



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ



Τεχνολογίες Οπτικοποίησης στη Μελέτη Οδικών Έργων

Διπλωματική Εργασία

Ονοματεπώνυμο Σπουδαστή:
Λιονουδάκης Παύλος
Α.Μ.: 01105638

Μάρτιος 2018

Επιβλέπων Καθηγητής:
Λοΐζος Ανδρέας
Συνεπιβλέπων Καθηγητής:
Μερτζάνης Φώτης

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να προσδιορίσει ποιοι συνδυασμοί στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής δημιουργούν προοπτικά προβλήματα στην τρισδιάστατη χάραξη του οδικού έργου καθώς και να αναδείξει τους τρόπους μέσω των οποίων η χρήση των σύγχρονων δυνατοτήτων οπτικοποίησης της χάραξης μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την αντιμετώπισή τους. Προς αυτόν τον στόχο, μελετήθηκαν οι κανονισμοί διαφόρων χωρών προκειμένου να διευκρινιστούν οι προβληματικές περιπτώσεις, μελετήθηκαν και επεξηγήθηκαν οι διάφορες τεχνικές οπτικοποίησης και διερευνήθηκαν οι επιλογές λογισμικού οι οποίες είναι διαθέσιμες στον σημερινό μηχανικό. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μία απλοποιημένη μεθοδολογία δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων και προοπτικών απεικονίσεων των χαράξεων καθώς και τέσσερις δοκιμαστικές χαράξεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να δείξουν τον τρόπο εντοπισμού και αντιμετώπισης των σημαντικότερων προβλημάτων τα οποία εντοπίστηκαν από την διεθνή βιβλιογραφία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Τεχνολογίες Οπτικοποίησης, Μοντελοποίηση, Προοπτικές Αποδόσεις, Τρισδιάστατος Σχεδιασμός, Οπτικές Παραμορφώσεις, Μήκος Ορατότητας

ABSTRACT

The objective of this diploma thesis is to attempt to pinpoint which particular combinations between the plan and profile views of a road project can cause perspective problems in the three – dimensional alignment of the road as well as to highlight in which ways the use of most modern visualization technologies can help in identifying and addressing them. Towards this goal, the rules and regulations of various countries have been studied in order to clarify the problematic cases, a short analysis and explanation was done on some core concepts and techniques of most visualization methods and the software options that are available to today's engineers were investigated and researched. Subsequently, a simplified methodology was developed for the creation of three – dimensional models and perspective renderings of road layouts as well as four experimental road layouts which were utilized to showcase the detecting and solving methods for the most dangerous of the problems discussed in the international bibliography.

KEY WORDS:

Visualization Technologies, 3d Modelling, Perspective Renderings, Three – dimensional alignment, Optical Distortions, Length of Visibility

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σημαντικότερος στόχος σε οποιαδήποτε μελέτη μηχανικού είναι η ασφάλεια στο σχεδιασμό. Η τήρηση των ελαχίστων και μέγιστων τιμών οι οποίες καθορίζονται από τους διεθνείς κανονισμούς για τα μεγέθη της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής κατά την μελέτη ενός οδικού έργου εξασφαλίζει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων την διατήρηση ενός ικανοποιητικού επιπέδου ασφαλείας. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως οι κανονισμοί αγνοούν τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργήσουν τυχόν εσφαλμένοι συνδυασμοί της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής στην οπτική καθοδήγηση της οδού. Στα θέματα της εξασφάλισης επαρκούς μήκους ορατότητας και της εξασφάλισης συνοχής στο σχεδιασμό παρατηρείται μια συνεχιζόμενη προσπάθεια ανάπτυξης νέων κανονισμών στις περισσότερες χώρες με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από το μηχανικό διότι τα προβλήματα αυτά είναι δύσκολο να εντοπιστούν και το πλαίσιο κανόνων είναι ακόμη υπό μελέτη.

Σε αυτά τα ζητήματα προσφέρουν μεγάλη βοήθεια οι σύγχρονες τεχνολογίες και δυνατότητες οπτικοποίησης της χάραξης, οι οποίες βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές στα έργα μηχανικού καθώς και εκτός της μελέτης. Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να εντοπίσει τους προαναφερθέντες προβληματικούς συνδυασμούς και να δείξει πως η οπτικοποίηση βοηθάει στον εντοπισμό και την αντιμετώπισή τους. Δευτερευόντως να προταθούν κάποια προγράμματα λογισμικού και να δημιουργηθεί μία απλοποιημένη μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων. Η μεθοδολογία της εργασίας περιλαμβάνει βιβλιογραφική ανασκόπηση, μελέτες περίπτωσης και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων για την απεικόνιση των προβλημάτων. Η εργασία χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη, τον εντοπισμό των προβληματικών περιπτώσεων (Κεφάλαιο 2), την τεχνική ανάλυση των τεχνολογιών οπτικοποίησης (Κεφάλαια 3&4) και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και το σχολιασμό τους (Κεφάλαια 5&6).

Στο πρώτο μέρος της εργασίας διερευνώνται η ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία ώστε να προσδιοριστούν οι κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται από τους κανονισμούς κάθε χώρας καθώς και τα προβλήματα στο σχεδιασμό που αναφέρονται και να κατηγοριοποιηθούν τα τελευταία ανάλογα με την επικινδυνότητά τους και την ευκολία με την οποία εντοπίζονται στο υπό μελέτη έργο.

Αρχικά αναλύονται οι βασικές αρχές σχεδίασης σχετικά με τον διαχωρισμό των οδών σε λειτουργικές κατηγορίες και την επιλογή της ταχύτητας μελέτης ώστε να προκύψουν οι οριακές τιμές των μεγεθών της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι γενικές οδηγίες χάραξης της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Έπειτα, προσδιορίζονται τα στοιχεία που επηρεάζουν την ασφάλεια με κυριότερο το μήκος ορατότητας το οποίο εξαρτάται άμεσα από τον συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Στη συνέχεια τονίζεται η σημασία της ύπαρξης ισορροπίας τόσο μεταξύ ευθυγραμμίας και καμπύλων τμημάτων της οριζοντιογραφίας όσο και μεταξύ των

στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής για μια επιτυχημένη χάραξη. Στους κανονισμούς όλων των χωρών που μελετήθηκαν τονίζεται επίσης η σημασία της σύμπτωσης των σημείων καμπής της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής για την αποφυγή οπτικών προβλημάτων στη χάραξη.

Ακόμη, προσδιορίζεται και σχολιάζεται η προοπτική εικόνα που δημιουργούν τα μεμονωμένα στοιχεία της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής καθώς και οι πιθανοί συνδυασμοί τους. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται μερικά πιθανά προβλήματα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό που έχουν να κάνουν με οπτικές παραμορφώσεις όπως το φαινόμενο των θλάσεων στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή και η δημιουργία της εντύπωσης τεθλασμένου καταστρώματος της οδού.

Στην πορεία όμως της ανάλυσης εντοπίζονται και προβλήματα πιο σύνθετης φύσεως τα οποία προκύπτουν από λανθασμένους συνδυασμούς της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής και έχουν ως αποτέλεσμα μέρος του οδοστρώματος να μην είναι ορατό από τον οδηγό του οχήματος. Τέτοια προβλήματα είναι η τοπική υπερύψωση, ο κυματισμός, το βύθισμα και το άλμα ή ασυνέχεια της οδού.

Λόγω της σύνθετης φύσης τους, τα συγκεκριμένα σφάλματα είναι δυσκολότερο να ανευρεθούν και να αντιμετωπιστούν καθώς φαίνονται μόνο από την οπτική πλευρά του οδηγού. Για το λόγο αυτό στα πλαίσια της έρευνας της παρούσης εργασίας δημιουργούνται στα επόμενα κεφάλαια τρισδιάστατα μοντέλα της κάθε περίπτωσης καθώς και προοπτικές απεικονίσεις των προβλημάτων αυτών με στόχο ναδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο οι πρόσφατες τεχνολογίες οπτικοποίησης μπορούν να βοηθήσουν στην εξεύρεση και επίλυση των σφαλμάτων αυτών.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας δίνονται σημαντικοί ορισμοί σχετικά με τον τομέα της οπτικοποίησης δεδομένων, επεξηγείται η τεχνική δημιουργίας των αποτυπώσεων και αναπτύσσεται μία κατά το δυνατόν απλοποιημένη μεθοδολογία παρασκευής των μοντέλων και τρισδιάστατων αποδόσεων ώστε να καταστεί δυνατόν για τον μέσο μελετητή μηχανικό να εκμεταλλευτεί τις συγκεκριμένες δυνατότητες.

Ως οπτικοποίηση δεδομένων χαρακτηρίζεται η προσπάθεια για τη γρήγορη και αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών μέσω σχημάτων και εικόνων. Η φύση του επαγγέλματος του μηχανικού καθιστούσε πάντα αναγκαία τη χρησιμοποίηση κάποιου είδους τεχνικής απεικόνισης για την μετάδοση των πληροφοριών. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στην ανάπτυξη πολλαπλών μεθόδων δημιουργίας τεχνικών σχεδίων με πιο πρόσφατη εξέλιξη της απόδοση απολύτως ρεαλιστικών τρισδιάστατων εικόνων μέσω υπολογιστή ή αλλιώς την τεχνική του φωτορεαλισμού.

Η διαδικασία παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών σε υπολογιστή χωρίζεται σε τρεις κύριες φάσεις. Η πρώτη φάση είναι αυτή της τρισδιάστατης μοντελοποίησης δηλαδή της αυτόματης ή χειροκίνητης παραγωγής των τρισδιάστατων μοντέλων τα οποία στη δεύτερη φάση θα διαταχθούν ανάλογα για να διαμορφώσουν την επιθυμητή σκηνή. Η τρίτη φάση είναι η απόδοση ή σύνθεση της εικόνας κατά την οποία εφαρμόζονται οι ανάλογες υφές και τα υλικά, υπολογίζεται ο φωτισμός και οι αντανακλάσεις και παράγεται το τελικό αποτέλεσμα. Το σημαντικότερο πρόβλημα κατά την απόδοση μίας εικόνας είναι ο υπολογισμός της συμπεριφοράς του φωτός καθώς αυτό καθορίζει την εμφάνιση όλων των αντικειμένων εντός της σκηνής. Έχουν

καταβληθεί προσπάθειες για την μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς του μέσω ολοκληρωματικών εξισώσεων, όμως η επίλυσή τους θα απαιτούσε τεράστιο και μη πρακτικό διάστημα χρόνου. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη δύο κύριων προσεγγίσεων στην τρισδιάστατη απόδοση γραφικών, την απόδοση σε πραγματικό χρόνο απλοποιώντας σε πολύ μεγάλο βαθμό το φωτισμό και τις σκιάσεις ώστε να μεγιστοποιηθεί η ταχύτητα απόδοσης, και την απόδοση σε μη πραγματικό χρόνο όπου δίνεται έμφαση στην ποιότητα και την πιστότητα του τελικού αποτελέσματος.

Κατόπιν ανάλυσης της διαθεσιμότητας λογισμικού στον τομέα του τρισδιάστατου σχεδιασμού και της προσβασιμότητας του μέσου χρήστη σε αυτό παρατηρήθηκε ότι, λόγω της πληθώρας λογισμικού σε κυκλοφορία, η επιλογή του μηχανικού δεν εξαρτάται πλέον από την διαθεσιμότητα του λογισμικού αλλά από προσωπικές προτιμήσεις. Εύκολα διαθέσιμες είναι πλέον κορυφαίες σουίτες δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, λογισμικά με εναλλακτικές προσεγγίσεις στον τρόπο δημιουργίας μοντέλων, λογισμικά ανοιχτού κώδικα, εφαρμογές με έμφαση στην αμεσότητα και την ευκολία χρήσης, ακόμη και εφαρμογές που εκτελούνται από περιβάλλον προγράμματος περιήγησης ή οι οποίες καλύπτουν πιο εξειδικευμένους στόχους. Βάσει κάποιων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που είναι αναγκαίο να περικλείει το πρόγραμμα σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό το πρόγραμμα AutoCAD της Autodesk.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας περιγράφεται η μεθοδολογία δημιουργίας των τρισδιάστατων μοντέλων των τεσσάρων προβληματικότερων συνδυασμών οριζοντιογραφίας – μηκοτομής οι οποίοι προσδιορίστηκαν νωρίτερα. Κατά τη διαδικασία κατασκευής των πειραματικών χαράξεων παρατηρήθηκε ότι η εναρμόνιση με τις επιταγές των κανονισμών περιορίζει σημαντικά τις πιθανότητες εμφάνισης προβλημάτων, χωρίς όμως να τα αποκλείει, γεγονός που τονίζει την αναγκαιότητα της προσεχτικής διερεύνησης της εκάστοτε χάραξης. Όλες οι χαράξεις που δημιουργήθηκαν στην πορεία της παρούσης εργασίας εναρμονίζονται με τους κανονισμούς, όμως και πάλι εμφανίζονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις των προβλημάτων του άλματος, του βυθίσματος, της τοπικής υπερύψωσης και του κυματισμού.

Στο πρώτο τμήμα του τέταρτου κεφαλαίου παρουσιάστηκε το λογισμικό οδοποιίας FM17 και οι κύριες λειτουργίες του, περιεγράφηκε η περιοχή που χρησιμοποιήθηκε για τις χαράξεις και αναπτύχθηκαν τα στοιχεία που τροφοδοτήθηκαν στο πρόγραμμα FM17 για τη δημιουργία των χαράξεων. Για το κάθε ένα από τα προβλήματα που μελετήθηκαν έγινε προσπάθεια για την ταυτοποίηση και αναπαράσταση των κυριότερων χαρακτηριστικών του και την πιστότερη αναπαραγωγή της τυπικής του οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε και αναλύθηκε η απλούστερη δυνατή μεθοδολογία δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων των χαράξεων μέσω των σχεδίων που παράγονται από το πρόγραμμα FM17. Περιεγράφηκε ο τρόπος προετοιμασίας των αρχείων και η απαλλαγή τους από τις περιττές πληροφορίες κρατώντας μόνο τις απαραίτητες, καθώς και η μέθοδος δημιουργίας των πέντε απαραίτητων επιφανειών, του μοντέλου εδάφους, του οδοστρώματος, της νησίδας, των χωματισμών και των

ερεισμάτων. Ακόμη αναπτύχθηκε ο συνδυασμός των δημιουργούμενων επιφανειών μεταξύ τους και η κατασκευή του τελικού μοντέλου. Παρουσιάστηκαν κάποιες δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης του ρεαλισμού και της πιστότητας αναπαράστασης του τρισδιάστατου μοντέλου, είναι όμως αξιοσημείωτο ότι το μοντέλο που παράγεται με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία καλύπτει τις περισσότερες ανάγκες του μελετητή και για την κατασκευή του απαιτούνται μόνο δέκα ήδη γνωστές εντολές του προγράμματος AutoCAD και μερικές ώρες, γεγονός που τονίζει ακόμη περισσότερο την προσιότητα των τρισδιάστατων απεικονίσεων στο σημερινό μηχανικό.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας αυτής παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της διερεύνησης η οποία αναπτύχθηκε παραπάνω. Η πρωταρχική παρατήρηση είναι ότι οι προβληματικοί συνδυασμοί οι οποίοι επιλέχθηκαν για να μελετηθούν δεν μπορούν να αναπαρασταθούν αποτελεσματικά μέσω μίας μόνο εικόνας αλλά θα ήταν αποτελεσματικότερη η αναπαράστασή τους με τη χρήση βίντεο καθώς ούτε δημιουργούνται ούτε επηρεάζουν ένα μονάχα σημείο αλλά την συνολική χάραξη της οδού και αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επικινδυνότητά τους το μήκος των κρυμμένων τμημάτων της οδού και ο χρόνος για τον οποίον αυτά παραμένουν κρυφά. Τα τμήματα βίντεο τα οποία παρήχθησαν στην πορεία της μελέτης εμπεριέχονται στα ηλεκτρονικά αρχεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στην έντυπη μορφή της εργασίας παρουσιάζονται τα παραδείγματα του άλματος (ασυνέχειας), του βυθίσματος, της τοπικής υπερύψωσης και του κυματισμού με χρήση συνεχόμενων φωτογραφιών από διαδοχικές χιλιομετρικές θέσεις. Στη συνέχεια επιχειρείται μία σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων απεικόνισης, της απεικόνισης μέσω των σχεδίων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, τη χρήση προοπτικών σκαριφημάτων με το χέρι και των τρισδιάστατων αποδόσεων με ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να μελετηθεί και να τονιστεί περαιτέρω η χρησιμότητα της ανάλυσης των οδικών έργων με χρήση προοπτικών αποδόσεων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Είναι εμφανής η αναγκαιότητα της μελέτης της προοπτικής εικόνας της οδού καθώς η πλειοψηφία των προβλημάτων στο σχεδιασμό δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν μόνο από την διερεύνηση των σχεδίων της μελέτης. Με την δημιουργία των προοπτικών εικόνων όλα τα ενδεχόμενα προβλήματα της χάραξης γίνονται πιο ορατά με αποτέλεσμα να διευκολύνεται ο εντοπισμός των προβληματικών περιοχών οι οποίες απαιτούν περαιτέρω μελέτη. Η ταχύτητα με την οποία είναι εφικτή σήμερα η δημιουργία των προοπτικών εικόνων διευκολύνει την πραγματοποίηση δοκιμών με στόχο την επίλυση των οπτικών προβλημάτων. Ακόμη η προοπτική απεικόνιση της χάραξης καθιστά δυνατή την προκαταρκτική εκτίμηση του μήκους ορατότητας σε διάφορα σημεία της οδού στο στάδιο της προμελέτης ή τον προσδιορισμό των τελευταίων λεπτομερειών της τελικής διαμόρφωσης όπως η τοποθέτηση της σήμανσης σε μεταγενέστερα στάδια της μελέτης. Η ανάλυση μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου εμφανίζει επίσης πολλαπλά εκπαιδευτικά και επικοινωνιακά πλεονεκτήματα καθώς διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματική και γρήγορη ανταλλαγή πληροφοριών και την περιγραφή οπτικών φαινομένων.

