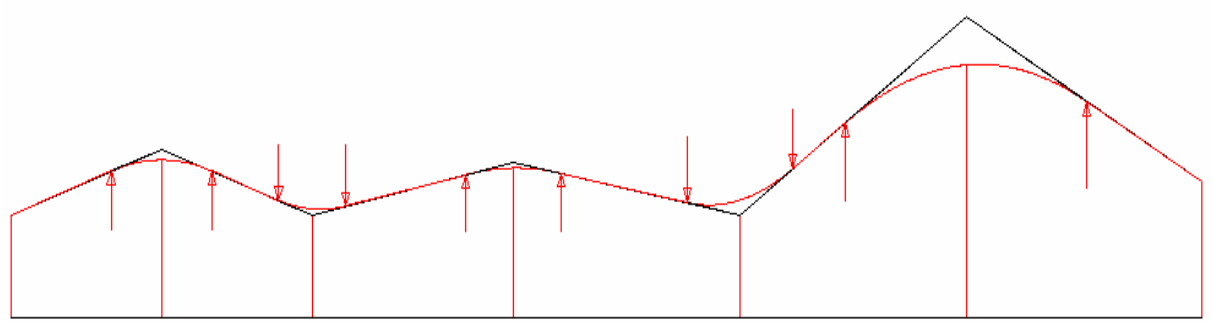
Μηκοτομή



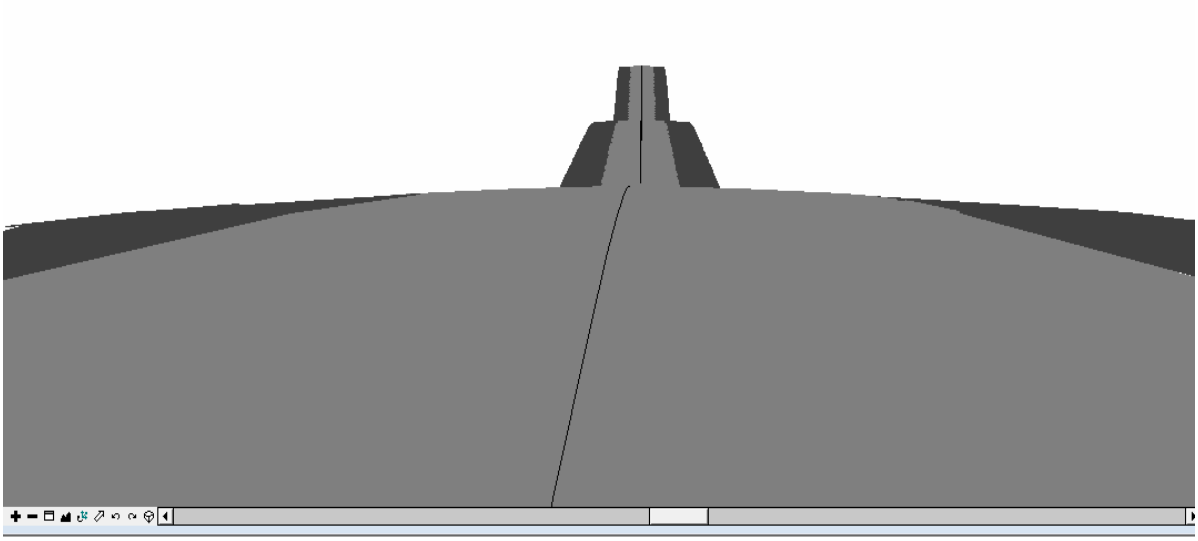
Σχήμα 5-8: Επαλληλία μικρής οριζοντιογραφικής καμπύλης με μικρό κύρτωμα μηκοτομής

Σημείωση: Επαλληλία μικρής οριζοντιογραφικής καμπύλης με μικρό κύρτωμα μηκοτομής οδηγεί σε οπτική μετατόπιση της οδού. Οπτική μετατόπιση της οδού χαρακτηρίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η οδός χάνεται από το οπτικό πεδίο του οδικού και όταν εμφανίζεται δεν έχει διαφορετική κατεύθυνση από το διανυόμενο τμήμα αλλά φαίνεται μετατοπισμένη.

Οριζοντιογραφία



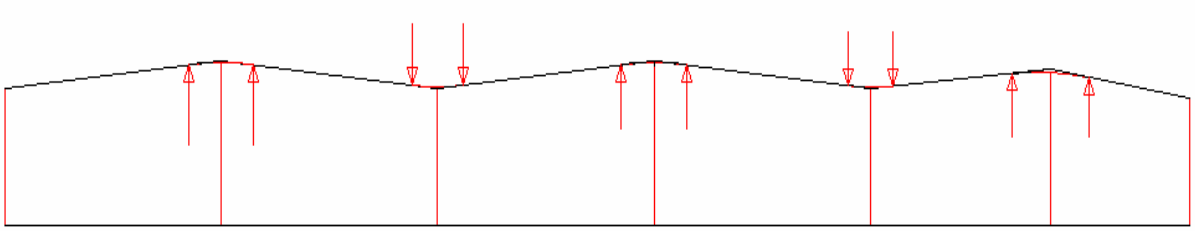
Μηκοτομή



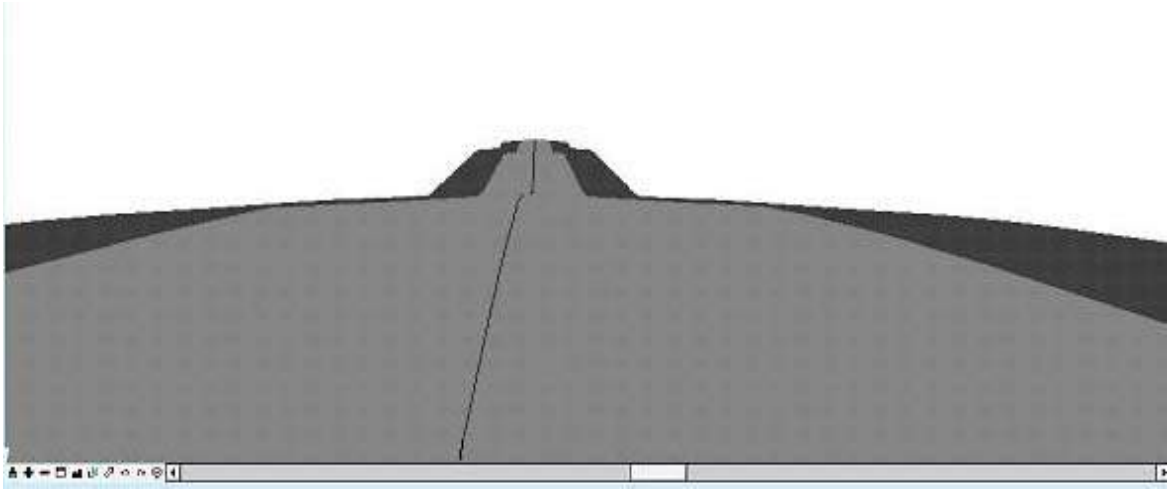
Σχήμα 5-9: Φαινόμενο έντονου κυματισμού (roller-coaster effect)

Σημείωση: Το φαινόμενο έντονου κυματισμού συνίσταται σε διαδοχικά βυθίσματα της οδού, με συνεχή απόκρυψη οδικών τμημάτων από τον οδηγό. Επιρρεπείς σε αυτό είναι οι μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες. Το φαινόμενο αυτό δεν αποφεύγεται με επιλογή κατάλληλων ακτινών καμπυλότητας στα δύο επίπεδα ξεχωριστά.

Οριζοντιογραφία

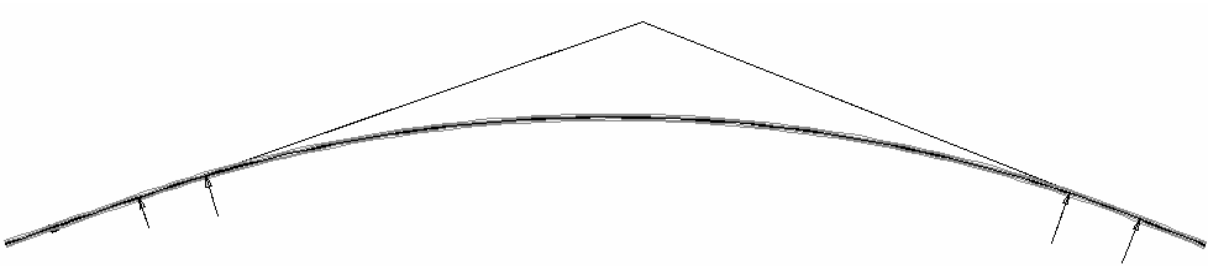


Μηκοτομή

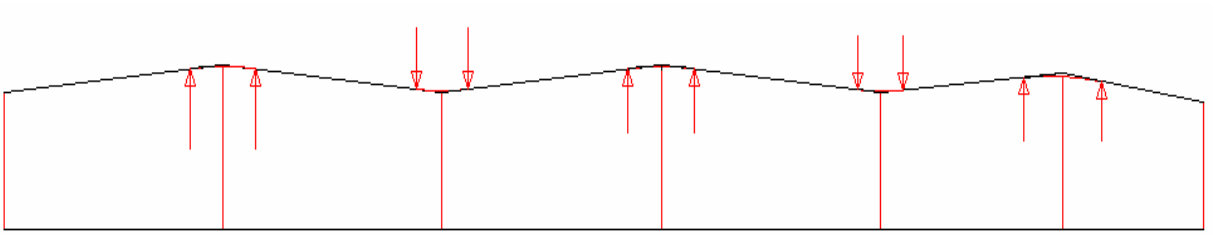


Σχήμα 5-10: Κυματισμός σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία

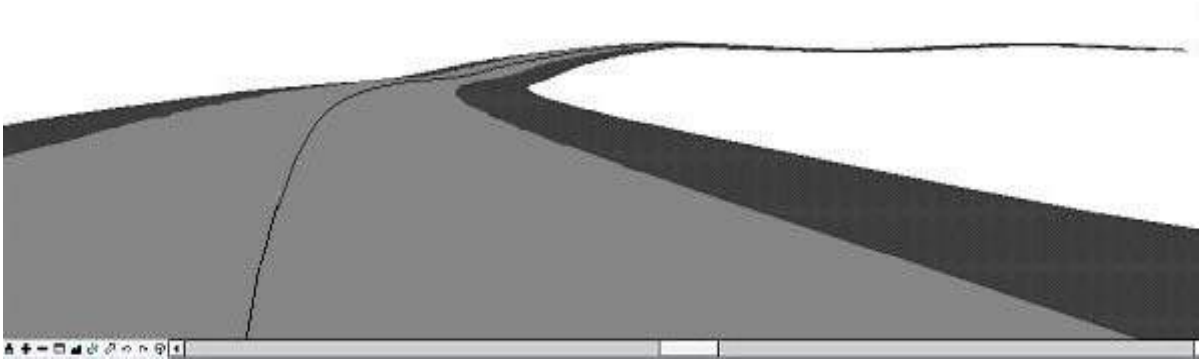
Σημείωση: Το φαινόμενο του κυματισμού είναι αποτέλεσμα διαδοχικών βραχέων ανυψώσεων της οδού, σε μια προσπάθεια έντονης προσαρμογής της χάραξης στο φυσικό τοπίο. Ωστόσο, οι διαδοχικές αυτές τοπικές υπερυψώσεις, δεν αποκρύπτουν τμήματα της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Για την αποφυγή του φαινομένου, συνιστάται η επιλογή ενιαίας κλίσης στη μηκοτομή.



Οριζοντιογραφία



Μηκοτομή

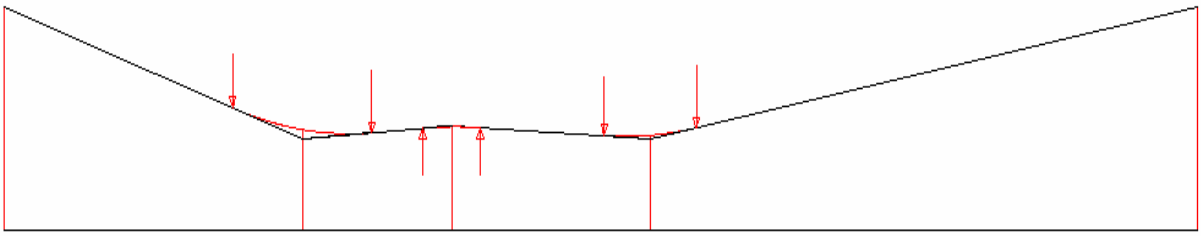


Σχήμα 5-11: Κυματισμός σε οριζοντιογραφική καμπύλη

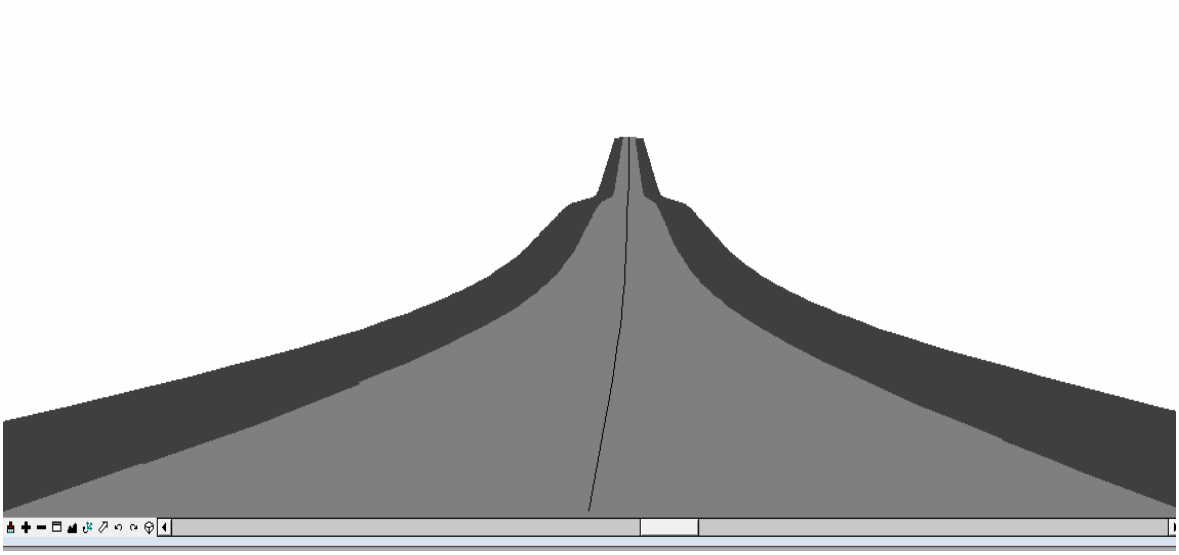
Σημείωση: Το φαινόμενο του κυματισμού είναι πιο έντονο όταν εμφανίζεται σε οριζοντιογραφική καμπύλη, καθώς η πλευρική θέα από απόσταση αποκαλύπτει και την πιο μικρή υπερύψωση.