Πίνακας Περιεχομένων

ΣΥΝΟΨΗ	i
ABSTRACT	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
Πίνακας Περιεχομένων	vii
Πίνακας Εικόνων	ix
1 Εισαγωγή	1
1.1 Ανασκόπηση Αντικειμένου	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	5
1.3 Μεθοδολογία και Δομή Εργασίας	5
1.4 Σύνοψη Κεφαλαίου	7
2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	9
2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο	9
2.2 Έρευνα σε Διεθνείς Κανονισμούς	18
2.3 Συνοπτική Παρουσίαση Πιθανών Προβλημάτων	29
2.4 Σύνοψη Κεφαλαίου	30
3. Τεχνολογίες Οπτικοποίησης	31
3.1 Ορισμός	31
3.2 Επεξήγηση Τεχνικής	36
3.3 Ανάλυση Διαθεσιμότητας Λογισμικού	44
3.4 Επιλογή Λογισμικού για τους Σκοπούς της Εργασίας	47
3.5 Σύνοψη Κεφαλαίου	48
4. Μεθοδολογία Εργασίας	49
4.1 Δημιουργία Πειραματικών Χαράξεων Μέσω του Προγράμματος FM17	49
4.2 Δημιουργία Τρισδιάστατων Μοντέλων	69
4.3 Σύνοψη Κεφαλαίου	85
5. Αποτελέσματα Μελέτης	87
5.1 Αποτυπώσεις Προβληματικών Σημείων	87
5.2 Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης	112
5.3 Συμπεράσματα	116
5.4 Σύνοψη Κεφαλαίου	118
6. Προτάσεις	119
6.1 Σχετικά με την Μελέτη Οδικών Έργων	119
6.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	120
7. Βιβλιογραφία	121
Πίνακας Βιβλιογραφίας	121

Παράρτημα 1 Περιγραφή και Σχέδια Δοκιμαστικών Χαράξεων.....	- 3 -
Πίνακας Πινάκων Παραρτήματος 1	- 5 -
Πίνακας Σχεδίων Παραρτήματος 1	- 7 -
Π 1.1 Στοιχεία Μοντέλου Εδάφους.....	- 9 -
Π 1.2 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Άλματος.....	- 13 -
Π 1.3 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Βυθίσματος	- 21 -
Π 1.4 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Κυματισμού	- 27 -
Π 1.5 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 33 -
Παράρτημα 2 Προοπτικές Αποδόσεις Δοκιμαστικών Χαράξεων.....	- 39 -
Πίνακας Εικόνων Παραρτήματος 2	- 41 -
Π 2.1 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Άλματος.....	- 43 -
Π 2.2 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Βυθίσματος	- 53 -
Π 2.3 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Κυματισμού	- 65 -
Π 2.4 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 77 -

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Παραδείγματα Οριζοντιογραφίας, Μηκοτομής και Διατομών.....	2
Εικόνα 2 Σύμπτωση Σημείων Καμπής Οριζοντιογραφίας - Μηκοτομής.....	11
Εικόνα 3 Προοπτική Απόδοση (α) Ευθυγραμμίας με Σταθερή Κλίση (β) Ευθυγραμμίας σε Κοίλωμα Μεγάλης Ακτίνας	12
Εικόνα 4 Προοπτική Εικόνα Ευθυγραμμίας με Σταθερή Κλίση, σε Κοίλωμα και σε Κύρτωμα	13
Εικόνα 5 Προοπτική Εικόνα Καμπύλης με Σταθερή Κλίση, σε Κοίλωμα και σε Κύρτωμα.....	14
Εικόνα 6 Προοπτική Εικόνα του Άλματος και του Βυθίσματος	15
Εικόνα 7 Προοπτική Εικόνα Θλάσεων σε Μηκοτομή και Οριζοντιογραφία.....	16
Εικόνα 8 Προοπτική Εικόνα Ύπαρξης Συνεχόμενων Ομόρροπων Στρογγυλεύσεων	17
Εικόνα 9 Παραδείγματα (α) Ορθής Αλληλουχίας Καμπυλών (β) Εσφαλμένης Αλληλουχίας Καμπυλών.....	18
Εικόνα 10 Ευθύγραμμη Οριζοντιογραφία. Προτιμητέα η Σταθερή Κλίση Έναντι Διαδοχικών Καμπυλών.....	19
Εικόνα 11 Κοίλωμα (α) Μικρής Ακτίνας - Δημιουργία Θλάσης (β) Μεγάλης Ακτίνας.....	20
Εικόνα 12 Εμφάνιση Θλάσης σε (α) Ευθυγραμμία (β) Καμπύλη.....	20
Εικόνα 13 Τεθλασμένο Κατάστρωμα Οδού	21
Εικόνα 14 Καμπύλες σε Κυρτώματα	22
Εικόνα 15 Ανοιχτή Οριζοντιογραφική Καμπύλη με Κοίλωμα (α) Μικρού Μήκους (β) Μεγάλου Μήκους	23
Εικόνα 16 Φαινόμενο Τοπικής Υπερύψωσης.....	23
Εικόνα 17 Φαινόμενο Κυματισμού	24
Εικόνα 18 Βύθισμα σε Ευθυγραμμία και σε Καμπύλη	24
Εικόνα 19 Μικρό Βύθισμα (Αριστερά) και Μεγάλο Βύθισμα (Δεξιά).....	24
Εικόνα 20 Άλμα της Οδού στα Αριστερά	25
Εικόνα 21 Άλμα με Μετατόπιση	25
Εικόνα 22 Ασυνέχεια στην Εικόνα της Οδού	26
Εικόνα 23 Σύμπτωση Σημείων Καμπής Οριζοντιογραφίας - Μηκοτομής.....	27
Εικόνα 24 Οπτικό Αποτέλεσμα Σύμπτωσης Σημείων Καμπής	27
Εικόνα 25 Συσχέτιση Κορυφών (α) Σύμπτωση Κορυφών (β) Παράλειψη Φάσης (γ) Ανεπιτυχής Συνδυασμός	28
Εικόνα 26 Οπτικοποίηση της Παραμόρφωσης ενός Αυτοκινήτου κατά την Μετωπική Σύγκρουση.....	31
Εικόνα 27 Παραδείγματα Οπτικοποίησης Μουσικού Σήματος.....	32
Εικόνα 28 Παράδειγμα Τεχνικού Σχεδίου Μηχανολογικού Εξοπλισμού	33
Εικόνα 29 Παραδείγματα Σκίτσου, Σχεδίου με Όργανα και Σχεδίου με βοήθεια Υπολογιστή	34
Εικόνα 30 Φωτορεαλιστικός Πίνακας Ζωγραφικής	35
Εικόνα 31 Φωτορεαλιστής Ζωγράφος Επί Τω Έργω	35
Εικόνα 32 Πραγματική Τσαγιέρα, Τρισδιάστατο Μοντέλο και Τρισδιάστατη Εκτύπωση.....	36
Εικόνα 33 Μοντέλα Χαμηλής (αριστερά) και Υψηλής (δεξιά) Ανάλυσης	37
Εικόνα 34 Μοντέλο επιφάνειας (αριστερά) και Στερεό Μοντέλο (δεξιά).....	38
Εικόνα 35 Μοντέλο Πριν και Μετά την Εφαρμογή Υφής.....	39
Εικόνα 36 Εφαρμογή Διαφορετικών Στυλ και Τεχνικών Απόδοσης στην Ίδια Τρισδιάστατη Σκηνή	40
Εικόνα 37 Παράδειγμα Απόδοσης Σκηνής σε Μη Πραγματικό Χρόνο	42

Εικόνα 38 Παράδειγμα Απόδοσης Σκηνής σε Πραγματικό Χρόνο.....	43
Εικόνα 39 Απόδοση σε Πραγματικό Χρόνο - Η Διαφορά με την Απόδοση Μη Πραγματικού Χρόνου Είναι Μικρή	43
Εικόνα 40 Παράδειγμα του Επιπέδου Λεπτομέρειας που Είναι Εφικτό με τα Εργαλεία "γλυπτικής" του Autodesk Mudbox	45
Εικόνα 41 Παράδειγμα Χρήσης του Λογισμικού Clara.io από Περιβάλλον Προγράμματος Περιήγησης.....	46
Εικόνα 42 Παράδειγμα τρισδιάστατης Απόδοσης με Χρήση του Λογισμικού AutoCAD.....	47
Εικόνα 43 Κεντρικό Μενού Προγράμματος FM17	50
Εικόνα 44 Περιοχή Καστελίου Ηρακλείου Κρήτης. Ορθοφωτοχάρτης Με και Χωρίς Ισοϋψείς Καμπύλες.....	52
Εικόνα 45 Συνοπτική Παρουσίαση των Χαρακτηριστικών της Τοπικής Υπερύψωσης.....	53
Εικόνα 46 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	53
Εικόνα 47 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	54
Εικόνα 48 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας.....	55
Εικόνα 49 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	55
Εικόνα 50 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	56
Εικόνα 51 Δεδομένα Κλίσεων/Διαμορφώσεων Αριστερά-Δεξιά.....	57
Εικόνα 52 Στοιχεία Γεωμετρίας Διαμορφώσεων	57
Εικόνα 53 Στοιχεία Ιδιοτήτων Διαμορφώσεων.....	57
Εικόνα 54 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Κυματισμού	58
Εικόνα 55 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Κυματισμού.....	58
Εικόνα 56 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας.....	58
Εικόνα 57 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Κυματισμού	59
Εικόνα 58 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Κυματισμού.....	60
Εικόνα 59 Συνοπτική Παρουσίαση του Φαινομένου του Βυθίσματος.....	61
Εικόνα 60 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος.....	62
Εικόνα 61 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Βυθίσματος	62
Εικόνα 62 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος	62
Εικόνα 63 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Βυθίσματος.....	63
Εικόνα 64 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Βυθίσματος	64
Εικόνα 65 Συνοπτική Παρουσίαση του Φαινομένου του Άλματος	65
Εικόνα 66 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Άλματος	66
Εικόνα 67 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Άλματος.....	66
Εικόνα 68 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Άλματος.....	66
Εικόνα 69 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Άλματος	67
Εικόνα 70 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Άλματος.....	68
Εικόνα 71 Διαφορετικές Οπτικές του Μοντέλου Εδάφους Όπως Αυτό Παράγεται από το Πρόγραμμα FM17	70
Εικόνα 72 Τα Τρίγωνα που Περιέχονται στο Αρχείο του Μοντέλου Εδάφους.....	70
Εικόνα 73 Το Παράθυρο Αλληλεπίδρασης της Εντολής Purge.....	71
Εικόνα 74 Το τρισδιάστατο Πλέγμα (Wireframe) της Χάραξης Όπως Παράγεται Από το Πρόγραμμα FM17	72
Εικόνα 75 Το Επίπεδο Λεπτομέρειας του Αρχικού Σχεδίου	72
Εικόνα 76 Το Παράθυρο Αλληλεπίδρασης της Εντολής QSELECT. Επιλέγονται Όλα τα Στοιχεία Κειμένου (Αριστερά) και Όλοι οι Κύκλοι (Δεξιά)	73
Εικόνα 77 Το Σχέδιο του Τρισδιάστατου Πλέγματος Μετά την Απλοποίησή Του	73
Εικόνα 78 Τα Τρίγωνα Του Μοντέλου Εδάφους Προτού Υποστούν Επεξεργασία	74

Εικόνα 79 Κλείσιμο Όλων των Polyline του Σχεδίου	75
Εικόνα 80 Μετατροπή των Κλειστών Polylines σε Regions	76
Εικόνα 81 Η επιφάνεια του Μοντέλου Εδάφους Ως Μία Ενοποιημένη Επιφάνεια (Surface)	77
Εικόνα 82 Τα Τέσσερα Στάδια Δημιουργίας του Καταστώματος της Οδού και της Νησίδας	78
Εικόνα 83 Δημιουργία των Επιφανειών των Χωματισμών	79
Εικόνα 84 Δημιουργία Επιφάνειας Ερεισμάτων	80
Εικόνα 85 Δημιουργία του Περιγράμματος με 3d Polyline και Χρήση της Εντολής Extrude για τη Δημιουργία της Επιφάνειας	81
Εικόνα 86 Συνδυασμός Μοντέλου Εδάφους και Επιφάνειας Περιγράμματος	82
Εικόνα 87 Χρήση της Εντολής Slice Για τη Δημιουργία Οπής Στο Μοντέλο Εδάφους	83
Εικόνα 88 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+000	90
Εικόνα 89 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+333	91
Εικόνα 90 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+500	92
Εικόνα 91 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+667	93
Εικόνα 92 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+000	96
Εικόνα 93 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+416	97
Εικόνα 94 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+500	98
Εικόνα 95 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+667	99
Εικόνα 96 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+167	102
Εικόνα 97 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+417	103
Εικόνα 98 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+667	104
Εικόνα 99 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 1+167	105
Εικόνα 100 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+166	108
Εικόνα 101 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+333	109
Εικόνα 102 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+500	110
Εικόνα 103 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+750	111
Εικόνα 104 Άλμα - Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης	112
Εικόνα 105 Βύθισμα - Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης	113
Εικόνα 106 Κυματισμός - Σύγκριση Μεθόδων απεικόνισης	114
Εικόνα 107 Τοπική Υπερύψωση - Σύγκριση Μεθόδων απεικόνισης	115

1 Εισαγωγή

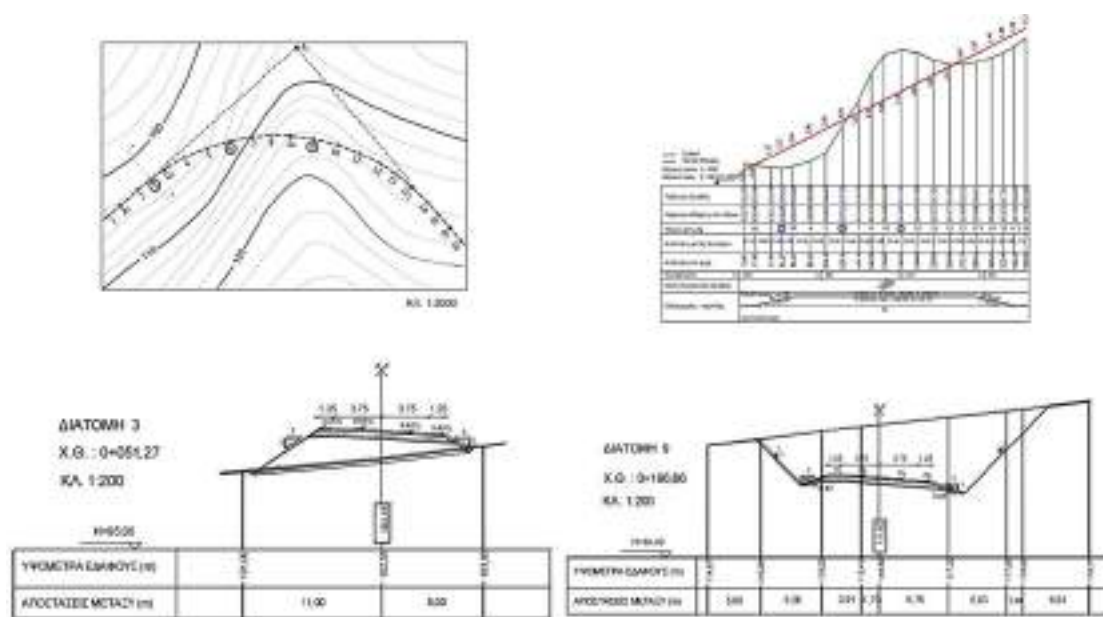
1.1 Ανασκόπηση Αντικειμένου

Βασικός στόχος οποιασδήποτε μελέτης συγκοινωνιολόγου μηχανικού αλλά και των μελετών οδοποιίας συγκεκριμένα είναι η εξασφάλιση ενός απαραίτητου επιπέδου ασφάλειας στους χρήστες της σχεδιαζόμενης υποδομής. Χαρακτηριστικό στοιχείο του μηχανικού είναι η ικανότητά του να σταθμίζει και να κάνει επιλογές μεταξύ πολλών στόχων που τίθενται κατά τη μελέτη ενός έργου όπως η οικονομία του έργου, η ποιότητα κατασκευής, η εμφάνιση και η αισθητική του έργου, η παροχή της μεγαλύτερης δυνατής λειτουργικότητας στους χρήστες, η εξασφάλιση άνεσης και ταχύτητας στην περίπτωση συγκοινωνιακών έργων, κ.α. (1) (2) (3). Η παρεχόμενη ασφάλεια πάντως είναι πάντοτε ο σημαντικότερος παράγοντας τον οποίο κανείς μηχανικός δεν μπορεί να αμελήσει.