Ο

Οριζοντιογραφία

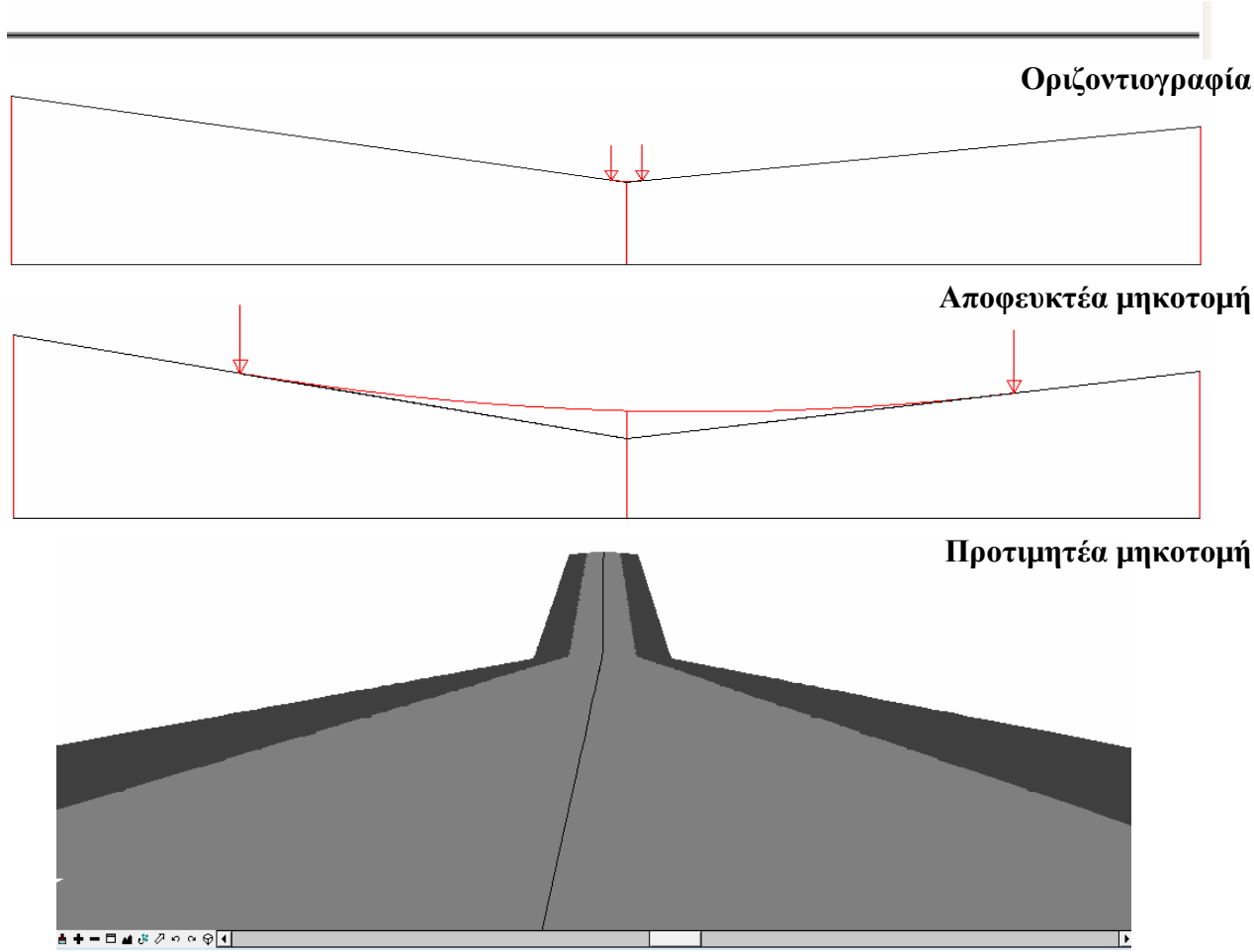


Μηκοτομή

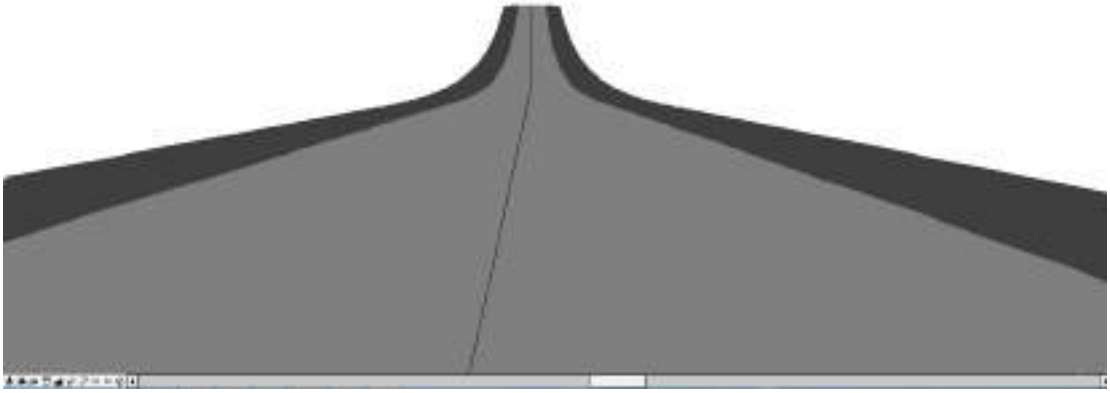


Σχήμα 5-12: Οπτικό κύρτωμα (τοπική υπερύψωση)

Σημείωση: Μεγάλες αλλαγές της κατά μήκους κλίσης σε περιορισμένο μήκος οδού προκαλούν οπτικό κύρτωμα. Προτιμάται βαθμιαία μεταβολή των κατά μήκος κλίσεων.

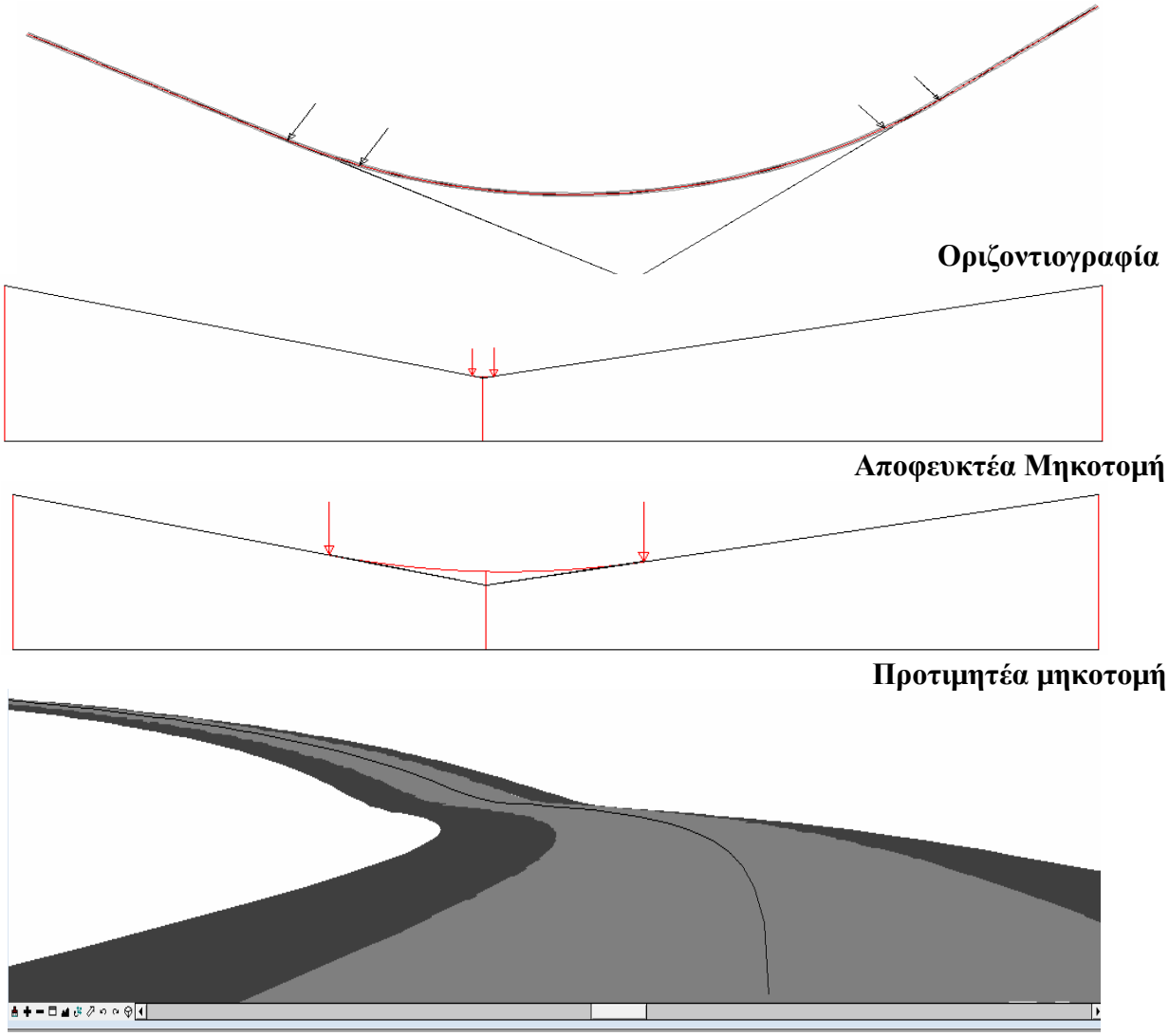


Σχήμα 5-13: Κοίλωμα μικρού μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με ενιαία κατά μήκος κλίση, σε οριζοντιογραφική ευθυγραμμία

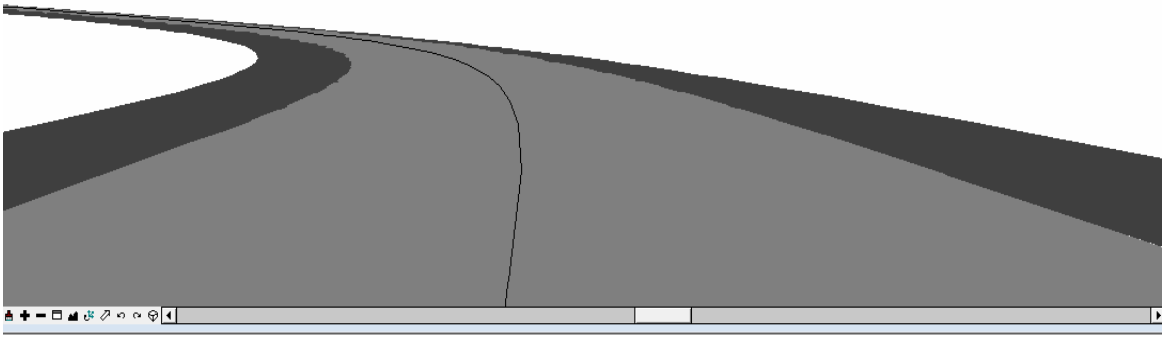


Σχήμα 5-14: Επιλογή κοιλώματος μεγάλου μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της οπτικής θλάσης στην οριζοντιογραφική ευθυγραμμία

Σημείωση: Μικρά τόξα κοίλων καμπυλών μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων με ενιαία κατά μήκος κλίση σε μία οριζοντιογραφική ευθυγραμμία πρέπει να αποφεύγονται, επειδή δημιουργούν οπτική θλάση (Σχήμα 5-13). Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, συνιστάται επιλογή κοιλώματος μεγαλύτερου μήκους (Σχήμα 5-14).



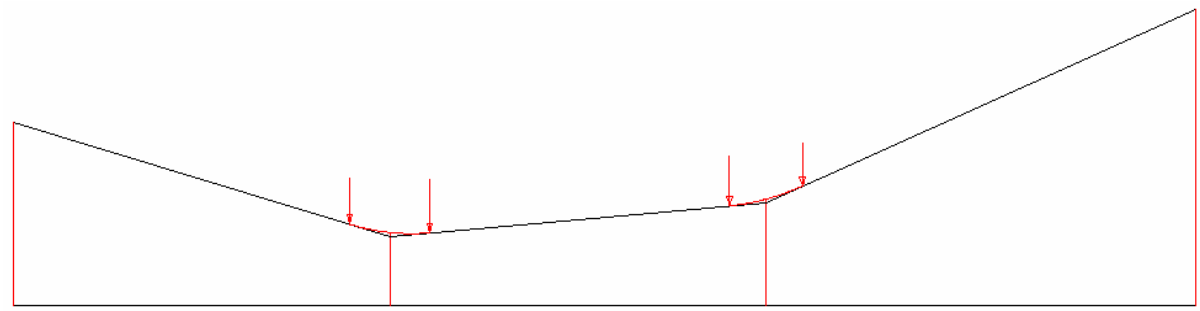
Σχήμα 5-15: Κοίλωμα μικρού μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, σε οριζοντιογραφική καμπύλη



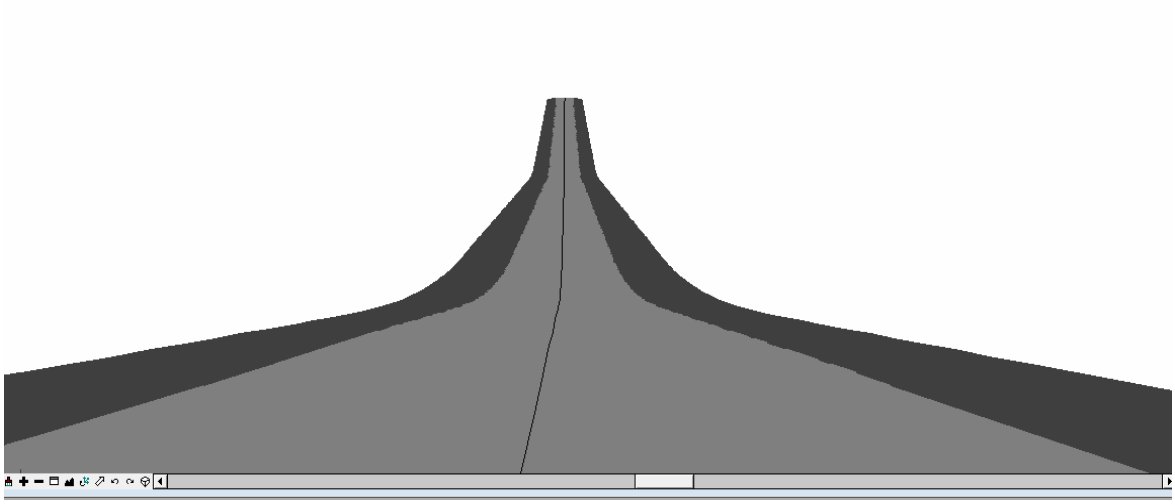
Σχήμα 5-16: Επιλογή κοιλώματος μεγάλου μήκους μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων μηκοτομής με σταθερή κατά μήκος κλίση, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της οπτικής στρέβλωσης στην οριζοντιογραφική καμπύλη

Σημείωση: Μικρά τόξα κοίλων καμπυλών μεταξύ ευθύγραμμων κλάδων με ενιαία κατά μήκος κλίση σε μία οριζοντιογραφική καμπύλη πρέπει να αποφεύγονται, επειδή δημιουργούν οπτική στρέβλωση (Σχήμα 5-15). Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, συνιστάται επιλογή κοιλώματος μεγαλύτερου μήκους (Σχήμα 5-16).

Οριζοντιογραφία

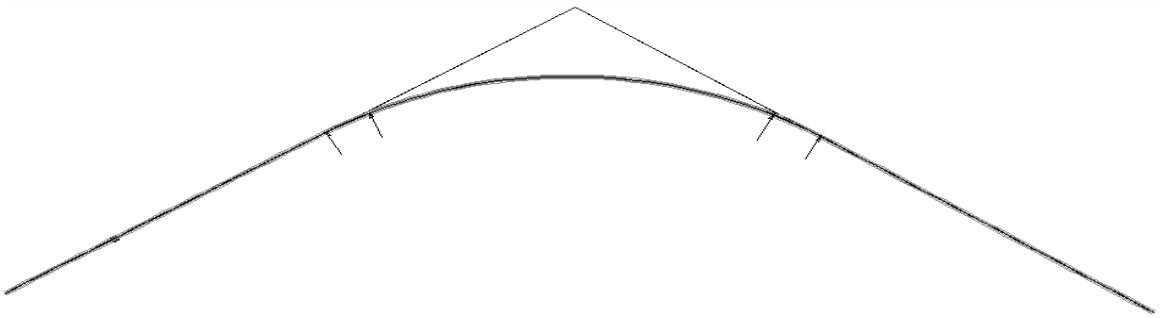


Μηκοτομή

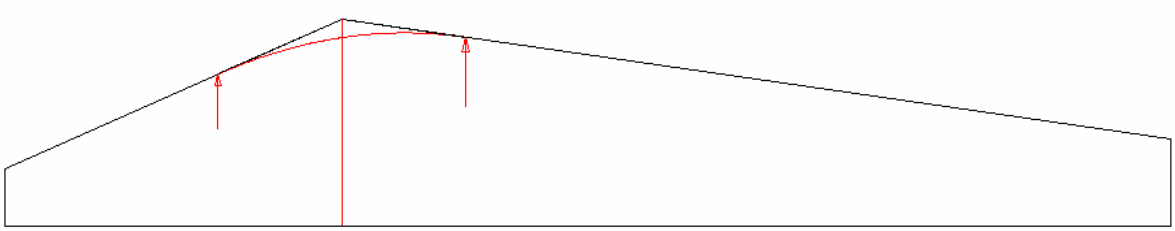


Σχήμα 5-17: Τεθλασμένο κατάστρωμα οδού

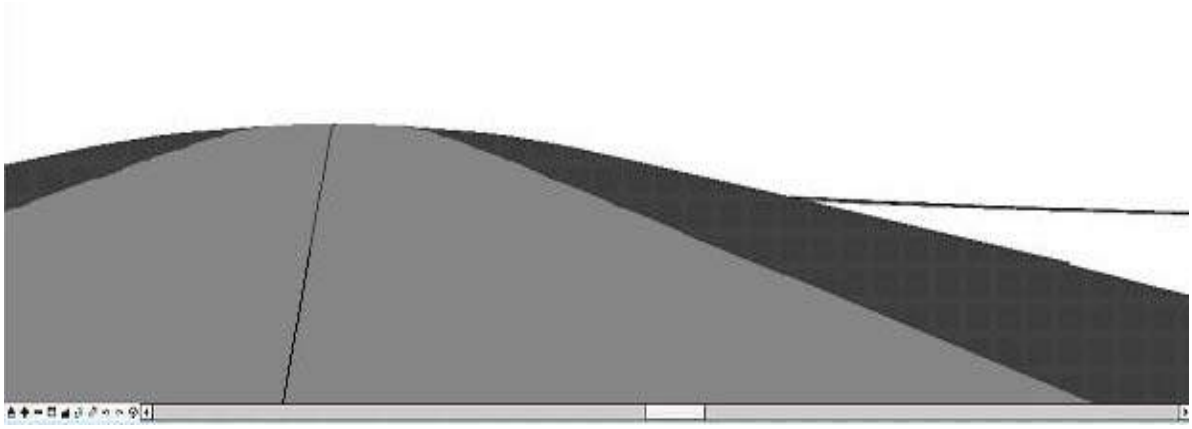
Σημείωση: Μικρό ευθύγραμμο τμήμα σταθερής κατά μήκος κλίσης μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλωμάτων μηκοτομής πρέπει να αποφεύγεται καθώς δημιουργεί στρεβλή οπτική εντύπωση. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην τοποθέτηση ευθύγραμμης γέφυρας μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλωμάτων. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου συνιστάται η χρήση κοιλωμάτων μεγαλύτερων ακτινών και μεγαλύτερων μηκών στρογγύλευσης.



Οριζοντιογραφία

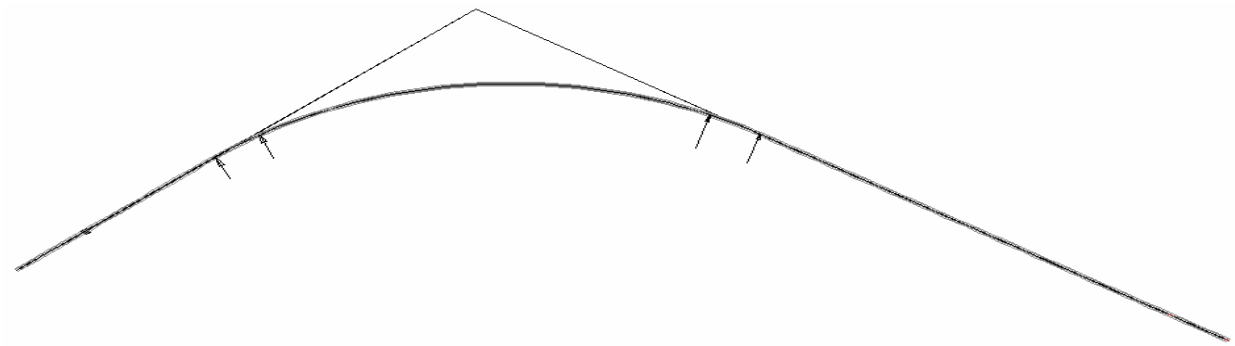


Μηκοτομή

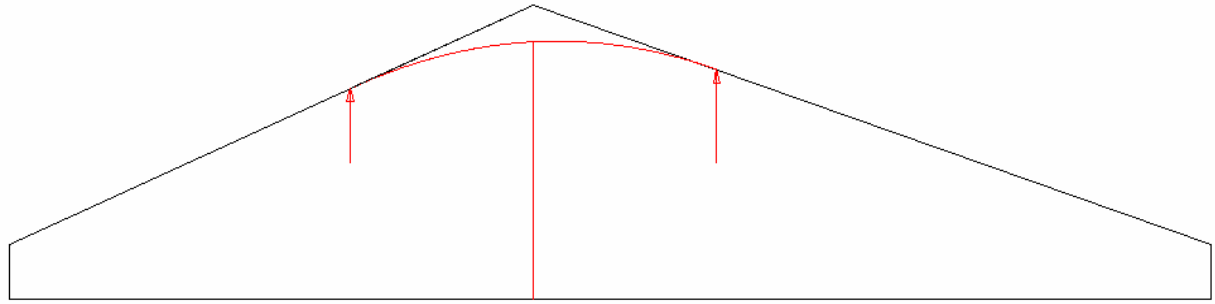


Σχήμα 5-18: Οριζοντιογραφική καμπύλη ξεκινά μετά από κύρτωμα

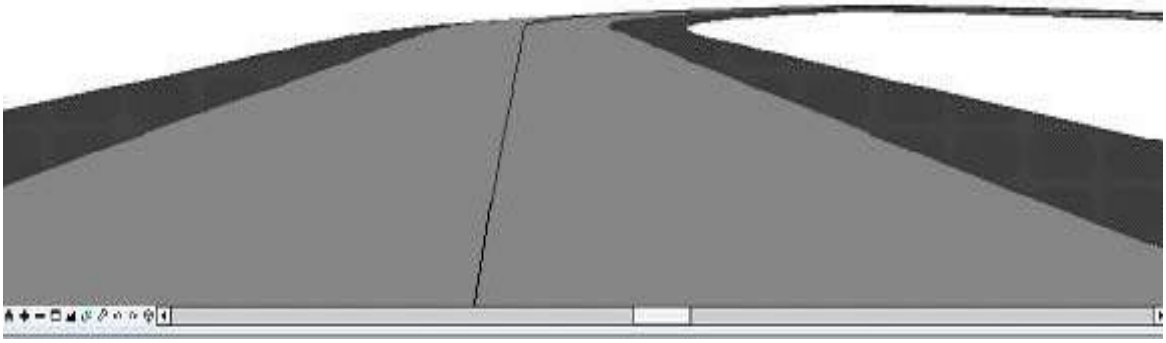
Σημείωση: Εάν η έναρξη μίας οριζοντιογραφικής καμπύλης αποκρύπτεται λόγω μιας κυρτής καμπύλης μηκοτομής, ο οδηγός ενδέχεται να μην αντιληφθεί έγκαιρα την αλλαγή διεύθυνσης της οριζόντιας χάραξης και να μη στρίψει σωστά, με πιθανό αποτέλεσμα να οδηγηθεί σε ατύχημα. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο εάν η οριζοντιογραφική καμπύλη ξεκινά στην κορυφή του κυρτώματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, συνιστάται είτε το κυρτό τόξο της μηκοτομής να εμπεριέχεται εξ' ολοκλήρου μέσα στην οριζοντιογραφική καμπύλη (Σχήμα 5-19), επομένως να είναι μικρότερο από αυτή, είτε τα δύο τόξα να διαχωρίζονται πλήρως.



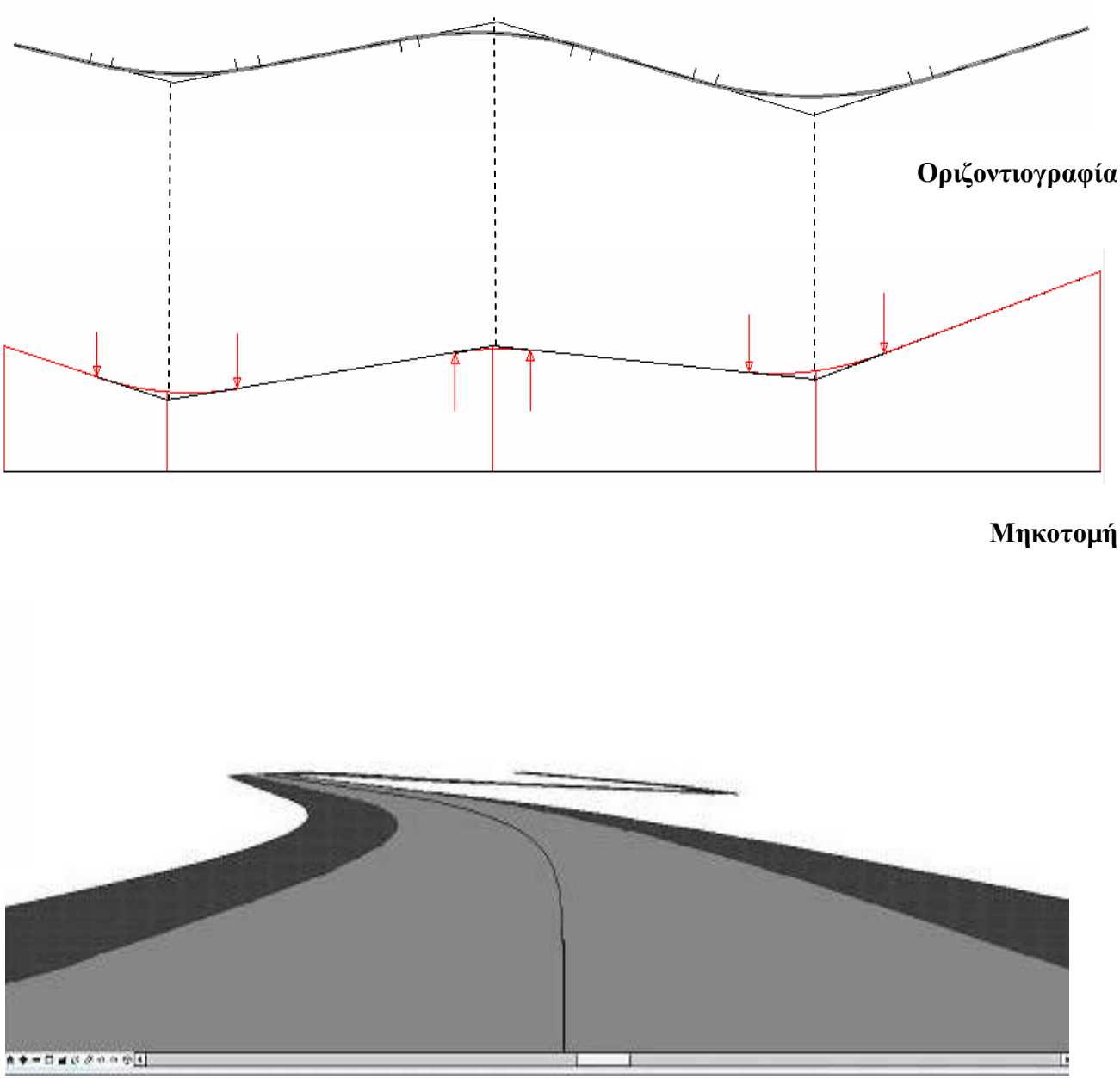
Οριζοντιογραφία



Μηκοτομή



Σχήμα 5-19: Κυρτό τόξο μηκοτομής εμπεριέχεται σε οριζοντιογραφική καμπύλη



Σχήμα 5-20: Ταύτιση σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής

Σημείωση: Η σύμπτωση των σημείων καμπής οριζοντιογραφίας και μηκοτομής προσδίδει στην οδό μια ευχάριστη προοπτική εικόνα, κάνοντάς την παράλληλα ιδανική από άποψη δυναμικής της κίνησης των οχημάτων και από άποψη απορροής των υδάτων.

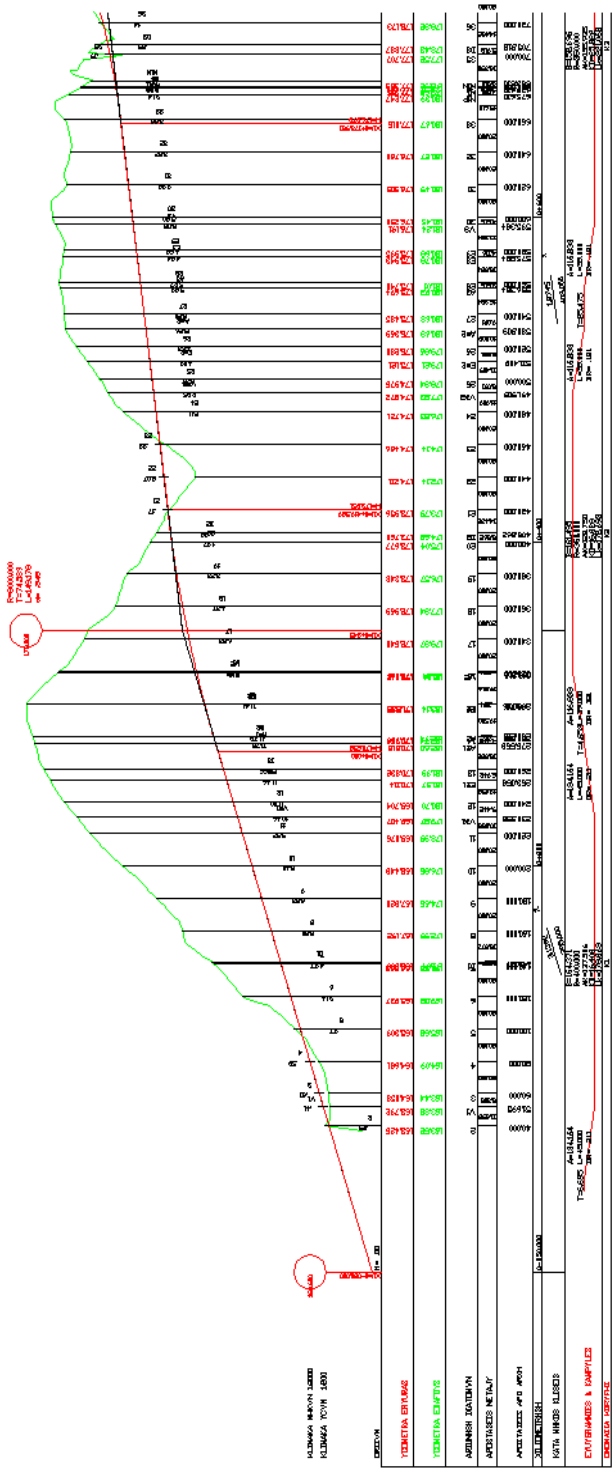
5.2 Εφαρμογή σε πραγματική υπό μελέτη οδό

Στην παράγραφο αυτή, το "Προοπτικό" εφαρμόζεται σε μία πραγματική υπό μελέτη οδό, η οποία δε δημιουργήθηκε από τη γράφουσα, τα στοιχεία της οποίας έχουν προκύψει εξ' ολοκλήρου με χρήση όλων των προηγούμενων προγραμμάτων του Η8. Κατά τη μελέτη της, έγινε χρήση ακόμη και του καινούριου προγράμματος "Ταχύτητες" που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σκοπός της εφαρμογής αυτής είναι η παρουσίαση στον αναγνώστη των ολοκληρωμένων προοπτικών εικόνων που έχει τη δυνατότητα να παράγει το νέο πρόγραμμα, μέσα από της οποίες ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ελέγχου της τρισδιάστατης χάραξης της οδού αλλά και της εξασφάλισης της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο κατά μήκος αυτής. Στις εικόνες αυτές, δεν απεικονίζονται πλέον μόνο το κατάστρωμα της οδού και οι διαμορφώσεις όπως στις εικόνες της προηγούμενης παραγράφου, αλλά και τα πρανή των ορυγμάτων και των επιχωμάτων, καθώς και το όχημα στην απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για στάση (έχει αφαιρεθεί μόνο το έδαφος πέρα από τα πρανή, προκειμένου να μην "βαρύνουν" πολύ οι εικόνες).