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι στην περίπτωση των έργων οδοποιίας το παρεχόμενο επίπεδο ασφάλειας της υπό κατασκευή οδού είναι άμεσα συνυφασμένο με τα στοιχεία του τρισδιάστατου σχεδιασμού της οδού. Είναι σημαντικό η οδός να συμμορφώνεται με τις σύγχρονες προδιαγραφές σχετικά με τα μεγέθη της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των επικλίσεων καθώς και με τις γενικές οδηγίες σχεδιασμού των οδικών έργων καθώς αυτές εξασφαλίζουν την τήρηση των **ελαχίστων προδιαγραφών ασφαλείας** και αποτελούν την βάση σύμφωνα με την οποία κατηγοριοποιούνται οι δρόμοι στις διάφορες κατηγορίες τους (Αυτοκινητόδρομοι, Οδοί ταχείας κυκλοφορίας, κ.α.). Στην περίπτωση της Ελλάδας, η Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων του Υπουργείου Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, δημοσίευσε το 2001 τις Οδηγίες Μελέτης Οδικών Έργων (Ο.Μ.Ο.Ε.) (4) οι οποίες αποτελούν ένα σύνολο κανόνων σχετικά με τις χαράξεις των οδών που θα πρέπει να ακολουθεί κάθε οδικό έργο που κατασκευάζεται εντός της χώρας. Οι κανόνες αυτοί καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, καθώς υπάρχουν προδιαγραφές για κάθε κατηγορία οδού, από αυτοκινητόδρομο μέχρι επαρχιακές οδούς, και προσδιορίζουν βασικές αρχές για κάθε τμήμα του σχεδιασμού από την γενική χάραξη της οδού μέχρι το σχεδιασμό της οριζόντιας και της κατακόρυφης σήμανσης.

Ένα πολύ σημαντικό τμήμα όμως της μελέτης των οδών, το οποίο και είναι αυτό που επηρεάζει περισσότερο την οδική ασφάλεια και συνήθως αμελείται τόσο από τους μελετητές όσο και από τους διάφορους κανονισμούς είναι ο συνδυασμός των διάφορων στοιχείων της χάραξης, και συγκεκριμένα οι συνδυασμοί των **τριών κύριων σχεδίων** μεταξύ τους για την εξαγωγή της τελικής τρισδιάστατης χάραξης στο χώρο. Κατά τη φάση της προμελέτης αλλά και της κυρίως μελέτης της οδού ο μηχανικός αφιερώνει τον περισσότερο χρόνο σε τρία κύρια σχέδια με τα οποία γίνεται η χάραξη του έργου, την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή και τις διατομές του έργου (3) (1) (2). Η οριζοντιογραφία είναι η αποτύπωση του έργου από πάνω προς τα κάτω (κάτοψη) και δείχνει την προβολή του άξονα της οδού στο οριζόντιο επίπεδο. Μέσω αυτού του σχεδίου βλέπουμε δηλαδή τις δεξιές και αριστερές στροφές της

οδού. Η μηκοτομή είναι η αποτύπωση της τομής με ένα κατακόρυφο επίπεδο στην διεύθυνση του άξονα της οδού. Κόβει δηλαδή την οδό κατά μήκος και δείχνει τις υψομετρικές μεταβολές του ανάγλυφου του εδάφους και της οδού. Οι διάφορες διατομές της οδού είναι τομές κάθετες στον άξονα κίνησης οι οποίες μας επιτρέπουν να παρατηρήσουμε πως διαμορφώνονται τα πλάτη και οι επικλίσεις του οδικού έργου σε κάθε του σημείο. Παραδείγματα για τους τρεις αυτούς τύπους σχεδίων παρατίθενται στην παρακάτω εικόνα. Τα τρία αυτά κύρια σχέδια προσδιορίζουν το σύνολο σχεδόν των στοιχείων της οδού και μέσω του συνδυασμού αυτών αποδίδεται η τρισδιάστατη χάραξη της οδού και για αυτό τον λόγο οι κανονισμοί των περισσότερων χωρών προσδιορίζουν με ακρίβεια τα ανεκτά όρια για κάθε τιμή των σχεδίων αυτών διαμορφώνοντας με αυτόν τον τρόπο την τελική χάραξη.



Εικόνα 1 Παραδείγματα Οριζοντιογραφίας, Μηκοτομής και Διατομών

Παρόλο που προσδιορίζοντας τις επιτρεπόμενες τιμές των τόξων και των λοιπών στοιχείων των τριών αυτών σχεδίων φτάνουμε πολύ κοντά στον προσδιορισμό του τελικού σχήματος της χάραξης στον χώρο, μια τελείως διαφορετική αλλά εξίσου σημαντική διάσταση της μελέτης της οδού αποτελούν οι **συνδυασμοί των κυρίων σχεδίων** μεταξύ τους. Και αυτό γιατί έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις στις οποίες παρόλο που η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή ήταν εντός των προβλεπόμενων προδιαγραφών, ο συνδυασμός τους δημιουργούσε πρόβλημα στην ασφάλεια της οδού. Και τα τρία σχέδια αποτελούν αποτυπώσεις της οδού σε δύο διαστάσεις ενώ το πραγματοποιούμενο έργο κυμαίνεται και στις τρεις διαστάσεις του χώρου με αποτέλεσμα τα στοιχεία του ενός σχεδίου να επηρεάζουν τα άλλα. Αλλιώς θα πρέπει ο μελετητής μηχανικός αλλά και ο τελικός οδηγός της οδού να αντιμετωπίσει μία στροφή της οδού αν αυτή βρίσκεται σε ανωφέρεια και αλλιώς αν βρίσκεται σε κατωφέρεια ή ίσωμα για παράδειγμα. Αυτή η αλληλεπίδραση περνάει σε πολλά επίπεδα και καταλήγει να καθιστά σχεδόν αδύνατον να αντιμετωπίσουμε το κάθε σχέδιο της οδού χωριστά χωρίς να έχουμε στοιχεία και από τα υπόλοιπα σχέδια.

Ιδιαίτερα σημαντική έννοια για την οδική ασφάλεια στην οποία έχουν αφιερωθεί πολλές πρόσφατες έρευνες είναι αυτή της οπτικής καθοδήγησης. Η **οπτική καθοδήγηση της οδού** μπορεί να διαιρεθεί σε δύο κύρια τμήματα. Πρώτον, την εξασφάλιση ενός ελαχίστου μήκους ορατότητας σε κάθε σημείο του οδικού έργου ούτως ώστε ο οδηγός να έχει πλήρη επίβλεψη του καταστρώματος της οδού, να μπορεί να αντιληφθεί έγκαιρα πιθανά προβλήματα από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση και να προλάβει να αντιδράσει αναλόγως στην κάθε περίπτωση. Η εξασφάλιση του μήκους ορατότητας σχετίζεται άμεσα με τον συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής καθώς υπάρχουν περιπτώσεις για παράδειγμα που λόγω σύμπτωσης οριζοντιογραφικής καμπύλης με κυρτό τόξο μηκοτομής (στροφή πάνω σε αυχένα βουνού) μειώνεται δραστικά η απόσταση ορατότητας του οδηγού, πολύ περισσότερο από όσο θα μειώνονταν από την ύπαρξη μόνο της οριζοντιογραφικής καμπύλης ή του τόξου της μηκοτομής (Εικόνα 5, Σελίδα 13).

Το δεύτερο εξίσου σημαντικό τμήμα της οπτικής καθοδήγησης της οδού είναι η **εξασφάλιση συνοχής στο σχεδιασμό** της οδού. Όπως και σε όλα τα έργα μηχανικού είναι σημαντικό ο μελετητής να έχει υπόψιν του τον τελικό αποδέκτη και χρήστη του έργου, τους μελλοντικούς οδηγούς. Ο άνθρωπος σαν οδηγός διακρίνεται από δύο κύρια χαρακτηριστικά του, την ικανότητά του να εξάγει συμπεράσματα από τα διάφορα (οπτικά κυρίως) ερεθίσματα, και από τη δύναμη της συνήθειας. Ο τρόπος με τον οποίο είναι σχεδιασμένη μια οδός καθώς και οι μέχρι στιγμής εμπειρίες του οδηγού από αυτήν ή παρόμοιες οδούς του δημιουργούν μία εικόνα σχετικά με το τι μπορεί να περιμένει από το συγκεκριμένο οδικό τμήμα και ο οδηγός προετοιμάζεται αναλόγως για να αντιμετωπίσει αυτές τις καταστάσεις. Αυτή η εικόνα είναι τόσο ισχυρή που αν ο οδηγός αντιμετωπίσει κάτι διαφορετικό θα βρεθεί προ εκπλήξεως και μπορεί να προκληθεί ατύχημα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οδοί με μεγάλο πλάτος που δίνουν την εντύπωση οδού ταχείας κυκλοφορίας αλλά οι προδιαγραφές τους είναι χαμηλότερης κατηγορίας με αποτέλεσμα να έχουν κλειστές στροφές ή απότομες κλίσεις καθώς επίσης και οδοί που μετά από συνεχόμενες στροφές μεγάλης ακτίνας (δημιουργία συνήθειας στον οδηγό) παρεμβάλουν μία στροφή μικρής ακτίνας η οποία παρόλο που είναι εντός προδιαγραφών είναι σημείο πρόκλησης ατυχημάτων.

Σχετικά και με τα δύο αυτά πολύ σημαντικά για την οδική ασφάλεια ζητήματα καταβάλλεται από την διεθνή επιστημονική κοινότητα συνεχιζόμενη **προσπάθεια για την δημιουργία πληρέστερων κανονισμών**. Η οπτική καθοδήγηση των οδικών έργων αποτελεί ένα πολυδιάστατο πρόβλημα το οποίο προκύπτει από τον συνδυασμό πολλών διαφορετικών μεταξύ τους παραγόντων και αυτό καθιστά την προτυποποίησή του και την δημιουργία σχετικών κανονισμών ιδιαίτερος δυσχερείς. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι κανονισμοί λίγων μόνο χωρών (Γερμανικοί (5), Η.Π.Α. (6) (7) (8) (9), Καναδικοί (10)) κάνουν την οποιαδήποτε αναφορά στον τρισδιάστατο σχεδιασμό, και ακόμη και αυτοί δίνουν μόνο συστάσεις σχετικά με ορθές και εσφαλμένες πρακτικές στο σχεδιασμό χωρίς να δίνουν κάποια ποσοτικοποιημένα κριτήρια όσον αφορά στο τι θεωρείται σωστό ή λάθος. Οι ελληνικοί κανονισμοί (Ο.Μ.Ο.Ε.) (4) κάνουν αναφορά και εφιστούν την προσοχή του μελετητή στο ζήτημα αυτό δίνοντας κάποιες οδηγίες σωστού σχεδιασμού (Κριτήρια I, II και III) χωρίς όμως να αποκλείεται εντελώς η εμφάνιση προβλημάτων ακόμη και με την εφαρμογή των κριτηρίων αυτών.

Η μελέτη της οπτικής καθοδήγησης καθώς και η προσοχή του μελετητή μηχανικού πάνω στο συγκεκριμένο ζήτημα κρίνεται απαραίτητη καθώς αποτελεί ένα πρόβλημα **εύκολο να διαφύγει της προσοχής του**. Η μελέτη ενός οδικού έργου αποτελεί μια σύνθετη πρόκληση, η διαίρεση της οποίας σε αυτοτελή τμήματα διευκολύνει κατά πολύ τον φόρτο εργασίας. Εστιάζοντας όμως σε ξεχωριστό τμήμα της μελέτης κάθε φορά, είναι εύκολο ο μελετητής να αγνοήσει τους ποικίλους τρόπους με τους οποίους αλληλοεπηρεάζονται τα τμήματα αυτά. Ακόμη και ο απλός εντοπισμός του ζητήματος απαιτεί συνεχή εγρήγορση και κρίση.

Όπως προαναφέρθηκε, η διαίρεση της μελέτης σε αυτοτελή τμήματα καθιστά την μελέτη πιο εύκολη, δυσκολεύει όμως την αντίληψη από το μηχανικό καθώς και την μετάδοση σε τρίτους του συνολικού σχήματος της οδού. Τα επιμέρους σχέδια απεικονίζουν δύο διαστάσεις και ο συνδυασμός τους σε ένα ενιαίο τρισδιάστατο σχήμα αποτελεί πρόκληση από μόνος του. Παρουσιάζεται η ανάγκη για **οπτικοποίηση της χάραξης** (visualization) ούτως ώστε να μπορέσει ο μηχανικός να εντοπίσει και πιθανώς να επιλύσει τα προβλήματα του σχεδιασμού. Σε αυτή την κατεύθυνση βοηθούν σε μεγάλο βαθμό οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των τεχνολογιών οπτικοποίησης.

Οι τεχνολογίες οπτικοποίησης, με κυριότερη αυτή του φωτορεαλισμού, βρίσκουν **ποικίλες εφαρμογές στα έργα μηχανικού**, τόσο κατά τη φάση της μελέτης, όσο και έξω από αυτήν (11). Έχει ήδη αναλυθεί η χρησιμότητά τους στο πλαίσιο της οπτικής καθοδήγησης. Επιπλέον όμως βοηθούν το μηχανικό να συγκρίνει πιο άμεσα μεταξύ πιθανών λύσεων, να επαληθεύσει την σωστή ενσωμάτωση του έργου στο περιβάλλον, να μελετήσει τις συνθήκες φυσικού και τεχνητού φωτισμού στην οδό ή ακόμη να εντοπίσει τις βέλτιστες θέσεις τοποθέτησης της σήμανσης. Χαρακτηριστικό είναι ότι τα πλέον ευρείας χρήσης λογισμικά οδοποιίας ενσωματώνουν πλέον κάποιες λειτουργίες οπτικοποίησης και φωτορεαλισμού. Σημαντικότερες για το μηχανικό είναι επίσης οι εκπαιδευτικές εφαρμογές του φωτορεαλισμού, καθώς βοηθάει στη μετάδοση ιδεών, και η βοήθεια που παρέχει στην ανακατασκευή και ανάλυση ατυχημάτων ή πιθανών αστοχιών.

Ο φωτορεαλισμός βρίσκει **εφαρμογές και εκτός της μελέτης** διευκολύνοντας σε μεγάλο βαθμό την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η έγκριση αλλά και χρηματοδότηση ενός μεγάλου τεχνικού έργου είναι απαραίτητη η επικοινωνία αλλά και η αποτελεσματική ανταλλαγή ιδεών με άτομα τα οποία δεν είναι απαραίτητα μηχανικοί ούτε έχουν σε βάθος γνώση των αντικειμένων. Μια απλούστερη και αποτελεσματικότερη παρουσίαση είναι ένα μεγάλο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση. Το υλικό αυτό ενισχύει επίσης την αποτελεσματικότητα των δημοσίων σχέσεων του έργου, ένα ολοένα και σημαντικότερο κεφάλαιο κάθε μεγάλου τεχνικού έργου προκειμένου να αποκτήσει την αποδοχή των τελικών χρηστών του. Η δημιουργία ενός λεπτομερούς τρισδιάστατου μοντέλου του υπό κατασκευή οδικού έργου θα επέτρεπε ακόμα και τη δοκιμή του σε συνθήκες δυναμικής οδήγησης με τη χρησιμοποίηση ενός προσομοιωτή οδήγησης.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Σήμερα πλέον η τεχνολογία του φωτορεαλισμού έχει γίνει προσιτή στον μέσο χρήστη. **Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας** είναι ο εντοπισμός των περιπτώσεων που ο συνδυασμός οριζοντιογραφίας - μηκοτομής δημιουργεί προβλήματα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό και η ανάδειξη του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία του φωτορεαλισμού αλλά και της οπτικοποίησης γενικότερα μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό αλλά και στην αντιμετώπιση των προβληματικών σημείων. Δευτερεύοντες στόχοι της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση σε ποιο βαθμό είναι πλέον προσιτές οι συγκεκριμένες μεθοδολογίες στον μέσο χρήστη και η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας μέσω της οποίας ο μέσος μελετητής μηχανικός θα μπορέσει να εκμεταλλευτεί τα συγκεκριμένα πλεονεκτήματα χωρίς την ανάγκη αγοράς κάποιου εξειδικευμένου προγράμματος ή μακροχρόνια εκπαίδευση.

1.3 Μεθοδολογία και Δομή Εργασίας

Προς αυτό τον σκοπό, **η μεθοδολογία της εργασίας** χωρίζεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο θα γίνει βιβλιογραφική ανασκόπηση και σύνθεση βιβλιογραφίας με στόχο να ταυτοποιηθούν και να κατηγοριοποιηθούν οι περιπτώσεις προβληματικής σύνδεσης οριζοντιογραφίας – μηκοτομής και να παρουσιαστούν χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους απεικόνισης (σκαριφήματα). Στο δεύτερο στάδιο θα συγκεντρωθούν πληροφορίες και θα γίνει μία σύντομη παρουσίαση και επεξήγηση της τεχνολογίας του φωτορεαλισμού καθώς και μία παρουσίαση – σύγκριση των διαθέσιμων προγραμμάτων με στόχο να διερευνηθεί η ευκολία πρόσβασης και εκμάθησης του μέσου χρήστη καθώς και να αιτιολογηθεί η επιλογή του προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί στο τρίτο στάδιο. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, με χρήση του προγράμματος οδοποιίας FM17 θα δημιουργηθούν σκοπίμως εσφαλμένες χαράξεις οδών για κάθε ένα από τα προβλήματα που εντοπίστηκαν στο πρώτο στάδιο, των οποίων θα σχηματιστούν τα τρισδιάστατα μοντέλα με χρήση του λογισμικού που επιλέχθηκε κατά το δεύτερο στάδιο της εργασίας καταγράφοντας τα βήματα που ακολουθήθηκαν. Ο στόχος του τρίτου σταδίου είναι να παραχθούν απεικονίσεις των προβληματικών περιπτώσεων χρησιμοποιώντας φωτορεαλισμό ώστε να επιδειχθεί η διαφορά σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους καθώς επίσης και να αναπτυχθεί μία μεθοδολογία που θα μπορεί να ακολουθήσει ο μέσος χρήστης.

Η δομή της παρούσης εργασίας συμμορφώνεται στα βήματα της μεθοδολογίας που περιεγράφηκαν παραπάνω. Ως εκ τούτου, ύστερα από το εισαγωγικό κεφάλαιο θα ακολουθήσει ένα κεφάλαιο ανασκόπησης της βιβλιογραφίας και αναζήτησης των κατεχοχόν προβληματικών περιπτώσεων, ένα κεφάλαιο παρουσίασης των τεχνολογιών οπτικοποίησης και των διαθέσιμων εφαρμογών και ανάλυσής τους, ένα κεφάλαιο περιγραφής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των πειραματικών χαράξεων και του τρισδιάστατου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, ένα κεφάλαιο παρουσίασης των αποτελεσμάτων της μελέτης και σύγκρισης μεταξύ συμβατικών μεθόδων απεικόνισης και φωτορεαλισμού μέσω

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

ηλεκτρονικού υπολογιστή καθώς και ένα τελευταίο κεφάλαιο προτάσεων για βελτίωση του τρόπου μελέτης των οδικών έργων και προτάσεων για περαιτέρω έρευνα.

1.4 Σύνοψη Κεφαλαίου

Από τους στόχους που τίθενται σε οποιαδήποτε μελέτη μηχανικού ο σημαντικότερος είναι πάντα η διατήρηση της ασφάλειας στο σχεδιασμό. Η εξασφάλιση ικανοποιητικού επιπέδου ασφαλείας πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό με την τήρηση κάποιων ελαχίστων προδιαγραφών που προσδιορίζονται από τους κανονισμούς των περισσότερων κρατών. Οι προδιαγραφές αυτές καθορίζουν ελάχιστες και μέγιστες τιμές στα μεγέθη των τριών κύριων σχεδίων που χρησιμοποιούνται κατά την μελέτη ενός οδικού έργου. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως αγνοούν τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργήσουν τυχών εσφαλμένοι συνδυασμοί των κυρίων αυτών σχεδίων στην οπτική καθοδήγηση της οδού. Στα θέματα της εξασφάλισης επαρκούς μήκους ορατότητας και της εξασφάλισης συνοχής στο σχεδιασμό παρατηρείται μια σημαντική έλλειψη κανονισμών στις περισσότερες χώρες με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή από το μηχανικό διότι τα προβλήματα αυτά είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Σε αυτά τα ζητήματα προσφέρουν μεγάλη βοήθεια οι τεχνολογίες οπτικοποίησης της χάραξης, οι οποίες βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές στα έργα μηχανικού καθώς και εκτός της μελέτης. Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να εντοπίσει τους προαναφερθέντες προβληματικούς συνδυασμούς και να δείξει πως η οπτικοποίηση βοηθάει στον εντοπισμό και την αντιμετώπισή τους. Δευτερευόντως να προταθούν κάποια προγράμματα λογισμικού και να δημιουργηθεί μία απλοποιημένη μέθοδος εντοπισμού και αντιμετώπισης παρόμοιων προβλημάτων. Η μεθοδολογία της εργασίας περιλαμβάνει βιβλιογραφική ανασκόπηση, μελέτες περίπτωσης και τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων για την απεικόνιση των προβλημάτων. Η εργασία χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη, τον εντοπισμό των προβληματικών περιπτώσεων (Κεφάλαιο 2), την τεχνική ανάλυση των τεχνολογιών οπτικοποίησης (Κεφάλαια 3&4) και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και το σχολιασμό τους (Κεφάλαια 5&6).

2. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Προκειμένου να εντοπιστούν οι συνηθέστεροι και σημαντικότεροι από πλευράς ασφάλειας προβληματικοί συνδυασμοί στην τρισδιάστατη χάραξη μίας οδού, οι οποίοι θα μελετηθούν στην πορεία των κεφαλαίων 4 και 5, θα πραγματοποιηθεί μία ανασκόπηση στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Σε αυτό το πρώτο υποκεφάλαιο θα προσδιοριστούν οι **ελληνικές προδιαγραφές μελέτης οδικών έργων** σύμφωνα με τις ελληνικές Ο.Μ.Ο.Ε (4) καθώς και με τα βιβλία των μαθημάτων της Οδοποιίας Ι και ΙΙ και των Ειδικών κεφαλαίων Οδοποιίας του Ε.Μ.Π. (1) (2) (12) (13) (14) (15). Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα ερευνηθούν οι διεθνείς προδιαγραφές με έμφαση στους γερμανικούς (5), τους αμερικάνικους (6) (7), τους καναδικούς (10) καθώς και τους αυστραλιανούς κανονισμούς (16) ούτως ώστε να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα που δεν περιγράφονται στην ελληνική βιβλιογραφία και να αποκτηθεί πιο σφαιρική άποψη στα κοινά προβλήματα.

Στους ελληνικούς κανονισμούς ορίζονται κάποιες **βασικές αρχές ασφαλούς σχεδίασης** των οδών. Προτεραιότητα κατά τη φάση της μελέτης ενός οδικού έργου είναι να προσαρμόζεται η χάραξη ούτως ώστε ο σχεδιασμός της οδού να είναι εύκολα κατανοητός από τους χρήστες (self – explanatory road, αυτό – εξηγούμενος δρόμος) και να τους βοηθά στην έγκαιρη λήψη σωστών αποφάσεων μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σοβαρών ακούσιων λαθών. Σημαντικός παράγοντας προς αυτή την κατεύθυνση είναι η ύπαρξη συνοχής στον σχεδιασμό τόσο του επιμέρους οδικού έργου όσο και στο σύνολο του οδικού δικτύου της χώρας.

Για το σκοπό αυτό, έχει καθιερωθεί ο **διαχωρισμός των οδών** σε κατηγορίες με βάση την κύρια λειτουργία τους (Αρτηρίες, συλλεκτήριες οδοί, κ.α.) και προσδιορίζονται διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά για κάθε μία από τις κατηγορίες. Σε δεύτερο επίπεδο υπάρχει ένας επιπλέον διαχωρισμός των οδών με βάση την επιλεγόμενη ταχύτητα μελέτης της οδού. Η ταχύτητα μελέτης είναι ένα μέγεθος που επιλέγεται κατά περίπτωση από το μελετητή μηχανικό βάσει κριτηρίων όπως η λειτουργική κατάταξη της οδού (αυτοκινητόδρομος, αρτηρία, συλλεκτήρια, κ.α.), τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής, την νομοθετημένη μέγιστη ταχύτητα, την θέση της οδού (εντός-εκτός πόλεως), και την αναμενόμενη λειτουργική ταχύτητα της οδού και χρησιμοποιείται μαζί με την λειτουργική κατηγορία της οδού για τον προσδιορισμό των οριακών επιτρεπόμενων τιμών για τα στοιχεία χάραξης.

Στη φάση της μελέτης ενός νέου οδικού έργου δηλαδή, ο μελετητής έχει να λάβει δύο σημαντικές αποφάσεις. Καταρχάς να προσδιορίσει την λειτουργική κατηγορία της οδού, η οποία προκύπτει συνήθως από τις ανάγκες του συγκοινωνιακού δικτύου της περιοχής, και να επιλέξει την ταχύτητα μελέτης βάσει της οποίας θα μελετήσει το έργο. Από τον συνδυασμό αυτών των δύο στοιχείων προκύπτουν από τους κανονισμούς οι **οριακές τιμές** για όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη της χάραξης. Εκτός όμως από τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές των μεγεθών, στους κανονισμούς προσδιορίζονται και μερικά προβλήματα στον

τρισδιάστατο σχεδιασμό και επισημαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση η έγκυρη κρίση έμπειρου Μηχανικού είναι προϋπόθεση για τον επιτυχημένο σχεδιασμό των οδών.

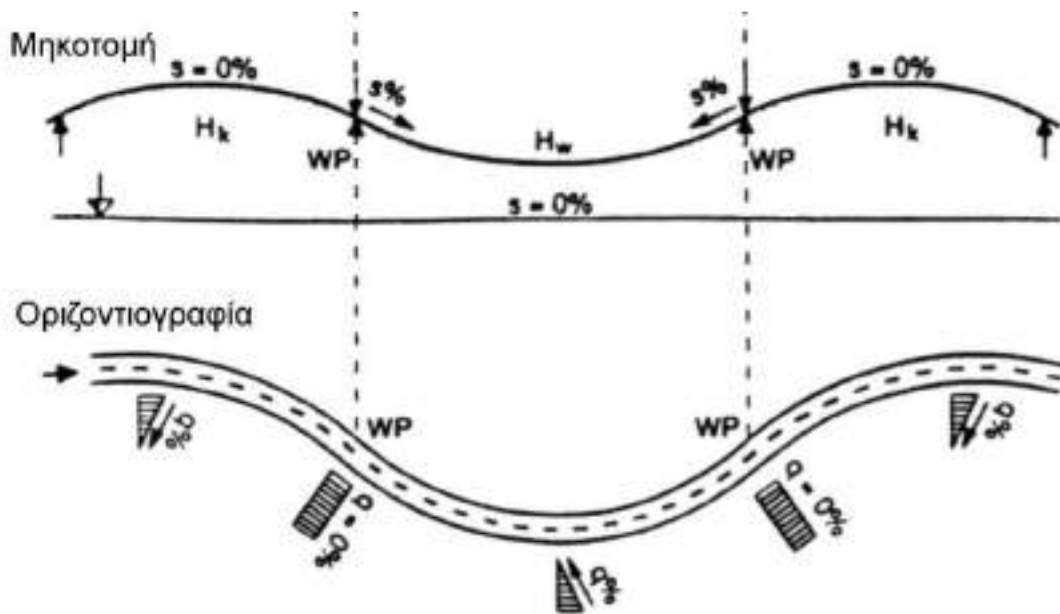
Ως **γενικές οδηγίες σχεδίασης στην οριζοντιογραφία** αναφέρεται ότι πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλες ευθυγραμμίες σε τμήματα οδών, ιδιαίτερα όταν έχουν σταθερή κατά μήκος κλίση, γιατί δυσχεραίνεται η εκτίμηση των αποστάσεων και των ταχυτήτων των οχημάτων, αυξάνεται τη νύκτα ο κίνδυνος θάμβωσης από τα φώτα των αντιθέτως κινουμένων οχημάτων, ενισχύεται η αίσθηση κούρασης και μονοτονίας και υπάρχει δυσκολία προσαρμογής στη μορφολογία των λοφωδών και ορεινών εδαφών. Αναφέρεται επίσης ότι τα καμπύλα τμήματα της οδού διαμορφώνονται, κατά κανόνα, για λόγους δυναμικής της κίνησης, με ενιαία επίκλιση προς το εσωτερικό της καμπύλης με την ελάχιστη τιμή της επίκλισης στο κυκλικό τόξο να λαμβάνεται ίση με την επίκλιση στα ευθύγραμμα τμήματα της οδού για λόγους απορροής των ομβρίων.

Ως **βασικά μεγέθη που επηρεάζουν την ασφάλεια** της κυκλοφορίας και την ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής ορίζονται η ταχύτητα, η κατά μήκος κλίση και το μήκος ορατότητας. Τα μεγέθη αυτά είναι αλληλεξαρτώμενα, και θα πρέπει να εξασφαλίζουν σε όλο το μήκος της οδού την εποπτικότητα και την αναγνωρισιμότητα της χάραξης.