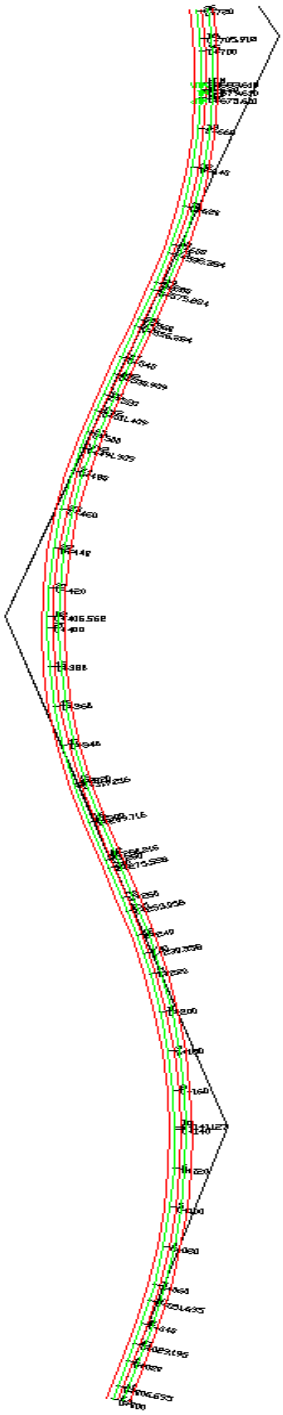
Η οδός που απεικονίζεται έχει μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Ο οφθαλμός του οδηγού έχει τοποθετηθεί δεξιά από τον άξονα και σε απόσταση ίση με 0,25 m από αυτόν (απόσταση που αντιστοιχεί στο τέλος της διαγράμμισης εκατέρωθεν του άξονα, ο οποίος απεικονίζεται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή) και σε ύψος 1,06 m (έχει επιλεγεί η λειτουργία του προγράμματος σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ 2001), ενώ το πλάτος κάθε λωρίδας κυκλοφορίας είναι ίσο με 4 m. Το βήμα κίνησης του οδηγού πάνω στην οδό έχει ορισθεί ίσο με 20 m. Το πεδίο ορατότητάς του έχει καθορισθεί να ξεκινά σε απόσταση ίση με 5 m και να τελειώνει σε απόσταση ίση με 200 m από αυτόν. Οι προοπτικές εικόνες που προέκυψαν από το πρόγραμμα, εξήχθησαν και επεξεργάστηκαν στο Microstation.

Στη συνέχεια της παραγράφου, παρατίθενται οι προοπτικές εικόνες των πρώτων 500, περίπου, μέτρων της εν λόγω οδού. Δίπλα σε κάθε προοπτική εικόνα, αναγράφεται η εκάστοτε χιλιομετρική θέση του οδηγού πάνω στην οδό. Στο οδικό αυτό τμήμα, ο οδηγός κινείται αρχικά σε μία αριστερόστροφη οριζοντιογραφική καμπύλη, στη συνέχεια σε μία δεξιόστροφη ενώ, στο τέλος, βλέπει την αρχή μίας ακόμη αριστερόστροφης. Το τμήμα αυτό είναι, επομένως, κατάλληλο για την απόκτηση μιας ολοκληρωμένης αντίληψης από τον αναγνώστη για τη μορφή των προοπτικών απεικονίσεων που παράγονται από το "Προοπτικό". Ολόκληρο το οδικό τμήμα βρίσκεται σε κύρτωμα. Εκατέρωθέν του, υψώνονται αρκετά μεγάλα ορύγματα (πράσινου χρώματος), ενώ τα επιχώματα (καφέ χρώματος) και ειδικά αυτά που φαίνονται από τη θέση του οδηγού, είναι ελάχιστα. Τέλος, παρατίθενται τα σχέδια της οριζοντιογραφίας, του μοντέλου της οδού και του εδάφους, καθώς και της μηκοτομής του παραπάνω οδικού τμήματος.