Το μήκος ορατότητας, κατά γενικό κανόνα, μετρείται από τους οφθαλμούς του οδηγού μέχρι το εμπόδιο που θα πρωτοεμφανιστεί επί του καταστρώματος της οδού. Ως θέση του οδηγού επί της οδού λαμβάνεται ο άξονας της λωρίδας κυκλοφορίας στην οποία κινείται το όχημα, ενώ η θέση του εμποδίου επί του οδοστρώματος μπορεί να βρίσκεται στην ίδια ή στην απέναντι λωρίδα ανάλογα με το είδος του μήκους ορατότητας, για στάση ή για προσπέραση. Τα μήκη ορατότητας διερευνώνται, κατά τη μελέτη μιας οδού, στις οριζοντιογραφικές καμπύλες, και στα τόξα στρογγύλευσης στη μηκοτομή καθώς αυτά είναι τα κυριότερα σημεία που το επηρεάζουν. Ως αποτέλεσμα, οι ακτίνες των κοίλων και κυρτών καμπύλων της μηκοτομής πρέπει να επιλέγονται σε συνδυασμό και με την οριζοντιογραφία της οδού ούτως ώστε να προκύπτει μια αρμονική χάραξη της οδού στο χώρο, να γίνεται η καλύτερη δυνατή προσαρμογή στην υπάρχουσα μορφή του τοπίου και στη μορφολογία του εδάφους και το κυριότερο, να εξασφαλίζεται η οδική ασφάλεια με όσο το δυνατό καλύτερες συνθήκες ορατότητας.

Η χάραξη της οδού είναι τρισδιάστατη και μελετάται μέσω των δισδιάστατων σχεδίων της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των διατομών. Για τον επιτυχημένο συνδυασμό των σχεδίων αυτών και τη δημιουργία μίας ασφαλούς και αρμονικής χάραξης της οδού στον χώρο είναι **απαραίτητη η ισορροπία στα στοιχεία χάραξης** της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Μικρές μεταβολές στην οριζοντιογραφία θα πρέπει να συνδυάζονται με μικρές μεταβολές στη μηκοτομή. Επομένως, πρέπει να αποφεύγεται ο συνδυασμός ευθυγραμμιών ή καμπύλων μεγάλων ακτινών στην οριζοντιογραφία με καμπύλες μικρής ακτίνας στρογγύλευσης στη μηκοτομή και με ισχυρές κατά μήκος κλίσεις. Θα πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται η σύμπτωση των ελάχιστων τιμών που προβλέπονται από τις οδηγίες σχεδιασμού των οδών για τα στοιχεία της χάραξης στην οριζοντιογραφία και στη μηκοτομή διότι έχει σοβαρές επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια.

Θα πρέπει επίσης να επιδιώκεται κατά το δυνατόν η **σύμπτωση των σημείων καμπής στην οριζοντιογραφία και στη μηκοτομή** καθώς με αυτό τον τρόπο προκύπτει μια επιτυχημένη τρισδιάστατη χάραξη της οδού στον χώρο που αντιστοιχεί στις αρμονικές μορφές που υπάρχουν στο φυσικό εδαφικό ανάγλυφο. Σε αυτή την περίπτωση η προοπτική εικόνα της οδού είναι σαφής και ευχάριστη και η χάραξη πλεονεκτεί τόσο από άποψη δυναμικής της κίνησης όσο και από άποψη απορροής των ομβρίων. Αν η σύμπτωση των σημείων καμπής δεν είναι εφικτή, τότε οι καμπύλες της μηκοτομής πρέπει να περιέχονται στις καμπύλες της οριζοντιογραφίας. Ειδικά στα κυρτώματα που συνδυάζονται με καμπύλες της οριζοντιογραφίας, η αρχή της καμπύλης στην οριζοντιογραφία πρέπει να βρίσκεται πριν την αρχή του κυρτώματος σε επαρκή απόσταση για την αντίληψη της αλλαγής κατεύθυνσης της χάραξης δεδομένου ότι τα κυρτώματα της μηκοτομής μειώνουν δραστικά το παρεχόμενο μήκος ορατότητας. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ασφάλεια στα κυρτώματα, με την έγκαιρη αντίληψη της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

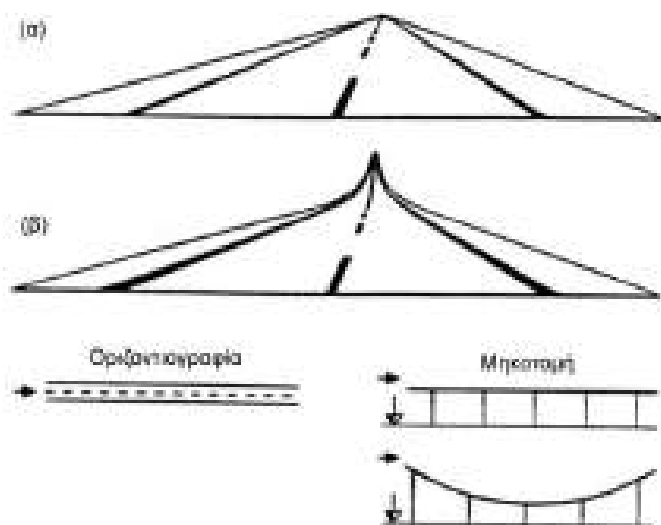


Εικόνα 2 Σύμπτωση Σημείων Καμπής Οριζοντιογραφίας - Μηκοτομής

Καθώς τα προβλήματα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό του έργου μπορεί να οφείλονται είτε μόνο στην οριζοντιογραφία, είτε μόνο στη μηκοτομή, ή ακόμη και στο λανθασμένο συνδυασμό τους είναι απαραίτητο ο μελετητής να γνωρίζει την **προοπτική εικόνα των μεμονωμένων στοιχείων** της οριζοντιογραφίας (ευθυγραμμία, καμπύλη) καθώς και της σύμπτωσής τους με στοιχεία της μηκοτομής.

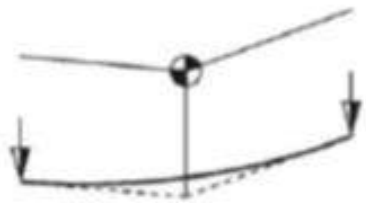
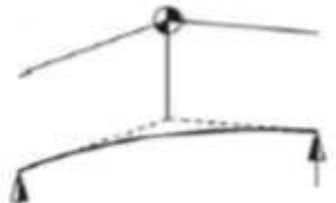
Όπως προαναφέρθηκε, η μεγάλου μήκους **ευθυγραμμία στην οριζοντιογραφία** δεν είναι επιθυμητή επειδή οδηγεί στη λανθασμένη εκτίμηση της απόστασης και της ταχύτητας των αντίθετα κινούμενων οχημάτων, την ανάπτυξη υπερβολικά υψηλών ταχυτήτων, τον κίνδυνο θάμβωσης του οδηγού από τους προβολείς των αντίθετα κινούμενων οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας, και στη δημιουργία κόπωσης στον οδηγό. Σαν τρόπος αντιμετώπισης των μειονεκτημάτων

της οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας προτείνεται η επιλογή κοιλώματος στη μηκοτομή με μεγάλη ακτίνα τόξου στρογγύλευσης.



Εικόνα 3 Προοπτική Απόδοση (α) Ευθυγραμμίας με Σταθερή Κλίση (β) Ευθυγραμμίας σε Κοίλωμα Μεγάλης Ακτίνας

Οι διαφορετικοί **συνδυασμοί ευθυγραμμίας με στοιχεία της μηκοτομής** μπορούν να οξύνουν ή να καταπολεμήσουν τα μειονεκτήματα της ευθυγραμμίας όπως γίνεται φανερό στην παρακάτω εικόνα. Στον συνδυασμό ευθυγραμμίας με μηκοτομή σταθερής κλίσης παρουσιάζεται μονοτονία στην οδήγηση και εντύπωση ακινησίας σε μεγάλα μήκη ευθυγραμμίας καθώς και θάμβωση από τους προβολείς οχημάτων της αντίθετης κατεύθυνσης κυκλοφορίας. Στον συνδυασμό ευθυγραμμίας με κοίλωμα υπάρχει καλή ορατότητα και οπτική καθοδήγηση λόγω αλλαγής στο σημείο εστίασης, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός αυτός να αποτελεί βελτιωμένη λύση χάραξης έναντι των μεγάλων ευθυγραμμιών με σταθερή κλίση. Στον συνδυασμό ευθυγραμμίας με κύρτωμα υπάρχει περιορισμός ορατότητας και δυσμενής οπτική καθοδήγηση. Για την αποφυγή του προβλήματος αυτού, συνιστάται οι ακτίνες των κυρτωμάτων να είναι μεγαλύτερες της ελάχιστης που προβλέπεται στις οδηγίες σχεδιασμού.

Οριζοντιογραφία/ Μηκοτομή	Προοπτική εικόνα
Σταθερή κατά μήκος κλίση	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία $R = \infty$ 	
Κοίλωμα	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία $R = \infty$ 	
Κύρτωμα	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία $R = \infty$ 	

Εικόνα 4 Προοπτική Εικόνα Ευθυγραμμίας με Σταθερή Κλίση, σε Κοίλωμα και σε Κύρτωμα

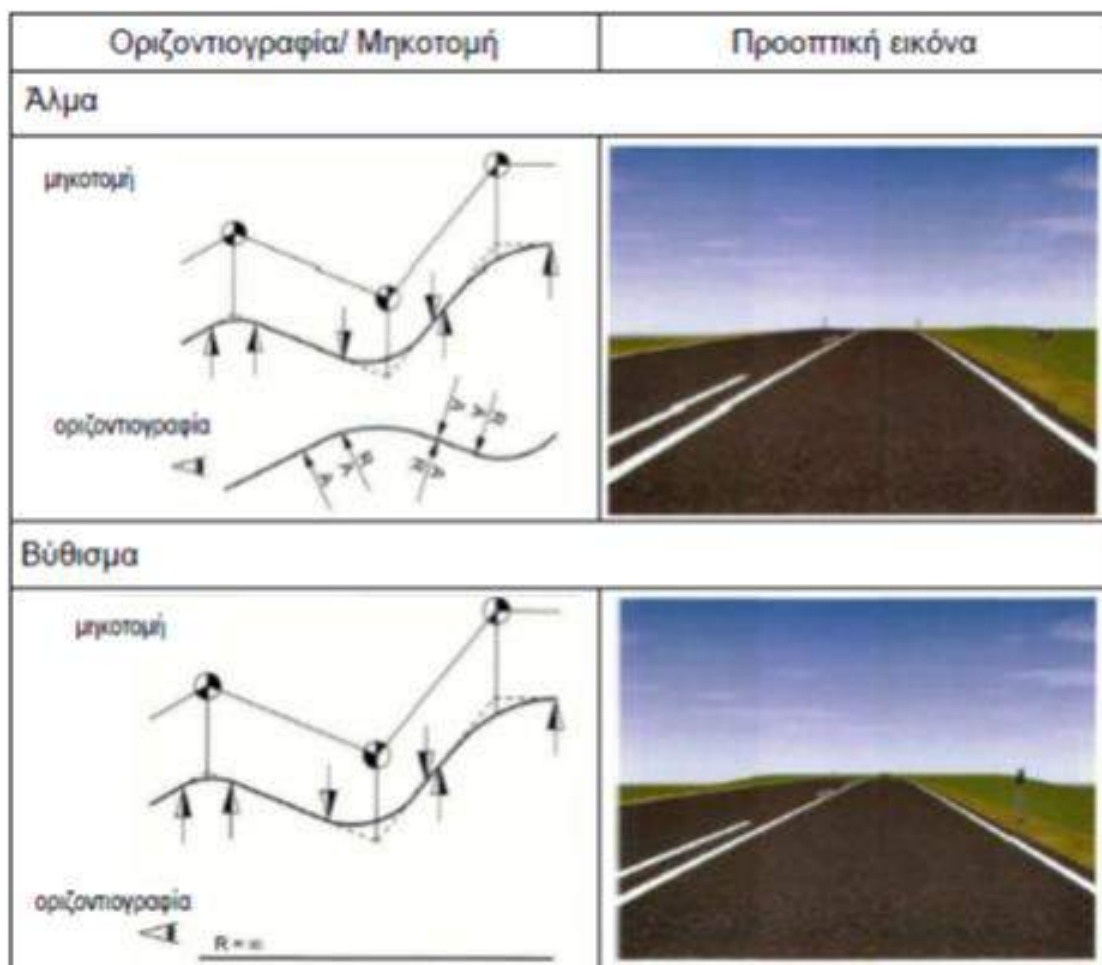
Στον **συνδυασμό οριζοντιογραφικής καμπύλης με σταθερή κατά μήκος κλίση** υπάρχει επαρκής ορατότητα και δυνατότητα καλής προσαρμογής στο περιβάλλον. Στον συνδυασμό με κοίλωμα επισημαίνεται ότι δημιουργείται η εντύπωση ότι η καμπύλη είναι πιο ανοικτή από ότι στην πραγματικότητα με αποτέλεσμα οι οδηγοί να αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες. Με τη χρήση μεγαλύτερων ακτινών στρογγύλευσης της μηκοτομής και μεγαλύτερων ακτινών στην οριζοντιογραφία μειώνεται η λανθασμένη αντίληψη, βελτιώνεται η οπτική καθοδήγηση και υπάρχει η δυνατότητα καλύτερης προσαρμογής στο περιβάλλον.

Στον συνδυασμό με κύρτωμα δημιουργείται η εντύπωση ότι η καμπύλη είναι πιο απότομη από ότι στην πραγματικότητα με αποτέλεσμα οι οδηγοί να μειώνουν δραστικά την ταχύτητά τους. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση μεγάλων ακτινών οριζοντιογραφίας. Σε αυτή την περίπτωση είναι επίσης απαραίτητος ο έλεγχος για επαρκή ορατότητα για στάση.

Οριζοντιογραφία/ Μηκοτομή	Προοπτική εικόνα
Σταθερή κατά μήκος κλίση	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία 	
Κοίλωμα	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία 	
Κύρτωμα	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία 	

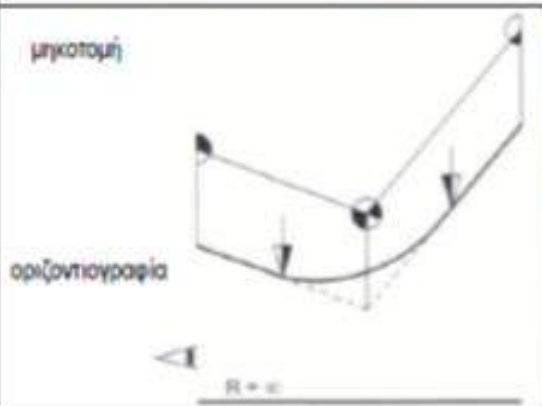
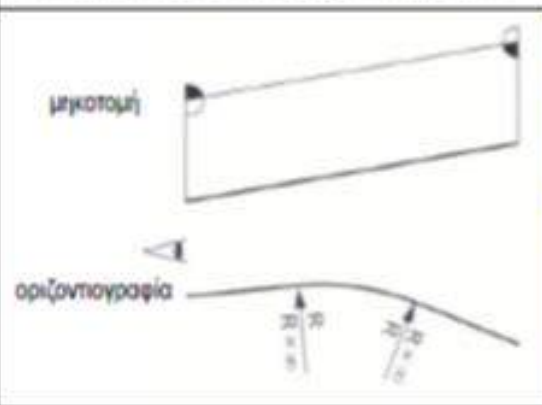
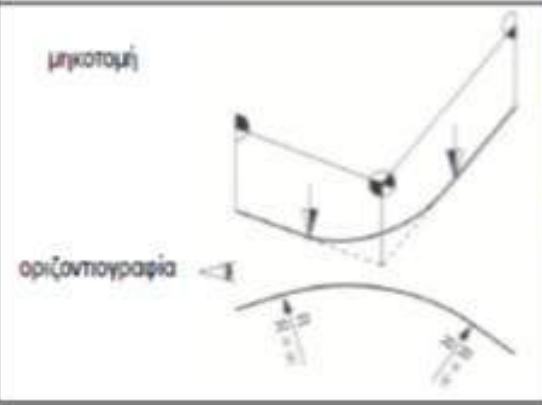
Εικόνα 5 Προοπτική Εικόνα Καμπύλης με Σταθερή Κλίση, σε Κοίλωμα και σε Κύρτωμα

Δύο προβλήματα υψηλής επικινδυνότητας που προκύπτουν από κακό συνδυασμό οριζοντιογραφίας – μηκοτομής είναι **το άλμα και το βύθισμα**. Το άλμα εμφανίζεται στην περίπτωση που έχουμε συνεχόμενες αντίρροπες καμπύλες στην οριζοντιογραφία αλλά η αλλαγή κατεύθυνσης αποκρύπτεται από τον οδηγό λόγω της ύπαρξης κοιλώματος ανάμεσα σε δύο κυρτώματα στην μηκοτομή. Το ενδιάμεσο κοίλωμα σε συνδυασμό με τα κυρτώματα οδηγεί στην απόκρυψη τμήματος της χάραξης και στην επανεμφάνισή της σε διεύθυνση αντίθετη της αναμενόμενης, λόγω της αντίρροπης δεύτερης καμπύλης της οριζοντιογραφίας με αποτέλεσμα ο οδηγός να βρίσκεται προ εκπλήξεως. Στο βύθισμα υπάρχει απόκρυψη τμήματος της χάραξης λόγω της ύπαρξης κοιλώματος μεταξύ δύο κυρτωμάτων στην μηκοτομή με προφανή κίνδυνο μετωπικών συγκρούσεων. Ως μέσο αντιμετώπισης των συγκεκριμένων προβλημάτων προτείνεται η χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ακτινών στρογγύλευσης στη μηκοτομή καθώς και η αποφυγή τμημάτων σταθερής κατά μήκος κλίσης μεταξύ των διαδοχικών στρογγυλεύσεων.