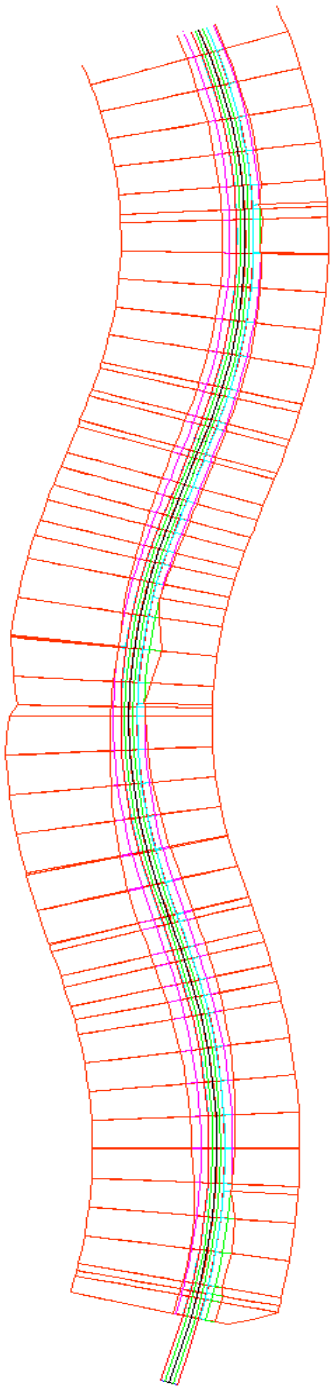
Μηκοτομή οδικού τμήματος



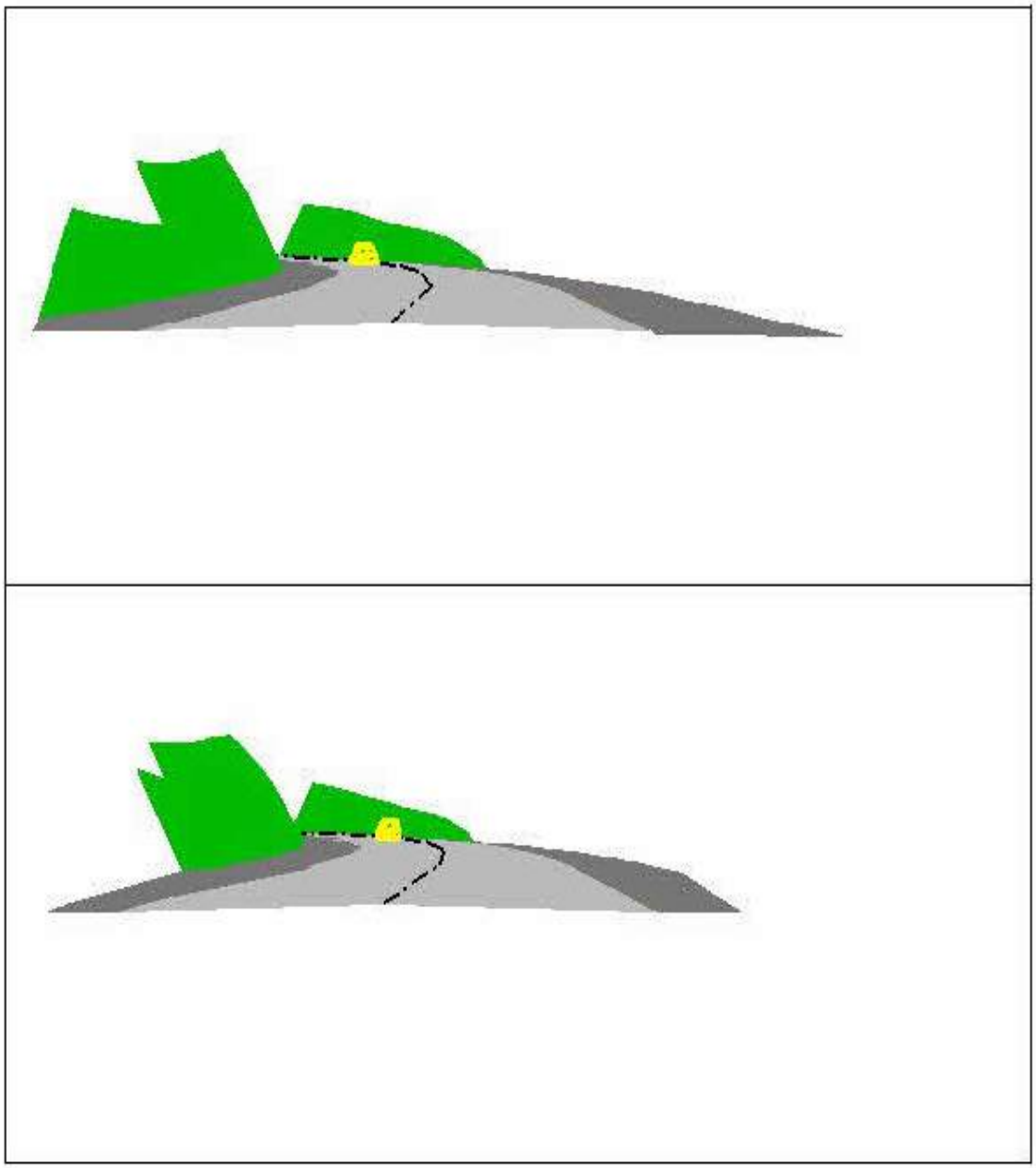
Οριζοντιογραφία οδικού τμήματος



Μοντέλο οδού και περιβάλλοντα χώρου οδικού τμήματος

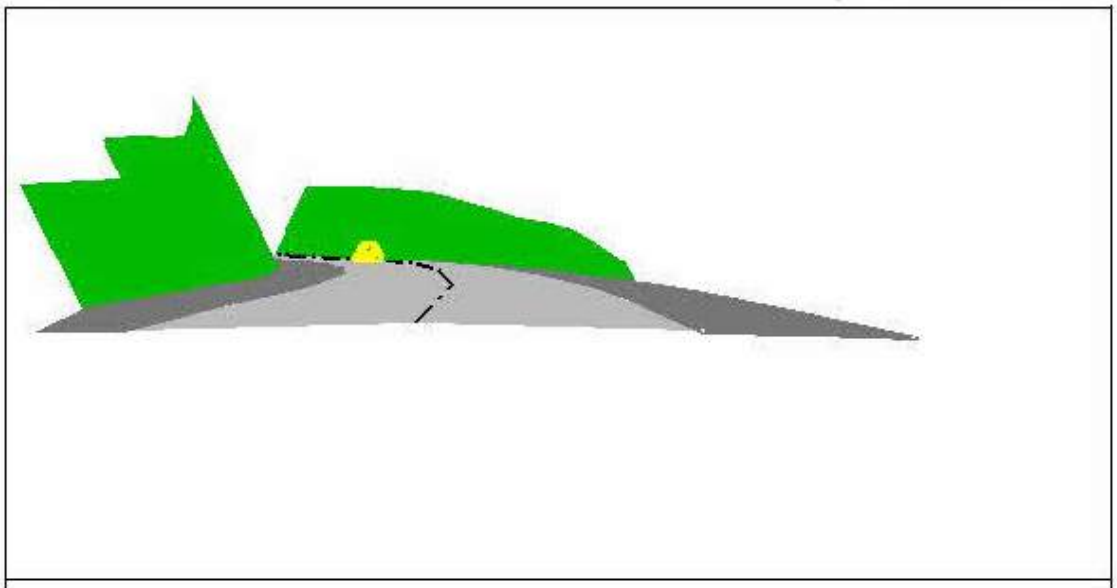


Προοπτικές εικόνες οδικού τμήματος

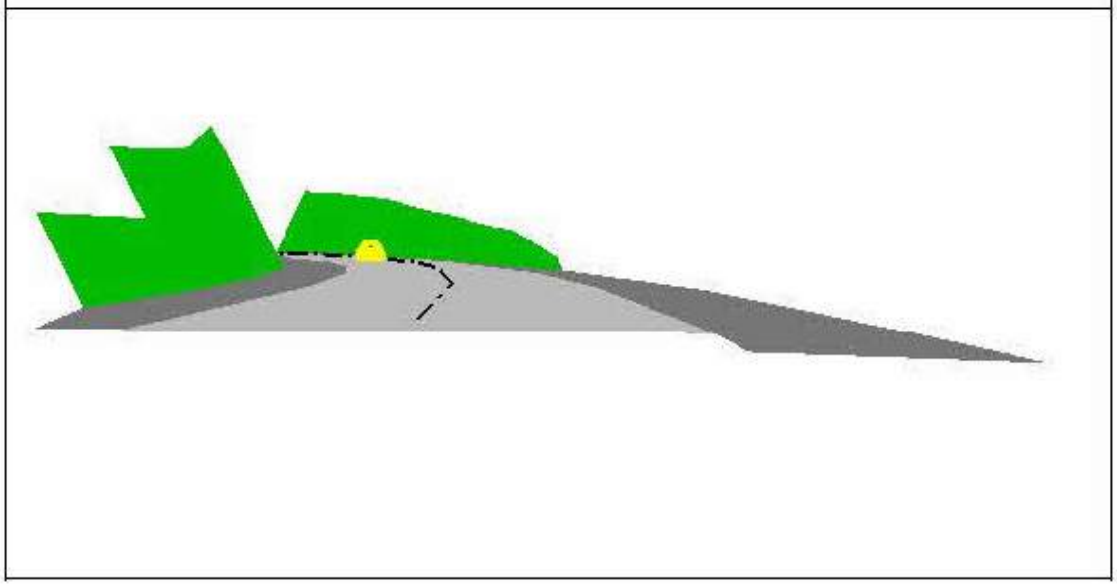


19.909

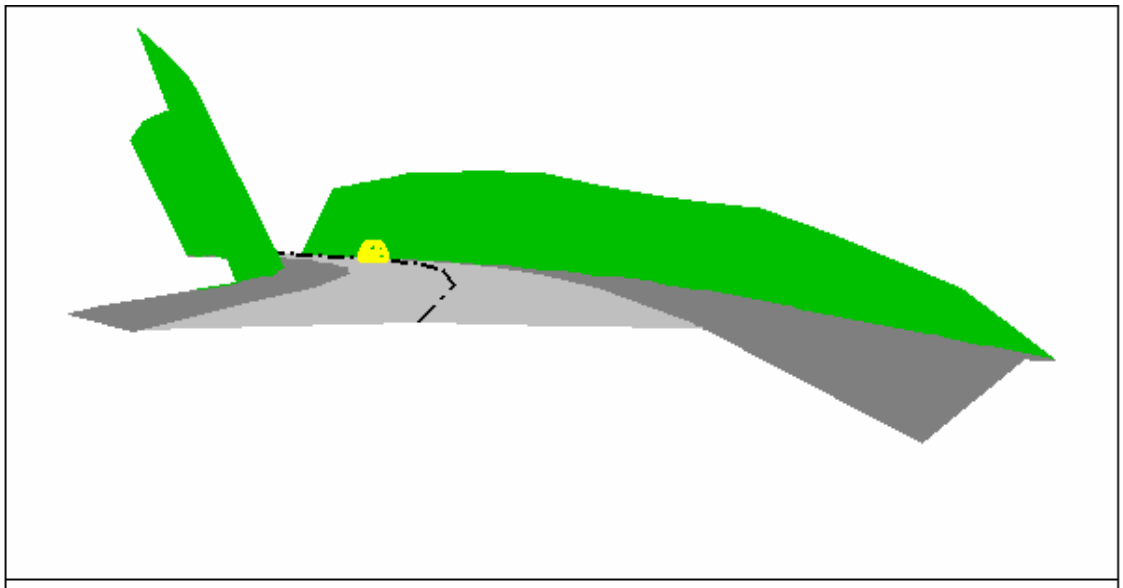
.000



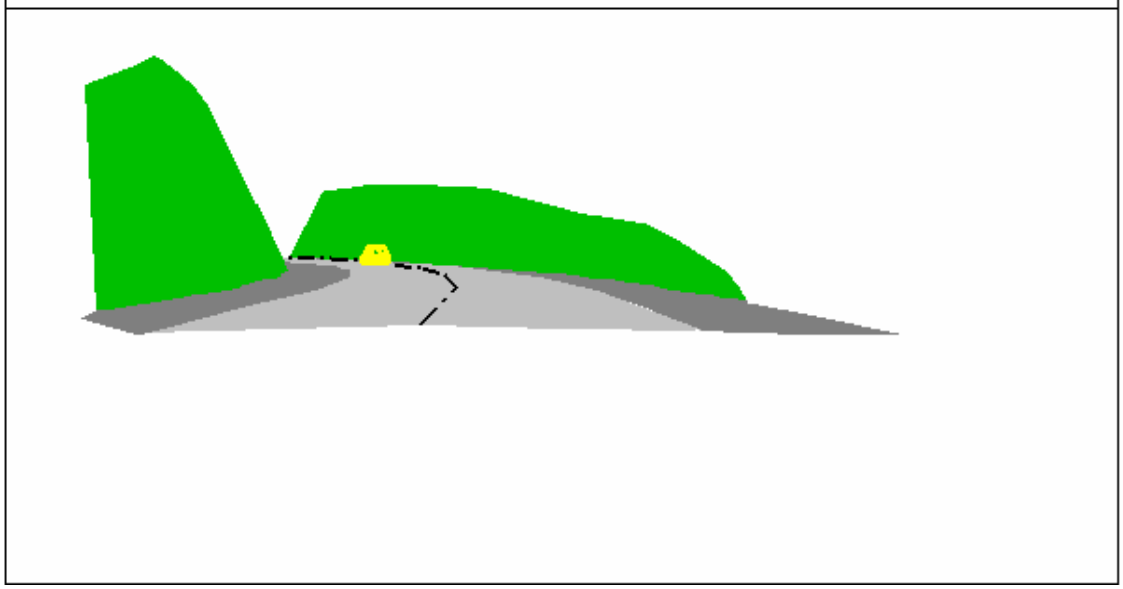
59.726



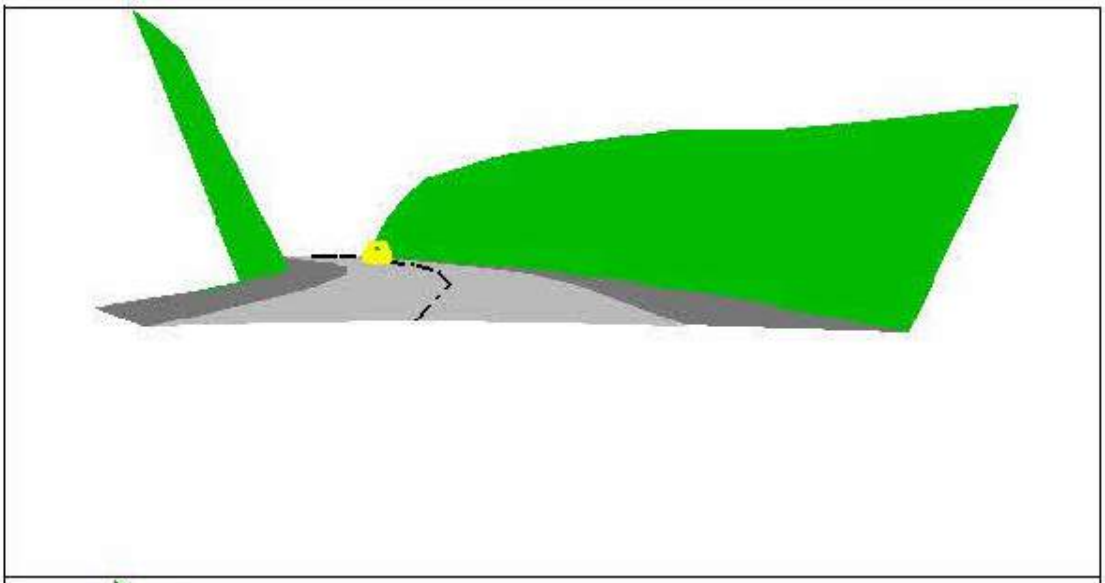
39.817



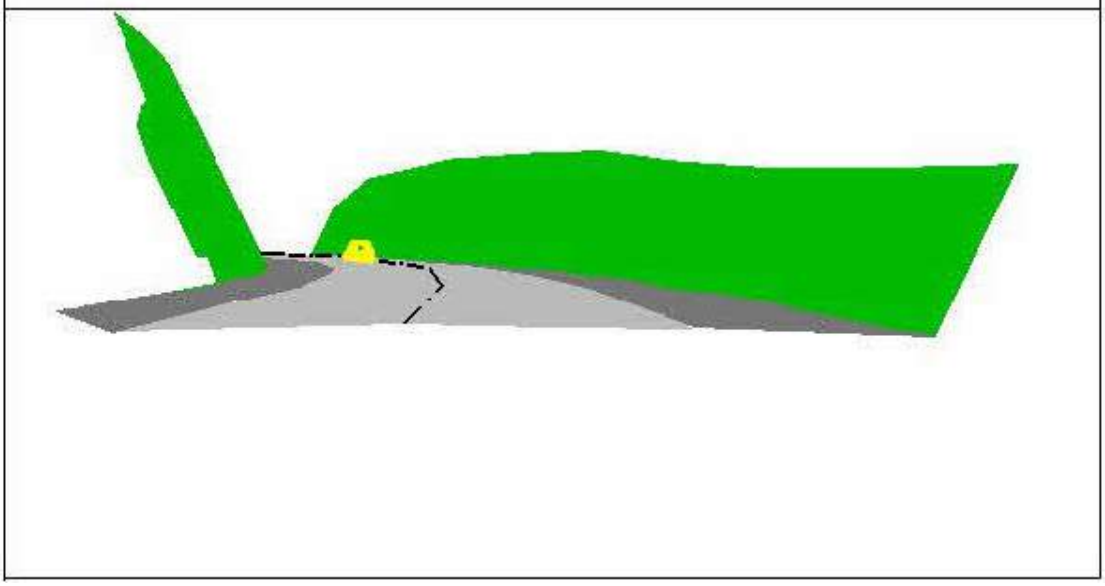
99.543



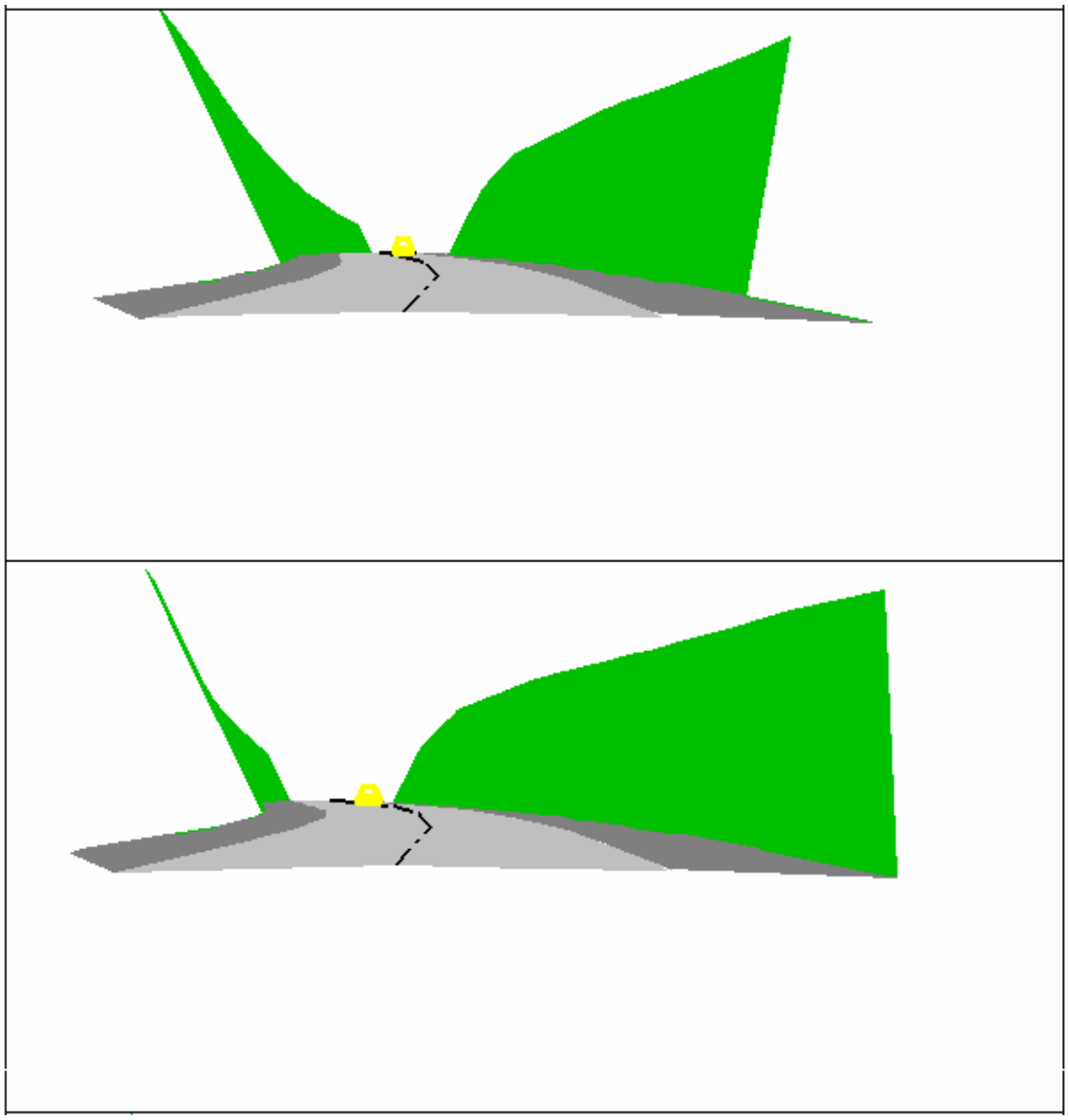
79.635



139.361

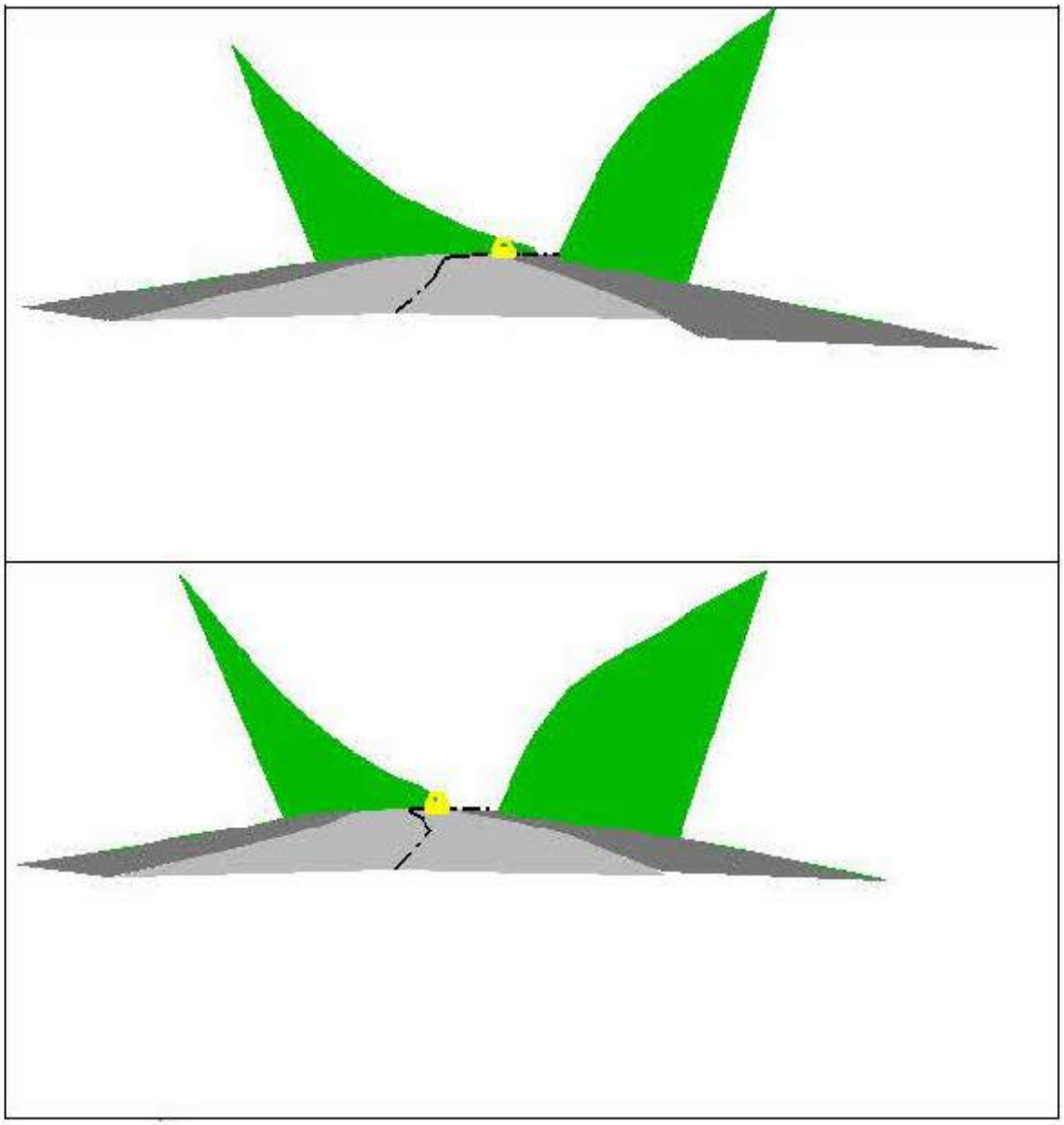


119.452



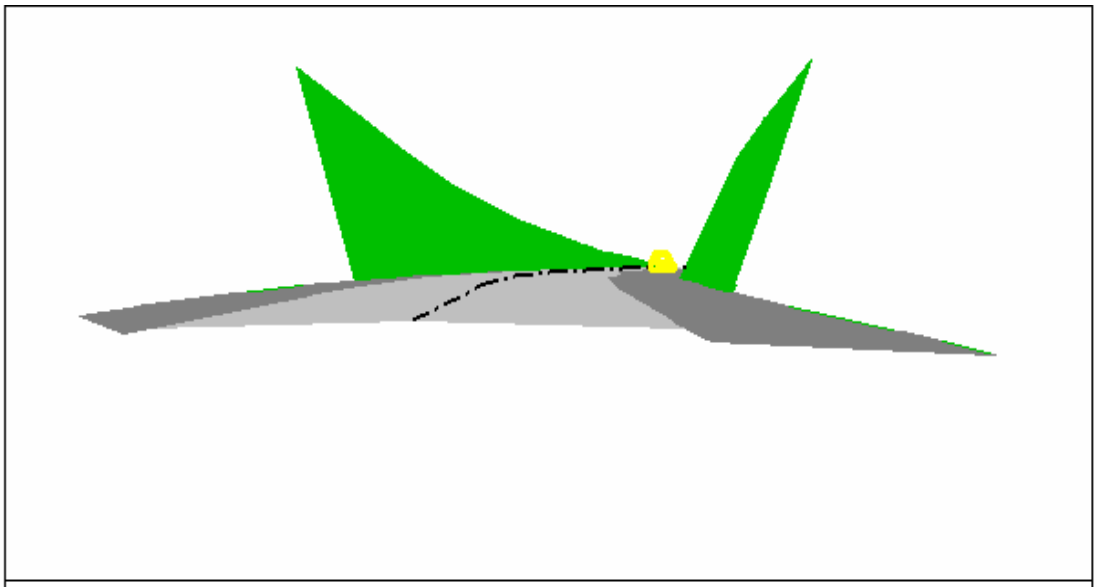
179.178

159.269

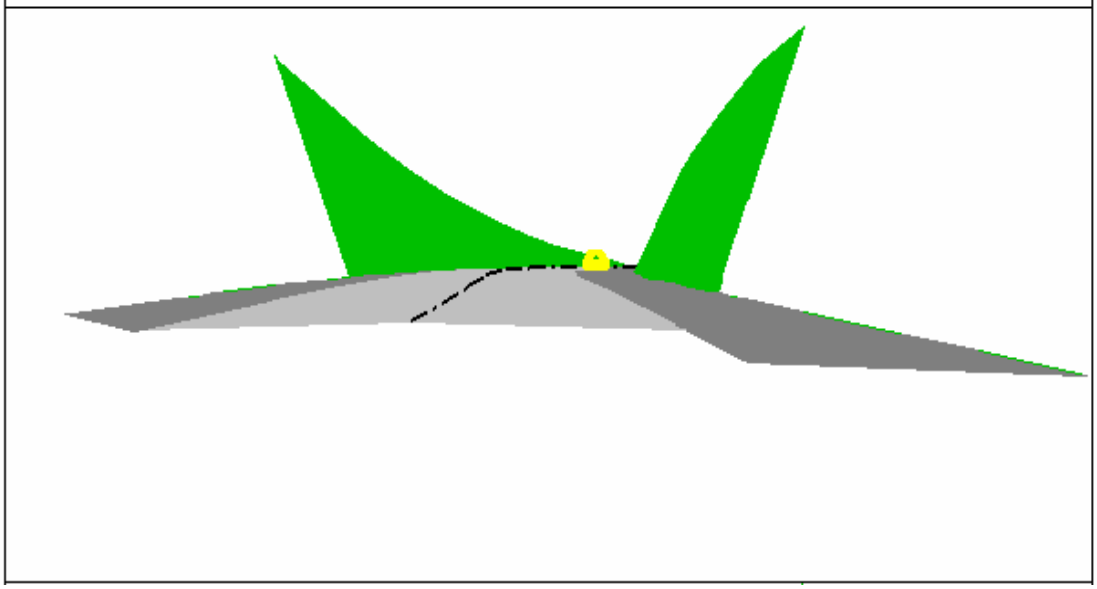


218.995

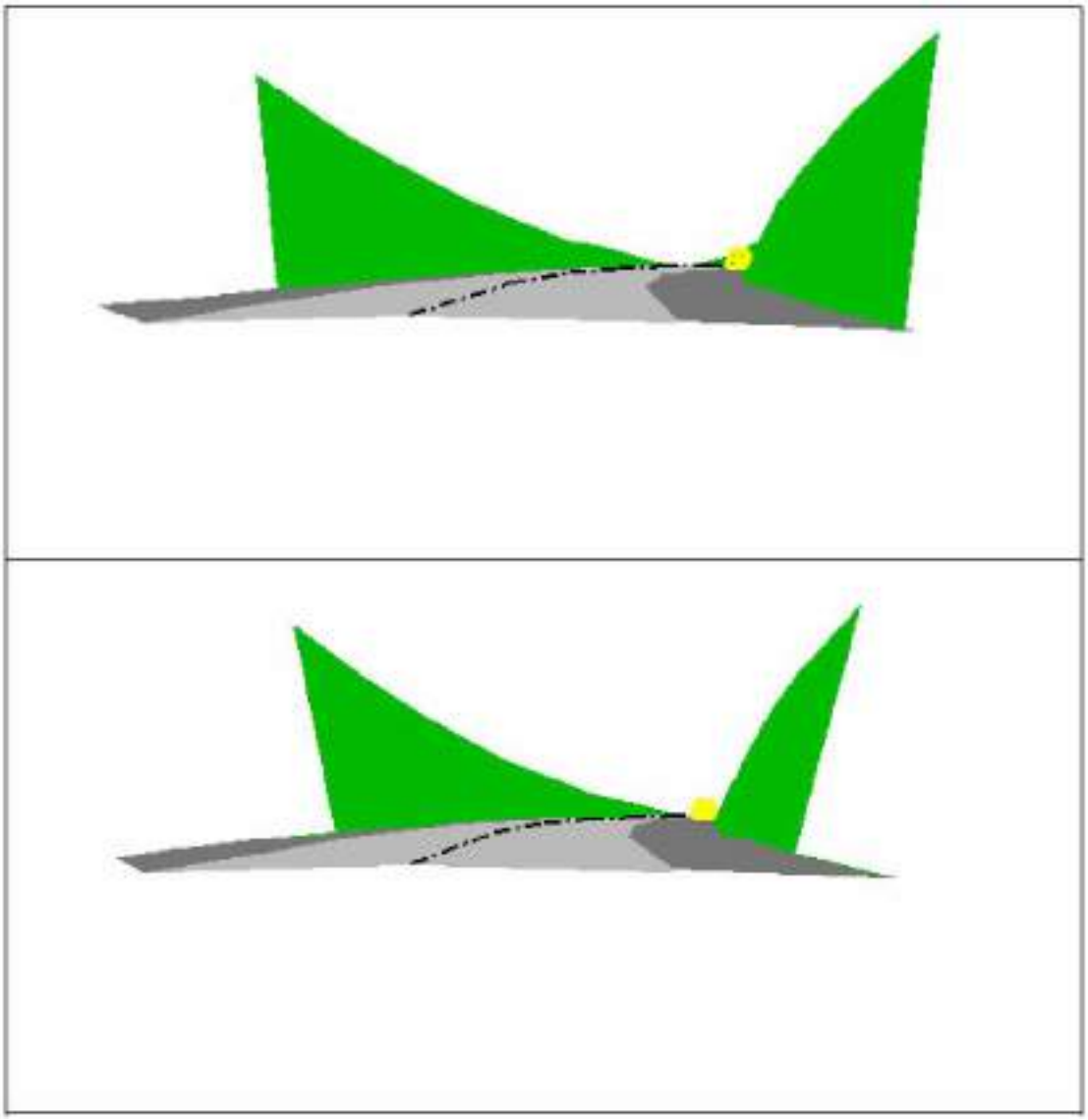
199.086



258.812

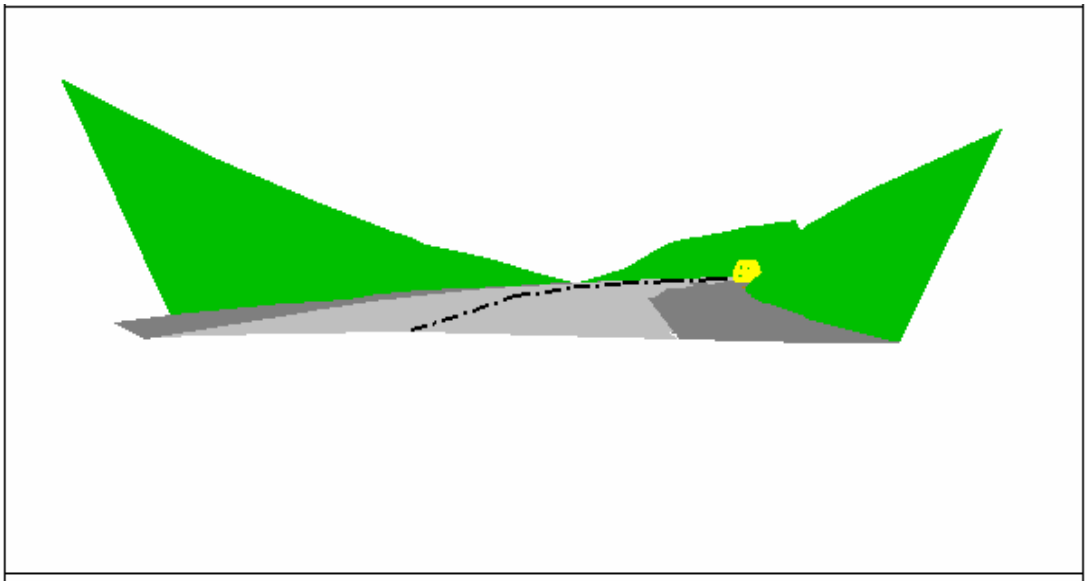


238.904

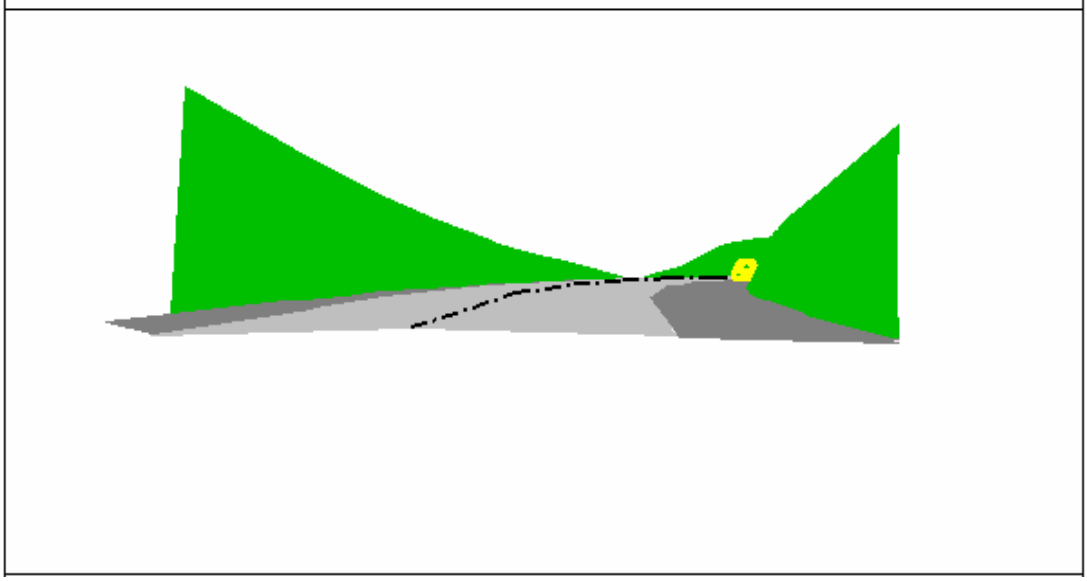


298.530

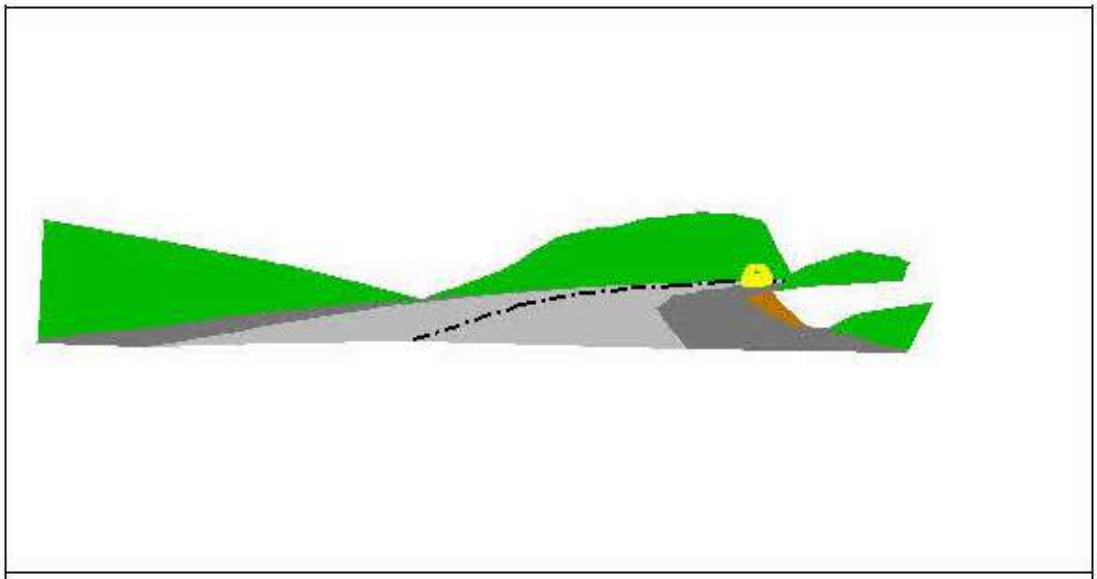
278.721



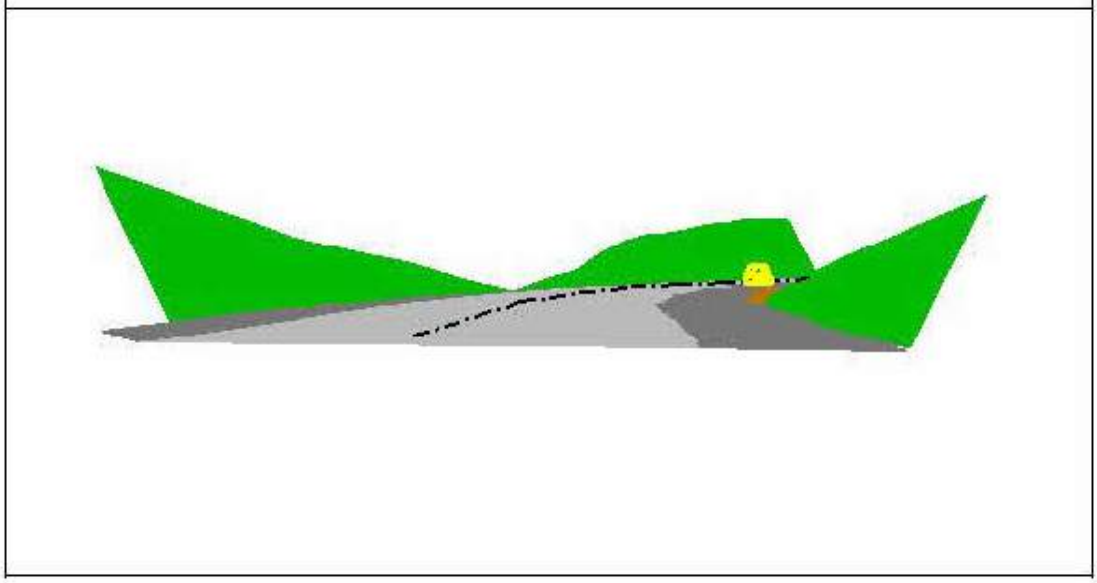
338.447



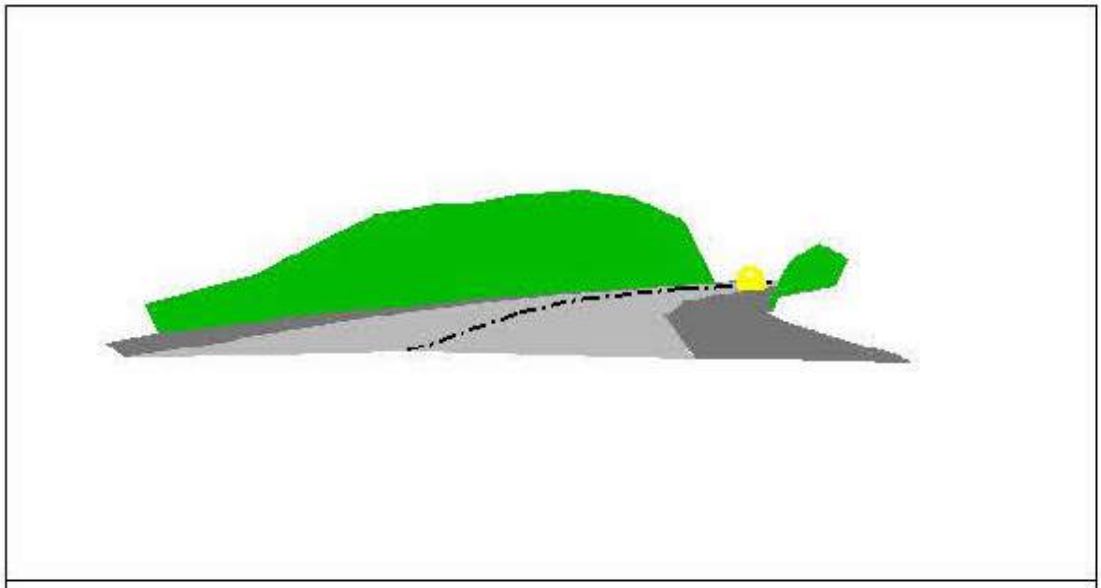
318.538



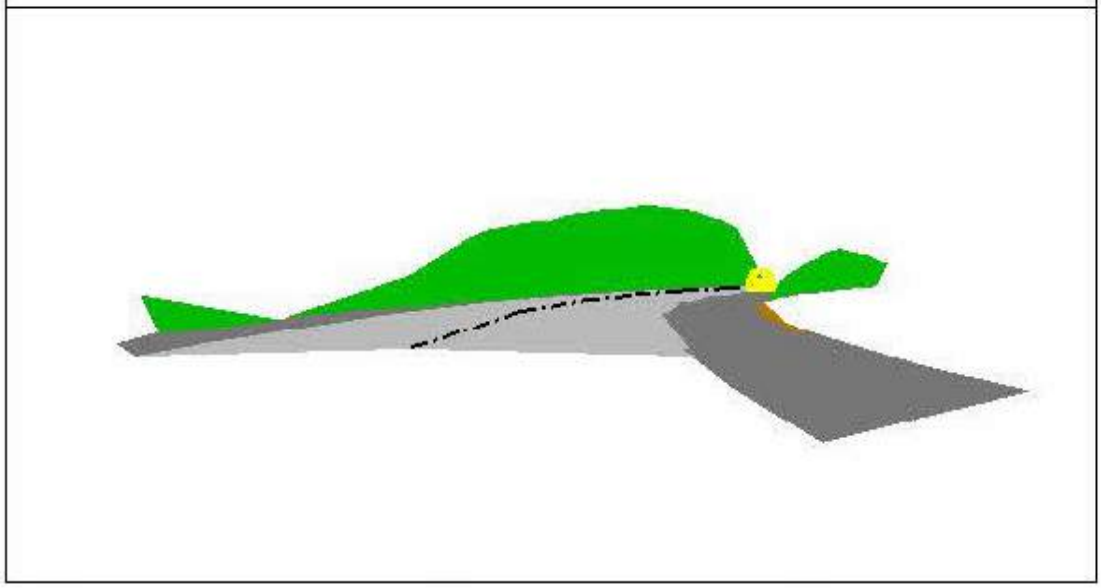
378.264



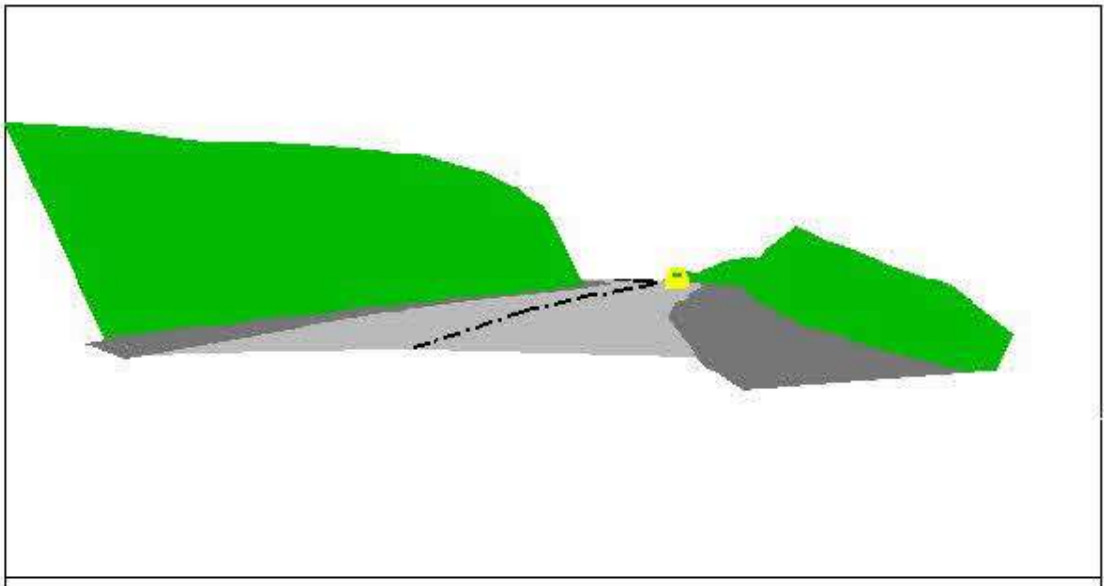
358.356



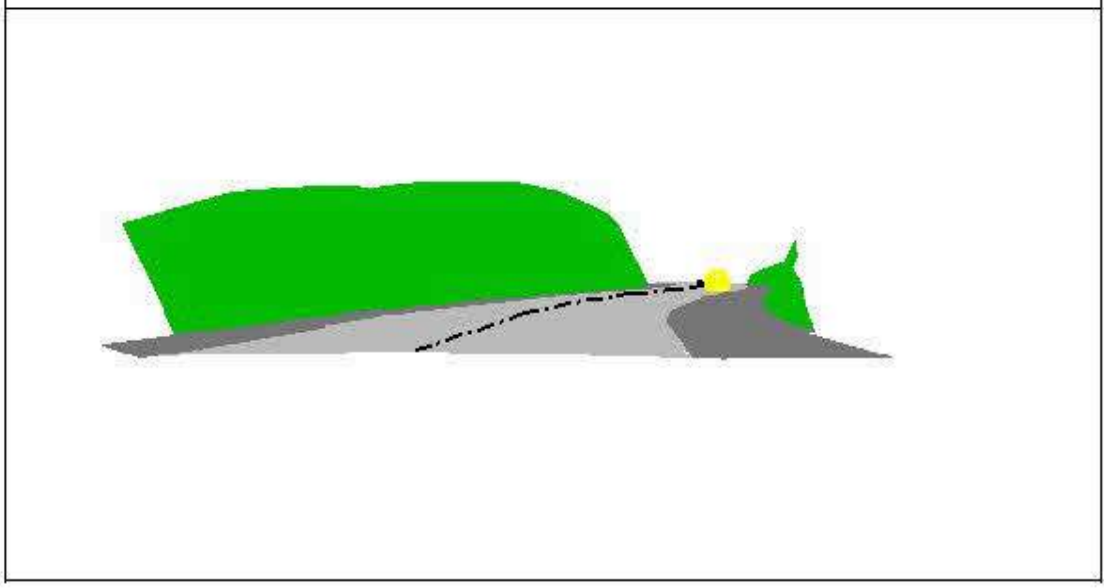
418.082



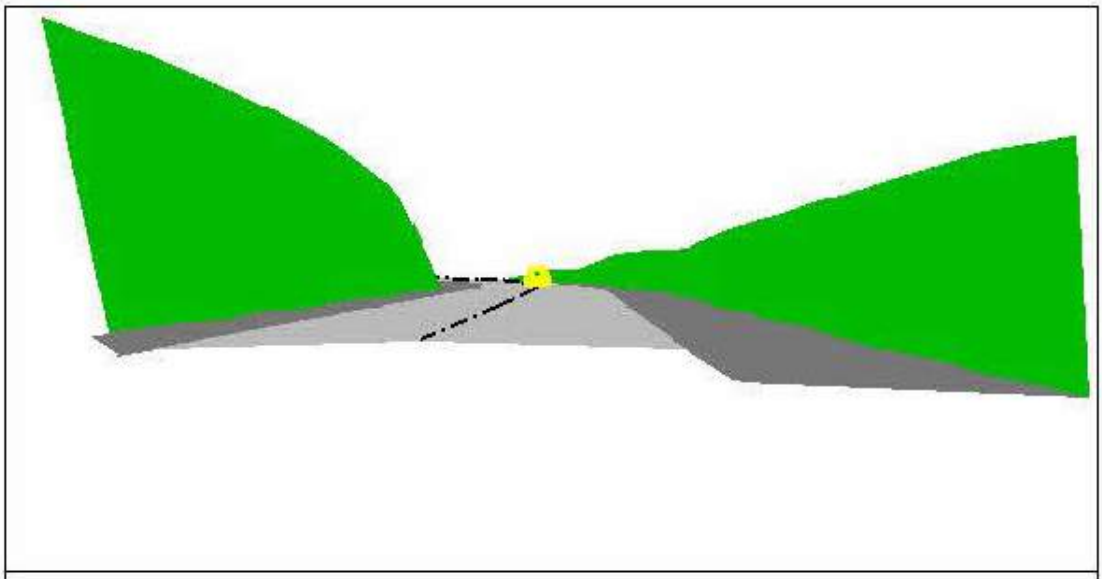
398.173



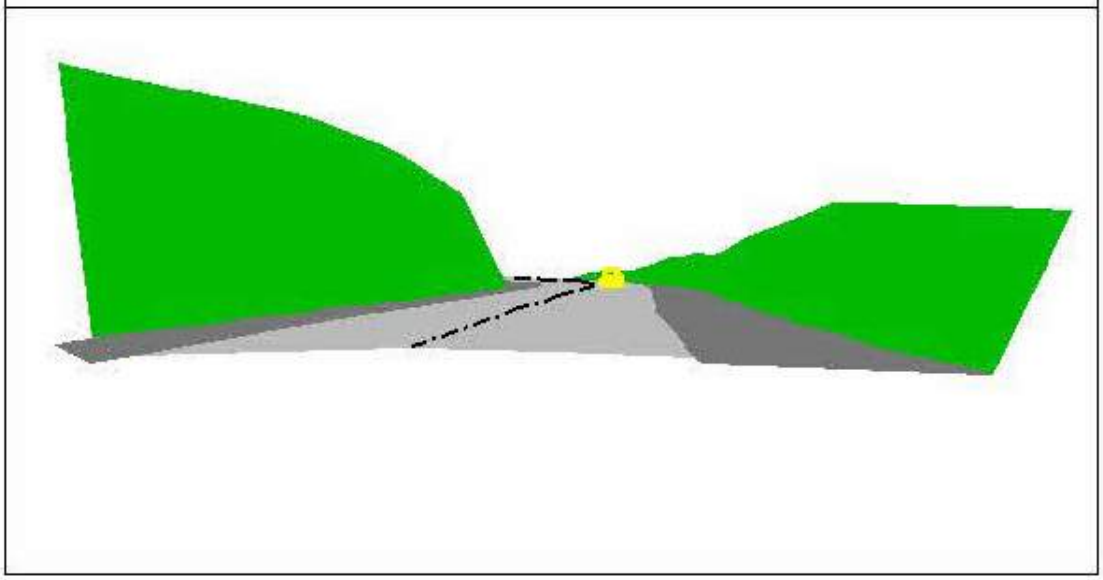
457.899



437.990



497.716



477.807

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάσθηκαν και αναλύθηκαν οι υποδείξεις των σύγχρονων οδηγιών της οδοποιίας σχετικά με τη μορφή των οδών στο χώρο και το συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, καθώς και στοιχεία που έχουν προκύψει από ανεξάρτητες συναφείς έρευνες και από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες του Ε.