Εικόνα 6 Προοπτική Εικόνα του Άλματος και του Βυθίσματος

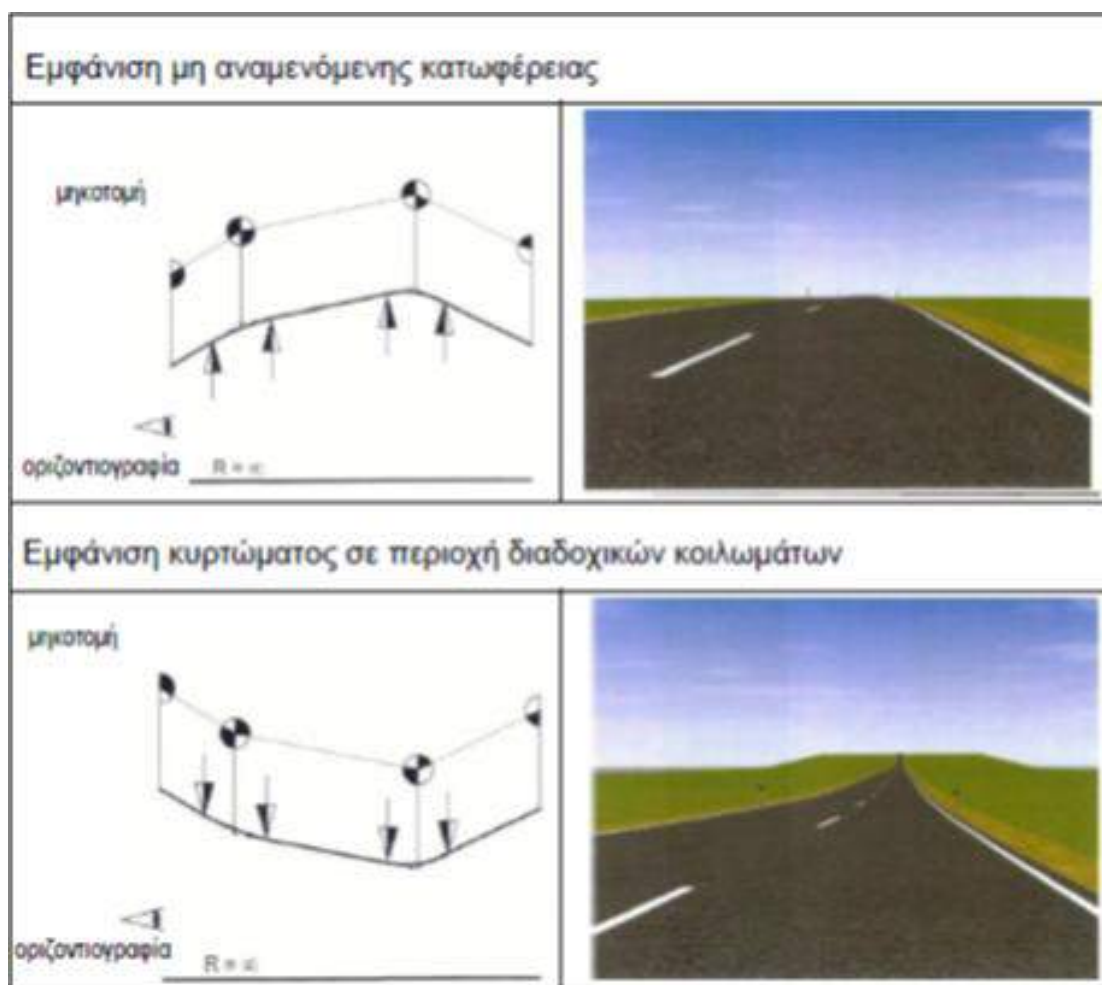
Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι ελάχιστες προτεινόμενες από τους κανονισμούς ακτίνες στις οριζοντιογραφικές καμπύλες ή στα τόξα στρογγύλευσης της μηκοτομής, μπορεί να έχουμε την εμφάνιση **θλάσεων στην μηκοτομή ή στην οριζοντιογραφία**, σημεία δηλαδή στα οποία η οδός φαίνεται να «σπάει». Για την αποφυγή των θλάσεων συνιστάται η εφαρμογή μεγαλύτερων ακτινών στρογγύλευσης στη μηκοτομή ιδιαίτερα σε τμήματα με μεγάλη διαφορά των κατά μήκος κλίσεων.

Οριζοντιογραφία/ Μηκοτομή	Προοπτική εικόνα
Οπτική θλάση στη μηκοτομή	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία $R = \infty$	
Οπτική θλάση στην οριζοντιογραφία	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία	
Οπτική θλάση στη μηκοτομή και στην οριζοντιογραφία	
μηκοτομή  οριζοντιογραφία	

Εικόνα 7 Προοπτική Εικόνα Θλάσεων σε Μηκοτομή και Οριζοντιογραφία

Η τελευταία κατηγορία οπτικών προβλημάτων που περιγράφεται στους ελληνικούς κανονισμούς είναι οι οπτικές παραμορφώσεις που παρουσιάζονται στην περίπτωση ύπαρξης συνεχόμενων ομόρροπων στρογγυλεύσεων στην μηκοτομή.

Έπειτα από δύο συνεχόμενα κυρτώματα εμφανίζεται κατωφέρεια την οποία είναι αδύνατον να αντιληφθεί έγκαιρα ο οδηγός, καθώς και στην περίπτωση συνεχόμενων κοιλωμάτων δημιουργείται η εντύπωση ύπαρξης κυρτώματος ανάμεσά τους όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Για την αντιμετώπιση των συγκεκριμένων ελαττωμάτων συνιστάται η αποφυγή τμημάτων με σταθερή κατά μήκος κλίση μεταξύ δύο όμοιων στρογγυλεύσεων στη μηκοτομή με ενοποίηση των δύο τόξων στρογγύλευσης.

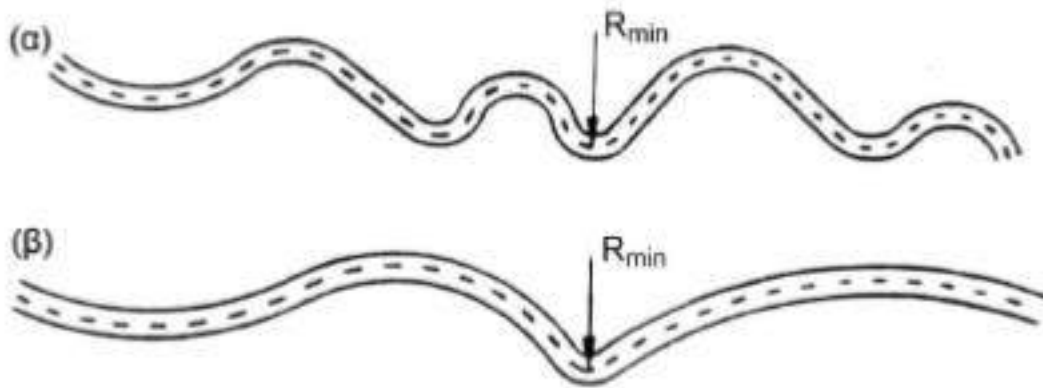


Εικόνα 8 Προοπτική Εικόνα Ύπαρξης Συνεχόμενων Ομόρροπων Στρογγυλεύσεων

2.2 Έρευνα σε Διεθνείς Κανονισμούς

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μία **ανασκόπηση σε κανονισμούς ξένων κρατών** προκειμένου να συμπληρωθούν οι περιγραφές των προβληματικών περιπτώσεων και από άλλη οπτική πλευρά αλλά και να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα που δεν περιγράφονται από τους ελληνικούς κανονισμούς. Έγινε έρευνα στους κανονισμούς διαφόρων χωρών με έμφαση κυρίως στους γερμανικούς (5), τους αμερικάνικους (6; 7), τους καναδικούς (10) και τους αυστραλιανούς (16).

Όσον αφορά στην **επιλογή των ακτίνων της οριζοντιογραφίας**, τόσο στους Καναδικούς όσο και στους Αμερικανικούς κανονισμούς τονίζεται ότι η χρήση της ελάχιστης επιτρεπόμενης ακτίνας σε μια καμπύλη θα πρέπει κατά το δυνατό να αποφεύγεται, γιατί αντιστοιχεί σε οριακή κατάσταση. Εξάλλου, οι μεγάλου μήκους ανοιχτές καμπύλες συνθέτουν μια ευχάριστη χάραξη και προσαρμόζονται καλύτερα στο τοπίο. Στους Γερμανικούς κανονισμούς σημειώνεται ότι η ασφάλεια σε μια έντονα καμπυλόγραμμη χάραξη δεν μειώνεται από μια καμπύλη μικρότερης ακτίνας διότι οι συχνές αλλαγές κατευθύνσεων συνδυάζονται με χαμηλές ταχύτητες και ο κίνδυνος ατυχημάτων παραμένει περιορισμένος. Είναι όμως σημαντικό να αποφεύγονται θέσεις αιφνιδιασμού του οδηγού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Άλλωστε, και στους Αμερικανικούς και στους Καναδικούς κανονισμούς 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.

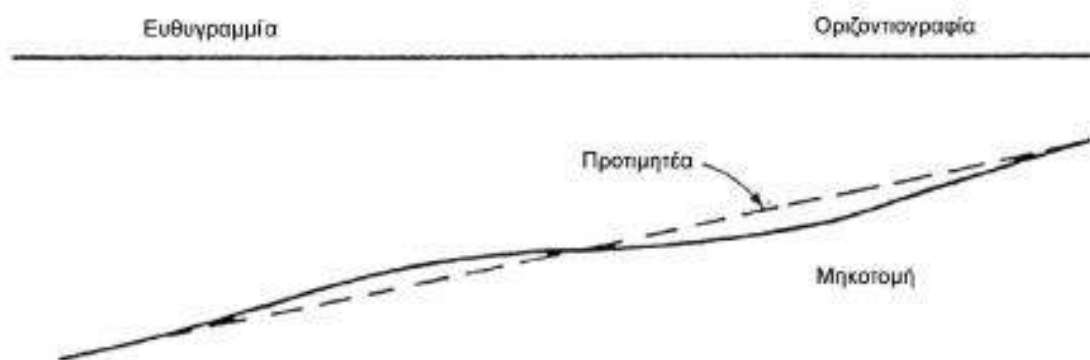


Εικόνα 9 Παραδείγματα (α) Ορθής Αλληλουχίας Καμπυλών (β) Εσφαλμένης Αλληλουχίας Καμπυλών

Στους Αμερικανικούς κανονισμούς τονίζεται ακόμη ότι η **ισορροπία μεταξύ των μηκών των ευθυγράμμων τμημάτων και των καμπύλων** στην οριζοντιογραφία αποτελεί προϋπόθεση για επιτυχημένη χάραξη της οδού στον χώρο. Έτσι, θεωρείται κακός σχεδιασμός η ευθυγραμμία μεγάλου μήκους με μικρές εφαπτόμενες καμπύλες ενώ συνιστάται πιο καμπυλόγραμμη χάραξη με αρμονικότερη σχέση μεταξύ μηκών ευθυγραμμίας και καμπύλης. Επίσης, και στους Καναδικούς

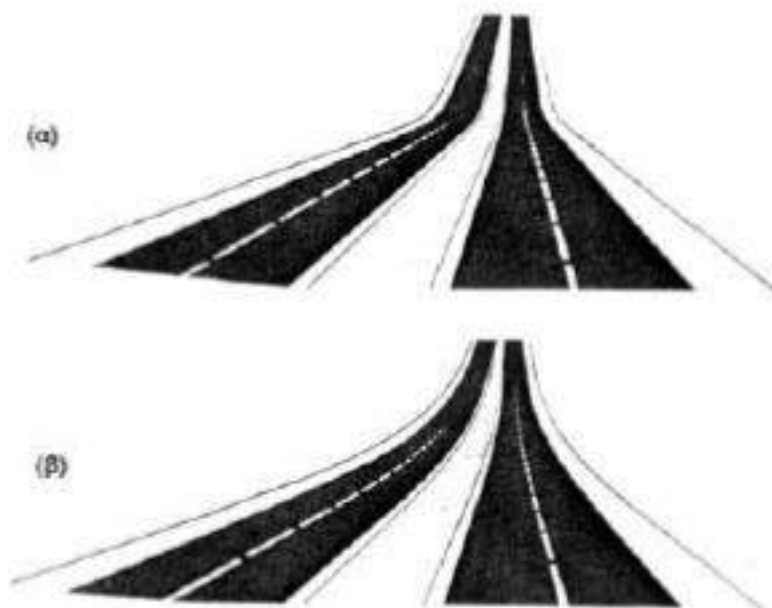
κανονισμούς επισημαίνεται ότι η καμπυλόγραμμη χάραξη είναι προτιμότερη από τη χάραξη που περιλαμβάνει μεγάλους μήκους ευθυγραμμίες και μικρού μήκους καμπύλες διότι με αυτό τον τρόπο οι οδηγοί παραμένουν σε μεγαλύτερη εγρήγορση.

Σχετικά με τα στοιχεία της μηκοτομής, κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς η **σταθερή κλίση στη μηκοτομή** δεν δημιουργεί προβλήματα στη χάραξη και επιπλέον συμβάλλει σε ευχάριστη και φιλική προς το χρήστη προοπτική εικόνα της οδού. Στους Αμερικανικούς και Καναδικούς κανονισμούς συμπληρώνεται μάλιστα ότι η σταθερή κατά μήκος κλίση θα πρέπει σαφώς να προτιμάται σε σύγκριση με διαδοχικές κοίλες και κυρτές καμπύλες, διότι οι διαδοχικές βυθίσεις της οδού περιορίζουν την ορατότητα και μπορεί να οδηγήσουν σε ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης.