Μ.Π. σχετικά με την τρισδιάστατη απεικόνιση της χάραξης. Ακόμη, παρουσιάσθηκαν εν συντομία οι διατάξεις των σύγχρονων Γερμανικών και Αμερικανικών οδηγιών, καθώς και των ΟΜΟΕ, αναφορικά με το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση. Στη συνέχεια, συντάχθηκαν αλγόριθμοι με κύριο στόχο τη δημιουργία προγράμματος που θα παράγει προοπτικές εικόνες των υπό μελέτη οδών, οι οποίες θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη όχι μόνο να αντιλαμβάνεται και να αξιολογεί τη μορφή των οδών στο χώρο ούτως ώστε να διορθώνει έγκαιρα τυχόν λάθη στον τρισδιάστατο σχεδιασμό, αλλά και να ελέγχει οπτικά την ύπαρξη ή όχι των απαιτούμενων αποστάσεων ορατότητας για στάση σε κάθε σημείο αυτών. Ακολούθως, παρουσιάσθηκε, αναλύθηκε και επεξηγήθηκε η μεθοδολογία στην οποία βασίστηκε η δημιουργία του νέου αυτού προγράμματος και αναπτύχθηκαν και επεξηγήθηκαν οι εντολές από τις οποίες αποτελούνται οι αλγόριθμοι που συντάχθηκαν. Ακόμη, περιγράφηκε η λειτουργία και ο τρόπος χειρισμού του Η8, του λογισμικού οδοποιίας στο περιβάλλον του οποίου εντάσσεται και λειτουργεί το νέο πρόγραμμα. Μετά την ολοκλήρωσή του, το νέο πρόγραμμα προοπτικής απεικόνισης των οδών εφαρμόστηκε σε έναν αριθμό οδικών τμημάτων που δημιουργήθηκαν από τη γράφουσα με χρήση των υπόλοιπων προγραμμάτων του Η8, καθώς και σε μια πραγματική υπό μελέτη οδό. Οι σχετικές προοπτικές εικόνες περιέχονται στο Κεφάλαιο 5 της διπλωματικής εργασίας.