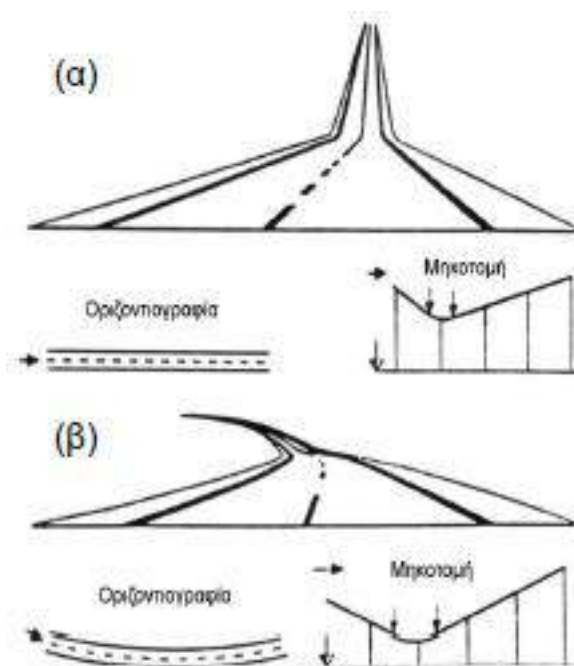


Εικόνα 10 Ευθύγραμμη Οριζοντιογραφία. Προτιμητέα η Σταθερή Κλίση Έναντι Διαδοχικών Καμπυλών

Το **κοίλωμα στη μηκοτομή** σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς είναι ένα στοιχείο που προσφέρει ιδιαίτερα καλή εποπτεία της οδού και συνιστάται η εφαρμογή του όπου είναι δυνατόν. Τόσο στους γερμανικούς όσο και στους Καναδικούς κανονισμούς όμως επισημαίνεται ότι θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση κοιλωμάτων μικρού σχετικά μήκους, που είναι ορατά από μεγάλη απόσταση (για παράδειγμα στο τέλος οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας με σταθερή κατά μήκος κλίση). Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατό να εμφανιστεί το φαινόμενο της οπτικής θλάσης στη βάση του κοιλώματος το οποίο γίνεται αισθητό και σε περίπτωση καμπυλόγραμμης οριζοντιογραφίας όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



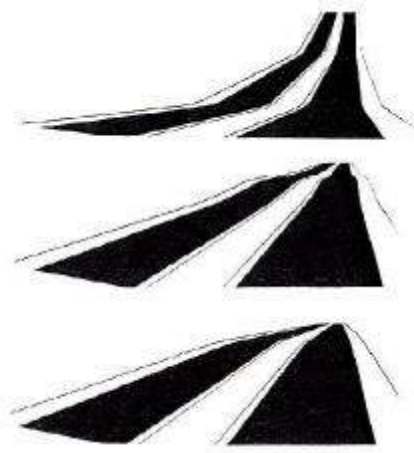
Εικόνα 11 Κοίλωμα (α) Μικρής Ακτίνας - Δημιουργία Θλάσης (β) Μεγάλης Ακτίνας



Εικόνα 12 Εμφάνιση Θλάσης σε (α) Ευθυγραμμία (β) Καμπύλη

Επίσης επισημαίνεται ότι ένα μικρό ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλωμάτων μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση κυρτώματος και επομένως πρέπει να αποφεύγεται. Αντίστοιχα, μικρό ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ διαδοχικών ορατών κυρτωμάτων μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση κοιλώματος. Μηκοτομές αυτής της μορφής συναντώνται συχνά όταν η οδός περνά πάνω από τεχνικά έργα (π.χ. γέφυρες). Τα παραπάνω οπτικά ελαττώματα επισημαίνονται και

από τους Καναδικούς κανονισμούς, οι οποίοι τα χαρακτηρίζουν ως “**τεθλασμένο κατάστρωμα οδού**” (broken back).



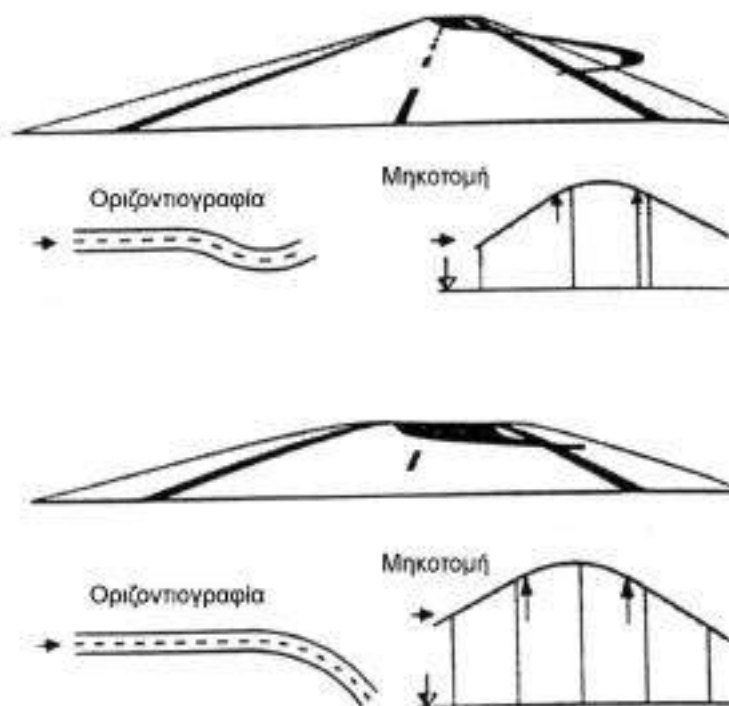
Εικόνα 13 Τεθλασμένο Κατάστρωμα Οδού

Στους Γερμανικούς κανονισμούς αναφέρεται ότι ο **συνδυασμός κοίλων τμημάτων στη μηκοτομή με οριζοντιογραφικές καμπύλες** μπορεί να οδηγήσει τον οδηγό σε λάθος εκτιμήσεις. Η επαλληλία αυτή δίνει δηλαδή την εντύπωση ότι η καμπύλη είναι πιο ανοιχτή απ’ ότι στην πραγματικότητα και ο οδηγός μπορεί να μη μειώσει όσο χρειάζεται την ταχύτητά του. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου προτείνεται ως λύση είτε το κοίλωμα να αρχίζει αρκετά 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 νωρίτερα, ώστε η οριζοντιογραφική καμπύλη να αρχίζει περί το τέλος του.

Η χάραξη σε περιοχές **κυρτού τόξου στρογγύλευσης μηκοτομής** καθορίζεται από τις απαιτήσεις ορατότητας καθώς μειώνει δραστικά το παρεχόμενο μήκος ορατότητας. Το κύρτωμα μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην προοπτική εικόνα της οδού, όταν συνδυαστεί με οριζοντιογραφική καμπύλη διότι μπορεί να εμποδίσει την έγκαιρη αντίληψη της καμπύλης από τον οδηγό. Στους Γερμανικούς κανονισμούς, συμπληρώνεται ακόμη ότι σε λοφώδη και ορεινά εδάφη θα πρέπει οι ακτίνες των κυρτών καμπύλων της μηκοτομής να είναι μεγαλύτερες από αυτές των κοίλων καμπύλων, ώστε να βελτιώνονται τα διαθέσιμα μήκη ορατότητας. Αντίθετα, σε πεδινά εδάφη, όπου εμφανίζονται μικρότερες υψομετρικές διαφορές (μέχρι 10m), συνιστάται να είναι μεγαλύτερες οι ακτίνες των κοίλων καμπύλων από αυτές των κυρτών, ώστε με την αύξηση του μήκους των κοιλωμάτων να γίνει η χάραξη οπτικά φιλικότερη.

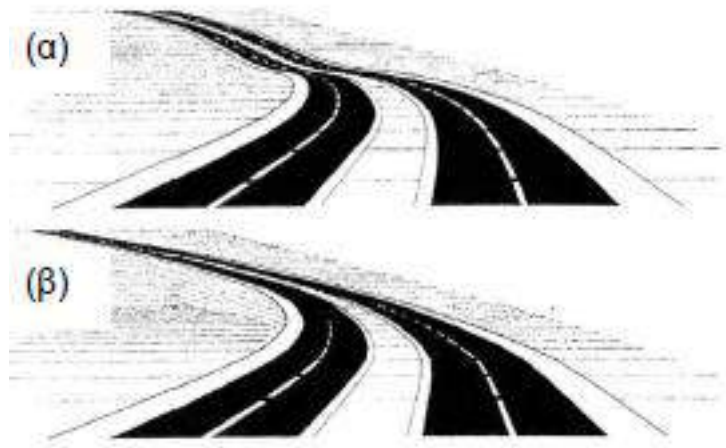
Σχετικά με την **επαλληλία οριζοντιογραφικής καμπύλης με κύρτωμα** στους Γερμανικούς κανονισμούς αναφέρεται ότι η αλλαγή της κατεύθυνσης της οδού θα πρέπει να είναι σαφώς αναγνωρίσιμη μέσα στο διαθέσιμο μήκος ορατότητας. Όπως προαναφέρθηκε το κύρτωμα της μηκοτομής περιορίζει δραστικά το μήκος ορατότητας και θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η αλλαγή κατεύθυνσης μπορεί να

γίνει εγκαίρως αντιληπτή. Στους Αμερικανικούς κανονισμούς επίσης, τονίζεται ότι κλειστή οριζοντιογραφική καμπύλη δεν πρέπει να βρίσκεται κοντά σε έντονη κυρτή καμπύλη μηκοτομής, επειδή ο οδηγός δεν μπορεί εύκολα να αντιληφθεί την αλλαγή στην οριζοντιογραφία, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Θα πρέπει η οριζοντιογραφική καμπύλη να προηγείται της καμπύλης στη μηκοτομή και να επιλέγεται τιμή για την ακτίνα στην οριζοντιογραφία επαρκώς μεγαλύτερη από την ελάχιστη που απαιτείται για τη συγκεκριμένη ταχύτητα μελέτης.



Εικόνα 14 Καμπύλες σε Κυρτώματα

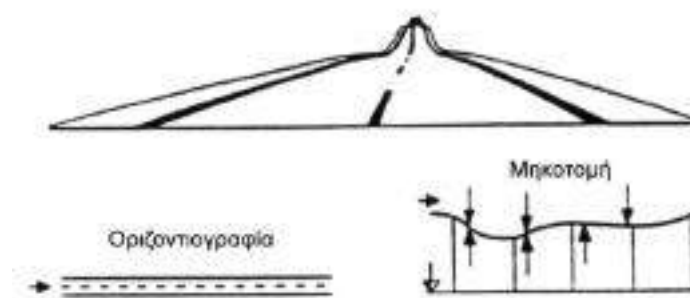
Στους Γερμανικούς κανονισμούς, για επαρκή ασφάλεια και υψηλή ποιότητα κυκλοφορίας σε μια οδό, θεωρείται ως προϋπόθεση η εικόνα της οδού να είναι ομαλή και η διαδρομή να παρέχει εποπτικότητα και να γίνεται εγκαίρως και μονοσήμαντα κατανοητή. Σημαντικότατο ρόλο έχει και η καλή οπτική καθοδήγηση, η οποία επιτυγχάνεται με την ορατότητα του καταστρώματος της οδού στον χώρο καθώς και με την ύπαρξη κατάλληλης διαγράμμισης στις οριογραμμές και στον διαχωρισμό των λωρίδων κυκλοφορίας. Τόσο στους Αμερικανικούς και στους Καναδικούς κανονισμούς όσο και στους Αυστραλιανούς κανονισμούς θεωρείται σημαντική η **ισορροπία των μεγεθών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής**. Θα πρέπει δηλαδή να αποφεύγεται ο συνδυασμός απότομης αλλαγής κατεύθυνσης στην οριζοντιογραφία με ήπια αλλαγή στη μηκοτομή και το αντίστροφο. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγεται η επαλληλία ευθυγραμμίων ή ανοιχτών οριζοντιογραφικών καμπύλων με κατακόρυφες καμπύλες μικρού μήκους



Εικόνα 15 Ανοιχτή Οριζοντιογραφική Καμπύλη με Κοίλωμα (α) Μικρού Μήκους (β) Μεγάλου Μήκους

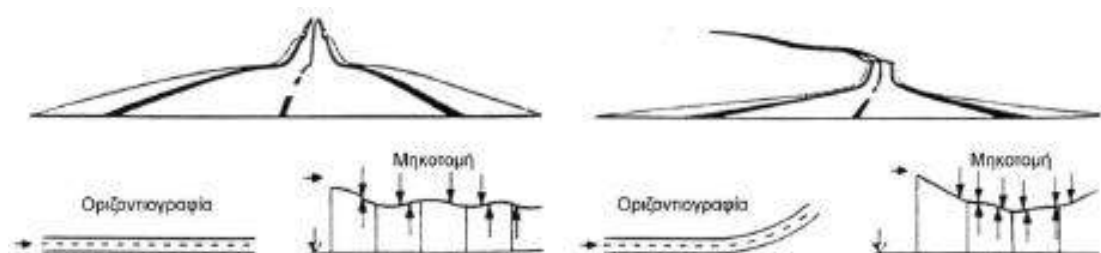
Στους αμερικανικούς, τους γερμανικούς και τους καναδικούς κανονισμούς εξετάζονται τα **χαρακτηριστικά οπτικά προβλήματα** που μπορεί να εμφανισθούν στην εικόνα της οδού στον χώρο εξαιτίας ανεπιτυχούς συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Τα σημαντικότερα από αυτά τα προβλήματα είναι η τοπική υπερύψωση, ο κυματισμός, το βύθισμα και το άλμα ή ασυνέχεια της οδού.

Το φαινόμενο της **τοπικής υπερύψωσης** (Aufwölbung) δημιουργείται, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν η χάραξη ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, χωρίς κάποιο τμήμα της να αποκρύπτεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



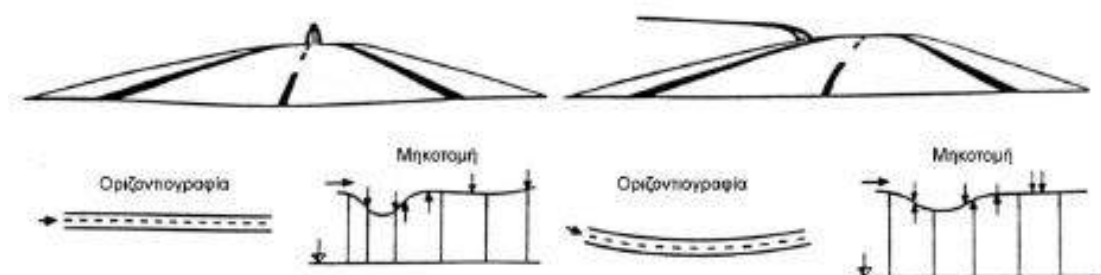
Εικόνα 16 Φαινόμενο Τοπικής Υπερύψωσης

Πολλαπλές διαδοχικές τοπικές υπερυψώσεις οδηγούν κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς σε **κυματισμό** (Flattern) της οδού. Το φαινόμενο του κυματισμού περιγράφεται και από τους Αμερικανικούς και Καναδικούς κανονισμούς. Στους Αμερικανικούς κανονισμούς μάλιστα τονίζεται ότι όταν η οριζοντιογραφία είναι καμπυλόγραμμη και το οπτικό πεδίο ελεύθερο, ο οδηγός μπορεί να διακρίνει την πλευρική όψη της περιοχής όπου εμφανίζεται ο κυματισμός, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να γίνεται πιο έντονο, καθώς αποκαλύπτεται και η πιο μικρή υπερύψωση.

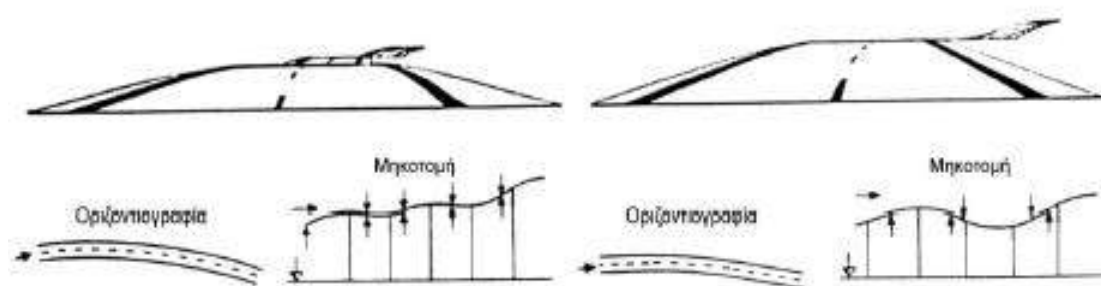


Εικόνα 17 Φαινόμενο Κυματισμού

Στην περίπτωση που η μηκοτομή ακολουθεί πάλι (όπως στην υπερύψωση) βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, αλλά υπάρχουν τμήματα της οδού που χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού, δημιουργείται, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, **βύθισμα** (Tauchen) της οδού. Στην περίπτωση που το βύθισμα είναι μεγάλο δεν υπάρχει καθόλου ορατότητα σε κάποιο τμήμα της οδού, ενώ στο μικρό βύθισμα ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να προκληθούν ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Το φαινόμενο του βυθίσματος περιγράφεται και στους Αμερικανικούς και στους Καναδικούς κανονισμούς και χαρακτηρίζεται ως φαινόμενο “λούνα παρκ” (roller coaster effect).