Από τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, από την ενασχόληση με τα προγράμματα του Η8, από τη διαδικασία της σύνταξης των νέων αλγορίθμων και από τη μελέτη και αξιολόγηση των προοπτικών εικόνων που παράγονται με τη βοήθεια του νέου προγράμματος που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας, έγινε σαφές πως οι μελετητές δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υποτιμούν τη σημασία του σωστού συνδυασμού της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της οδού. Δεν πρέπει να εξετάζουν ξεχωριστά τα βασικά σχέδια που παράγονται κατά τη μελέτη μιας οδού (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, διατομές) αλλά να τα μελετούν συνδυαστικά, ώστε να μπορούν να αντιλαμβάνονται και να αξιολογούν τη μορφή της οδού στο χώρο. Ωστόσο, η συνδυαστική μελέτη των παραπάνω επιμέρους σχεδίων δεν αρκεί. Ο διεξοδικός έλεγχος της χάραξης στο χώρο είναι δυνατός μόνο με προοπτικές εικόνες, οι οποίες θα πρέπει να καταρτίζονται για το εκάστοτε προς αξιολόγηση οδικό τμήμα. Η μόνη προοπτική απεικόνιση που είναι κατάλληλη για την ορθή αξιολόγηση της εικόνας μιας οδού στο χώρο, είναι η απεικόνιση από τη θέση του οδηγού.
- Μετά από αναζήτηση πληροφοριών στο διαδίκτυο, διαπιστώθηκε πως τα κυριότερα λογισμικά οδοποιίας που χρησιμοποιούνται ευρέως από τους Έλληνες μελετητές, έχουν τη δυ-

νατότητα παραγωγής προοπτικών εικόνων, ακόμη και βίντεο που προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στα εκάστοτε προς αξιολόγηση οδικά τμήματα. Ελαχιστοποιούν τον κόπο των μελετητών, σε αντίθεση με παλαιότερες εκδόσεις τους που απαιτούσαν πολύ χρόνο από αυτούς, και δίνουν τη δυνατότητα άμεσης εξαγωγής προοπτικών εικόνων για περισσότερες από μία εναλλακτικές προτάσεις συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής των υπό μελέτη οδών.

- Το πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας H8, το οποίο προορίζεται κατά κύριο λόγο για την εξοικείωση των σπουδαστών του Ε.Μ.Π με ένα λογισμικό οδοποιίας και με τη λογική που διέπει τις μελέτες των οδών, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των σπουδαστών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη οποιασδήποτε οδού. Πρόκειται για ένα λογισμικό πολύ εύκολο στη χρήση, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα σε ανθρώπους μη έμπειρους και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις Η/Υ να το χρησιμοποιήσουν. Η συχνή χρήση παραθύρων διαλόγου και εμφάνισης αποτελεσμάτων καθιστούν το ίδιο πολύ φιλικό προς το χρήστη και τα αποτελέσματά του άμεσα κατανοητά. Η χρήση ελληνικής γλώσσας αποτελεί ένα επιπλέον σημαντικό και ελκυστικό στοιχείο του λογισμικού αυτού. Το H8 διαθέτει ένα πολύ φιλικό περιβάλλον εργασίας. Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται σε απλά αρχεία τύπου *.xls, ενώ όλο το κεντρικό μενού συνίσταται σε ένα απλό λογιστικό φύλλο. Το άνοιγμα όλων των αρχείων δεδομένων ή αποτελεσμάτων, το άνοιγμα των σχεδίων, καθώς και το “τρέξιμο” όλων των προγραμμάτων γίνεται αυτόματα με ένα απλό πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου στο κεντρικό μενού. Τέλος, το H8 συνεργάζεται με δύο σχεδιαστικά προγράμματα, το Autocad της Autodesk και το Microstation της Bentley, καλύπτοντας έτσι ένα ευρύ πεδίο χρηστών από πλευράς γνώσεων σχεδιαστικών προγραμμάτων και ένα ευρύ πεδίο σχεδιαστικών δυνατοτήτων.
- Είναι αδιαμφισβήτητο πως η εισαγωγή στοιχείων φωτορεαλισμού σε μια προοπτική εικόνα οδού, την καθιστά πιο ρεαλιστική και πιο κατάλληλη για παρουσίαση και αξιολόγηση, καθώς εμπεριέχει όλες τις πληροφορίες που λαμβάνει ο οδηγός κατά την οδήγησή του σε αυτή. Οι προοπτικές εικόνες που παρήχθησαν με τη βοήθεια του νέου προγράμματος προοπτικής απεικόνισης των οδών που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν υπέστησαν τέτοιου είδους επεξεργασία. Ωστόσο, η μελέτη αυτών οδήγησε στο συμπέρασμα πως η μορφή των οδών στο χώρο, τα τυχόν ανεπιθύμητα φαινόμενα λόγω λανθασμένου συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής ή το ευχάριστο και ασφαλές τρισδιάστατο αποτέλεσμα που προέρχεται από τον ορθό συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, σε συνδυασμό πάντα με τον περιβάλλοντα χώρο, γίνονται πλήρως αντιληπτά μέσα από απλές προοπτικές εικόνες, ακόμη και χωρίς την εισαγωγή στοιχείων φωτορεαλισμού.
- Διαπιστώθηκε πως η γρήγορη εναλλαγή προοπτικών εικόνων από διαδοχικές θέσεις του οδηγού πάνω στην οδό (δημιουργία βίντεο ή/και προσομοίωση της διαδικασίας της οδήγησης σε πραγματικό χρόνο) μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη πιο ολοκληρωμένη αντίληψη της τρισδιάστατης μορφής της οδού και του περιβάλλοντός της. Το νέο πρόγραμμα προοπτικής απεικόνισης των οδών που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν έχει τη δυνατότητα παραγωγής βίντεο. Ωστόσο, προσφέρει τη δυνατότητα γρήγορης εναλλαγής των προοπτικών εικόνων της οδού, όπως την αντιλαμβάνεται ο οδηγός από κάθε θέση κατά την κίνησή του σε αυτή, δίνοντας την αίσθηση πως η εικόνα είναι κινούμενη και δίνοντας τη δυνατότητα αντίληψης των πλεονεκτημάτων της κίνησης αυτής.

- Τέλος, η μελέτη των προοπτικών εικόνων που παρήχθησαν με τη βοήθεια του νέου αυτού προγράμματος, καθιστά σαφές το γεγονός πως ο οπτικός έλεγχος της ορατότητας για στάση μέσα από μία προοπτική εικόνα, αποτελεί, αδιαμφισβήτητα, τον πιο άμεσο και ολοκληρωμένο τρόπο τεκμηρίωσης της εξασφάλισης ή όχι της απαιτούμενης ορατότητας για στάση στις 3 διαστάσεις και σε κάθε σημείο της οδού. Αυτός ο τρόπος ελέγχου πλεονεκτεί σε σχέση με τα συνηθισμένα διαγράμματα ορατότητας που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό, καθώς δίνει άμεσα τη δυνατότητα στο μελετητή να δει στο χώρο τα οδικά τμήματα ή τα μεμονωμένα σημεία όπου η διαθέσιμη ορατότητα για στάση δεν επαρκεί, αλλά και να εντοπίσει τους λόγους περιορισμού της ορατότητας.

6.2 Προτάσεις

Ακολουθούν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, προτάσεις που αφορούν στη μελλοντική αξιοποίηση των προοπτικών εικόνων που παράγονται με τη βοήθεια του νέου προγράμματος προοπτικής απεικόνισης των οδών, καθώς και στη βελτίωση και επέκταση του προγράμματος αυτού.

- Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προτάθηκε από τον επιβλέποντα η χρήση του νέου προγράμματος “Προοπτικό”, προκειμένου να αντικατασταθούν τα σκαριφήματα που εμπεριέχονται στα κεφάλαια της τρισδιάστατης χάραξης των σημειώσεων του Ε.Μ.Π για τα μαθήματα της Οδοποιίας από σύγχρονες και ακριβείς προοπτικές εικόνες. Μια τέτοια αρχική προσπάθεια δημιουργίας προοπτικών εικόνων που αντιστοιχούν στις κυριότερες περιπτώσεις συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που επισημαίνονται στις διεθνείς οδηγίες, έγινε από τη γράφουσα. Οι σχετικές προοπτικές εικόνες παρατίθενται στην § 5.2 της διπλωματικής εργασίας.
- Όσον αφορά στη βελτίωση του νέου προγράμματος “Προοπτικό”, προτείνεται η εισαγωγή στον αλγόριθμο της έννοιας της γωνίας όρασης (βλ. Κεφάλαιο 3), ούτως ώστε τα όρια του πεδίου ορατότητας του οδηγού να καθορίζονται με ακρίβεια.
- Προτείνεται η επέκταση του νέου προγράμματος, με στόχο τον εμπλουτισμό των εξαγόμενων προοπτικών εικόνων με την απεικόνιση μιας κεντρικής νησίδας, παρόδιων τεχνικών έργων, τυχόντων στηθαίων ασφαλείας και άλλων οδικών στοιχείων που θα ολοκληρώσουν τη μορφή της οδού στο χώρο, καθώς και περισσότερων του ενός οχήματα μπροστά από τον οδηγό. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει επεμβάσεις και στα υπόλοιπα προγράμματα του Η8.
- Προτείνεται η επέκταση του νέου προγράμματος, σε συνδυασμό με την επέκταση του προγράμματος “Ορατότητες”, με στόχο την απεικόνιση στις παραγόμενες προοπτικές εικόνες ενός οχήματος στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας και σε απόσταση από τον οδηγό ίση με την απαιτούμενη απόσταση ορατότητας για προσπέραση. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης του προγράμματος θα έχει τη δυνατότητα οπτικής και άμεσης τεκμηρίωσης της εξασφάλισης ή όχι της απαιτούμενης απόστασης ορατότητας για προσπέραση σε κάθε θέση του οδηγού και τη δυνατότητα αξιολόγησης αυτής ως προς την παράμετρο αυτή.
- Προτείνεται, επίσης, η επέκταση του νέου προγράμματος με στόχο την παραγωγή προοπτικών εικόνων για την κίνηση του οδηγού και στις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας. Προς το παρόν, το πρόγραμμα παράγει προοπτικές εικόνες μόνο για κίνηση του οδηγού στην κατεύθυνση από τη θεωρούμενη κατά το σχεδιασμό μηδενική χιλιομετρική θέση της οδού έως τη θεωρούμενη τελευταία χιλιομετρική της θέση. Ωστόσο, είναι σαφές πως η εικόνα

της οδού που αντιλαμβάνεται ένας οδηγός κινούμενος στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας, ενδέχεται να είναι τελείως διαφορετική.

- Ακόμη, προτείνεται η ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων προκειμένου το "Προοπτικό", πέρα από την παραγωγή προοπτικών εικόνων των υπό μελέτη οδών, να έχει τη δυνατότητα ελέγχου της χάραξής τους στο χώρο, σύμφωνα με τις διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών της οδοποιίας, λαμβάνοντας υπόψη και τυχόν νέα δεδομένα που έχουν προκύψει από ανεξάρτητες έρευνες. Αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης τέτοιων αλγορίθμων έχουν γίνει στις παλαιότερες Δ.Ε. του Α. Δραγομάνοβιτς [23] και του Ν. Τράκου [32].
- Τέλος, όσον αφορά στην επεξεργασία των προοπτικών εικόνων που παράγει το "Προοπτικό", προτείνεται η επεξεργασία τους με τη βοήθεια των κατάλληλων σχεδιαστικών εργαλείων, προκειμένου να γίνουν φωτορεαλιστικές, κάτι που δεν επιχειρήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας (αναπαράσταση ουρανού, παρουσίαση φωτοσκιάσεων, προσομοίωση του ηλιακού φωτός κ.ο.κ.). Ακόμη, προτείνεται η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων κινούμενης εικόνας (Animation) που προσφέρουν οι νέες εκδόσεις των σχεδιαστικών προγραμμάτων Autocad και Microstation με τα οποία συνεργάζεται το Η8, αλλά και της συμβατότητας αυτών των δύο με προγράμματα χειρισμού εικόνας όπως το 3D Studio Max και το Model View, αντίστοιχα. Ένας γνώστης των προγραμμάτων αυτών μπορεί, με βάση τις εικόνες που παράγει το "Προοπτικό", να εξάγει μικρά animation (βίντεο) που θα προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στα εκάστοτε οδικά τμήματα και θα δίνουν τη δυνατότητα μιας πιο ολοκληρωμένης αντίληψης για τη χάραξη στο χώρο. Η διαδικασία εξαγωγής βίντεο, θα μπορούσε στο μέλλον να αυτοματοποιηθεί σε ένα βαθμό από το "Προοπτικό", ώστε να μην απαιτείται τόσος κόπος και χρόνος από την πλευρά του χρήστη.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. **AASHTO,** "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 2004.
2. **Alexander, G. J., Lunenfeld, H. (1986).** "Driver Expectancy in Highway Design and Traffic Operations", Report FHWA-TO-86-1. FHWA, Office of Traffic Operations, Department of Transportation.
3. **Armstrong, A.**, **Gilson, K. (2007)** "Using design visualization technologies to improve the highway design process", TRB 2008.
4. **Austroads 2009, "**Guide to Road Design".
5. **Bidulka, S., Sayed, T., Hassan, Y. (2002)** "Influence of Vertical Alignment on Horizontal Curve Perception", Transportation Research Record 1796, Paper No. 02-2166, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 12-23.
6. **Cron F. W. (1959).** "The art of fitting the highway to the landscape". The highway and the landscape, W. B. Snow, ed, Rutgers University Press, New Brunswick, N.J., 78-109.
7. **Dragomanovits, A**. **and Kanellaidis, G. (2007)** "Driver perception of horizontal curvature in sag vertical curves", International Conference, Road Safety and Simulation, RSS 2007, Rome, Italy.
8. **Hassan, Y.**, **Easa, S. M., Abd El Halim, A.O. (1996)** "Analytical model for sight distance analysis on 3-D highway alignments", Transportation Research Record 1523, National Research Council, Washington D. C., pp. 1-10.
9. **Hassan, Y.**, **Easa, S. M., Abd El Halim, A.O. (1997) "**Modeling headlight sight distance on 3-D highway alignments", Transportation Research Record 1579, National Research Council, Washington D. C., pp. 79-88.
10. **Hassan, Y.**, **Easa, S. M., Abd El Halim, A.O. (1998)** "State-of-the-art of three-dimensional highway geometric design", Canadian Journal of Civil Engineering, **25:** 500-511.
11. **Hassan, Y.**, **Easa, S. (1998)** "Design Considerations of Sight Distance Red Zones on Crest Curves", Journal of Transportation Engineering, Vol. 124, No. 4, Paper 15571.
12. **Janikula, T. and Garrick, N. W. (2002)** "Three-Dimensional Visualization Approach to Illustrate Esthetic Concepts for Highway Design", Transportation Research Record 1796, Paper No. 02-3677, pp. 35-40.
13. **Kanellaidis, G. (1996).** "Human Factors in Highway Geometric Design", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 1, pp. 59-66.
14. **Ketvirtis, A. and Cooper, P. J. (1997). "**Detection of Critical Size Object as a Criterion for Determing Driver's Visual Needs". Presented at 76th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D. C., January 1977. Quoted in Kahl and Fambro 1995 and Olson et al (1984).
15. **"Practical Highway Esthetics",** American Society of Civil Engineers, New York, USA, 1977.
16. **Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA (Έκδοση 2008).** (Ελληνική μετάφραση)

17. **Road Safety Manual.** "PIARC technical committee on road safety", 2003.
18. **Sanchez, E. (1994)** "A 3-dimensional analysis of sight distance on interchange connectors", Transportation Research Record 1445, National Research Council, Washington D. C., pp. 101-108.
19. **Sarhan. M., Hassan. Y. (2007).** "Three-Dimensional, Probabilistic Highway Design: Sight Distance Application", TRB 2008, Paper 2008-1153.
20. **Smith, B. and Lamn, H. R. (1993)** "Coordination of Horizontal and Vertical Alignment with Regard to Highway Esthetics". Transportation Research Record 1445, pp. 73-85.
21. **Taiganidis, I. And Kanellaidis, G. (1999)** "Approximate perspective design of roads", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 314-323.
22. **Zakowska, L. (1999)** "Road curve evaluation based on view perception study", Transportation Research Record 1689, Paper No. 99-1503, pp. 68-72.
23. **Δραγομάνοβιτς, Α. "**Ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου της χάραξης οδών στο χώρο", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2000.
24. **Κανελλαΐδης, Γ., Μαλέρδος, Γ., Καλτσούνης, Α., Γλαρός, Γ.** "Σημειώσεις για το γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2008.
25. **Κανελλαΐδης, Γ.**, **Δραγομάνοβιτς, Α.** "Χάραξη της οδού στο χώρο", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2007.
26. **Κοφιτσάς, Ι.** "Αισθητικοί κανόνες για το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων", Αθήνα 1986.
27. **Μπιμπάκης, Ι.** "Προοπτική απεικόνιση οδών", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 1998.
28. **Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ).** Έκδοση 2001, Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ).
29. **Πασχούδης Σ.** "Διερεύνηση αποστάσεων ορατότητας σε υπεραστικές οδούς και ανάπτυξη λογισμικού", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2009.
30. **Ταϊγανίδη, Ε.** "Προοπτική απεικόνιση της χάραξης των οδών και αντίληψη των οδηγών για τη χάραξη στο χώρο", Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 1998.
31. **Ταϊγανίδης, Ι.** "Συμβολή στη διερεύνηση της απόστασης ορατότητας για στάση σε κυρτές καμπύλες μηκοτομής", Διατριβή για τον επιστημονικό τίτλο του διδάκτορος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Απρίλιος 1998.
32. **Τράκος, Ν.** "Προοπτική απεικόνιση της χάραξης οδών με χρήση προγραμμάτων Η/Υ", Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 1995.
33. http://en.wikipedia.org/wiki/Line-plane_intersection
34. http://imola.odos.gr/odos/p30/odos8.htm
35. http://anadelta.com/gr/index.php?selection=3D
36. http://www.diolkos3d.com/diolkos_in_brief_en.htm
37. http://images.autodesk.com/adsk/files/autocad_civil3d_brochure.pdf