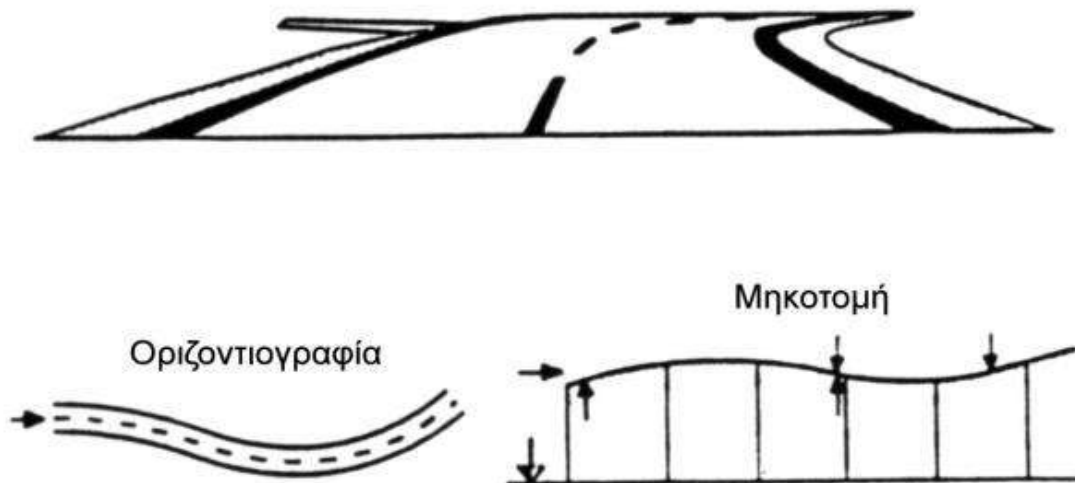


Εικόνα 18 Βύθισμα σε Ευθυγραμμία και σε Καμπύλη

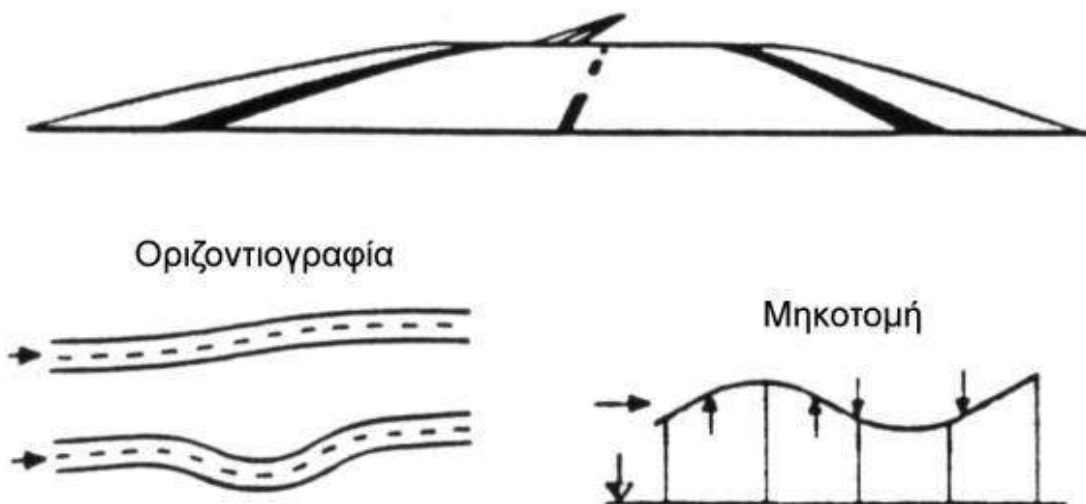


Εικόνα 19 Μικρό Βύθισμα (Αριστερά) και Μεγάλο Βύθισμα (Δεξιά)

Όταν ταυτόχρονα με το βύθισμα η χάραξη κάμπτεται, τότε δημιουργείται η εντύπωση **άλματος** (Springen) της οδού και η αλλαγή κατεύθυνσης της οδού ενδέχεται να μην γίνεται εγκαίρως αντιληπτή από τους οδηγούς. Στην πρώτη εικόνα η αλλαγή κατεύθυνσης της οδού προς τα αριστερά δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται ότι και οι δύο εναλλακτικές διαμορφώσεις της οριζοντιογραφίας εμφανίζουν την ίδια προοπτική εικόνα, δηλαδή η αλληλουχία δεξιάς και αριστερής στροφής δεν γίνεται εγκαίρως αντιληπτή από τον οδηγό.



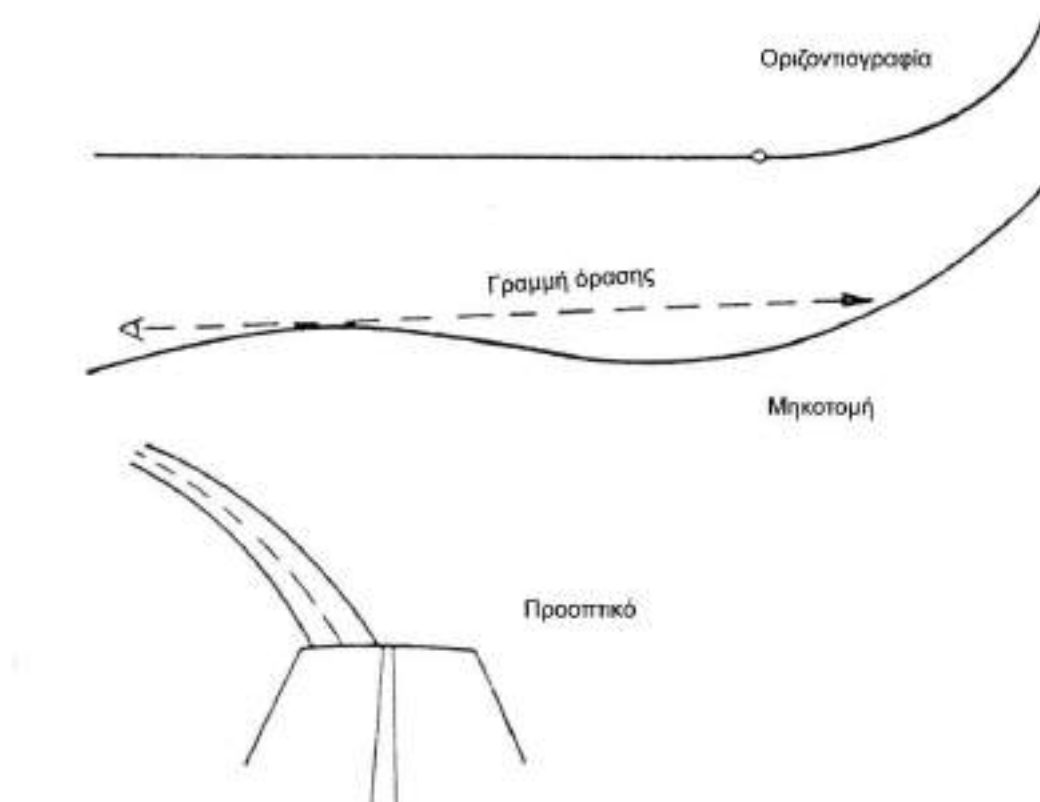
Εικόνα 20 Άλμα της Οδού στα Αριστερά



Εικόνα 21 Άλμα με Μετατόπιση

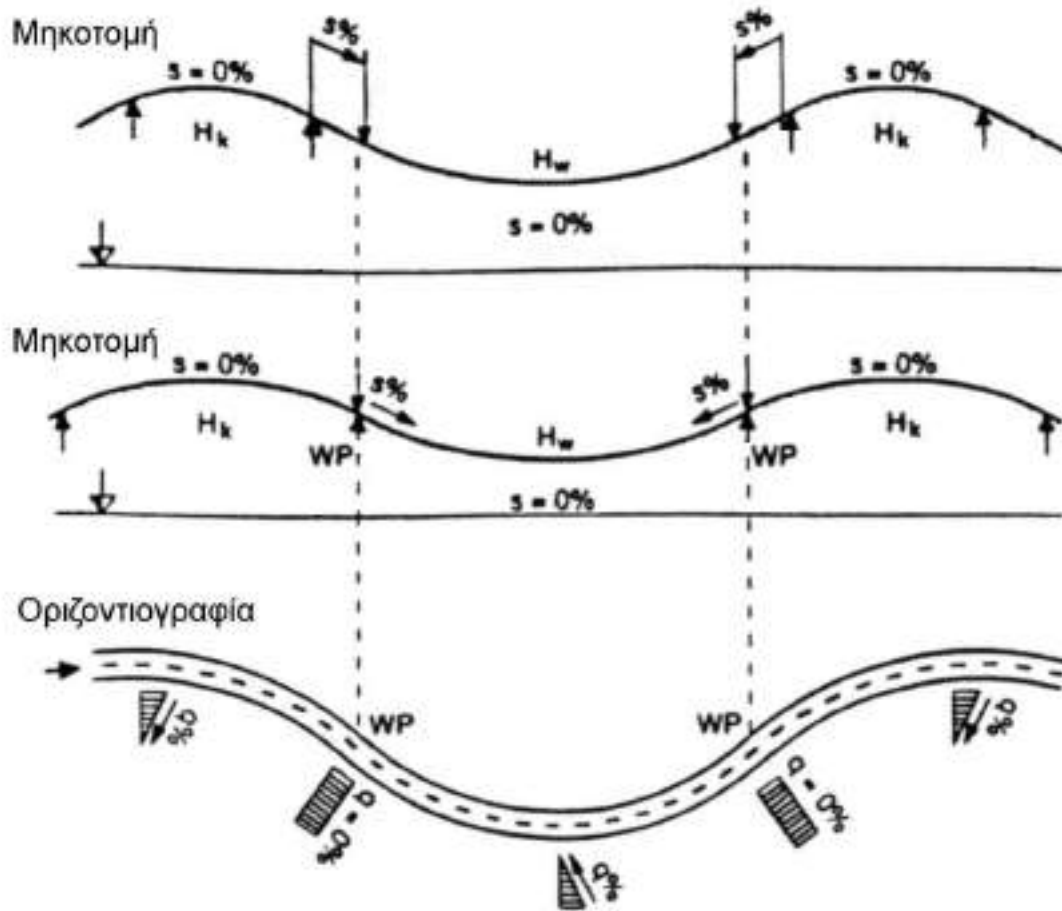
Το φαινόμενο του άλματος επισημαίνεται και στους Αμερικανικούς κανονισμούς, με την ονομασία **ασυνέχεια**. Αναφέρεται δηλαδή ότι όταν η αρχή οριζοντιογραφικής καμπύλης κρύβεται από τον οδηγό από παρεμβαλλόμενο κύρτωμα

ενώ η συνέχεια της καμπύλης είναι ορατή στο βάθος της προοπτικής εικόνας, τότε παρατηρείται ασυνέχεια της οδού.

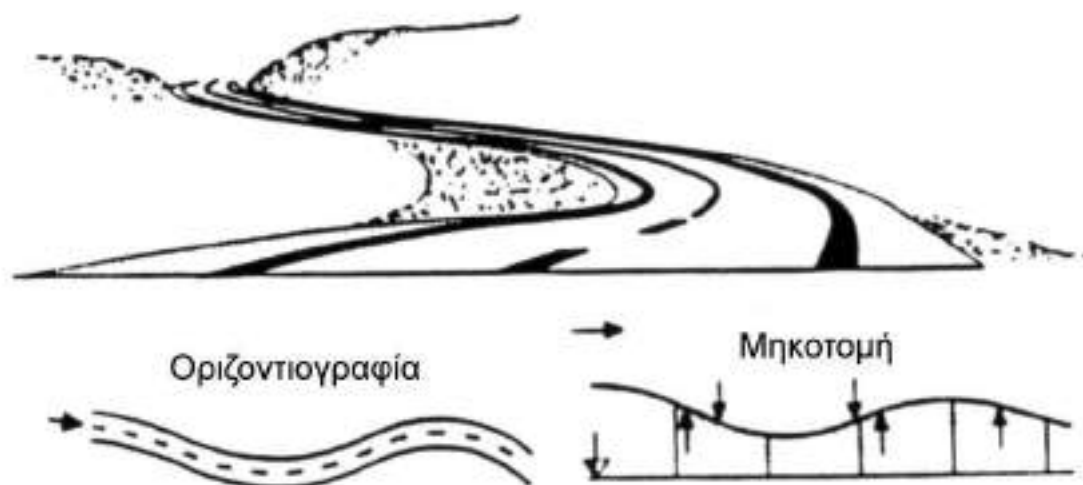


Εικόνα 22 Ασυνέχεια στην Εικόνα της Οδού

Τόσο στους Γερμανικούς, όσο και στους Αμερικανικούς και Καναδικούς κανονισμούς, τονίζεται η ανάγκη για **εναρμόνιση της οριζοντιογραφίας με τη μηκοτομή**, ώστε να εξασφαλίζεται οπτική άνεση από τη θέση του οδηγού, με αποτέλεσμα καλύτερη και ασφαλέστερη κυκλοφοριακή λειτουργία της οδού. Στους Αμερικανικούς κανονισμούς επίσης επισημαίνεται ότι ανεπιτυχείς συνδυασμοί οριζοντιογραφίας-μηκοτομής είναι δυνατό να υποβαθμίσουν τα πλεονεκτήματα κάθε μιας χωριστά και να επιδεινώσουν τα μειονεκτήματά τους, ενώ αντίθετα η αρτιότητα στη μελέτη τους και στο συνδυασμό τους αυξάνει τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια, επιτρέπει τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και βελτιώνει την εμφάνιση της οδού, συνήθως χωρίς επιβάρυνση στο κόστος. Κατά τους Γερμανικούς κανονισμούς, μια χάραξη είναι ιδιαίτερα επιτυχημένη όταν τα σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή περίπου συμπίπτουν. Σε αυτή την περίπτωση η προοπτική εικόνα της οδού γίνεται ιδιαίτερα ευχάριστη και η χάραξη πλεονεκτεί τόσο από άποψη δυναμικής της κίνησης όσο και από άποψη απορροής των ομβρίων.

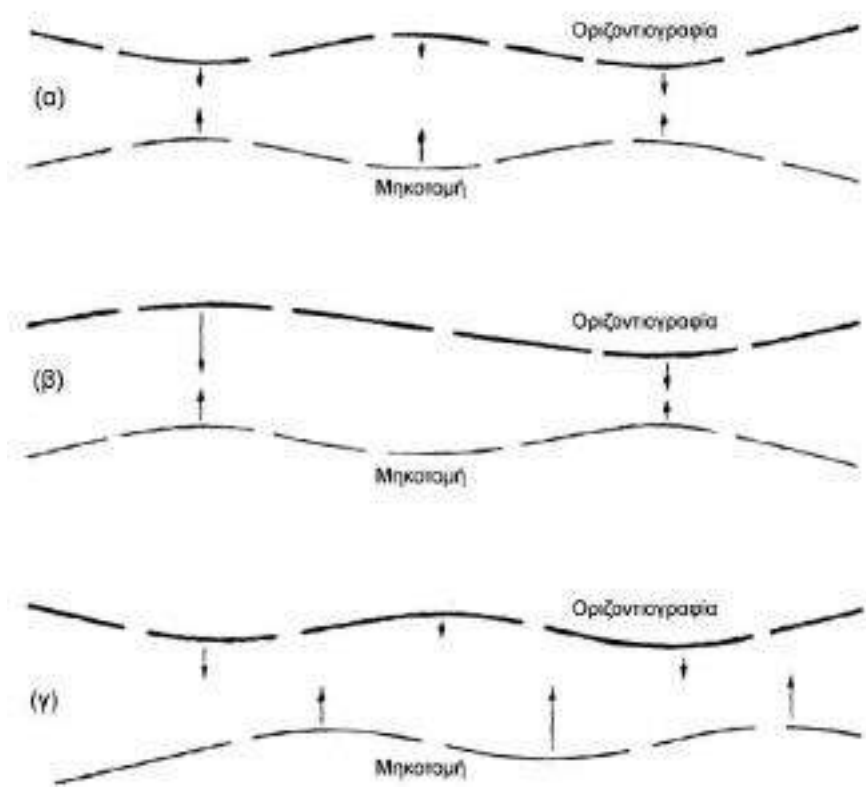


Εικόνα 23 Σύμπτωση Σημείων Καμπής Οριζοντιογραφίας - Μηκοτομής



Εικόνα 24 Οπτικό Αποτέλεσμα Σύμπτωσης Σημείων Καμπής

Η παραπάνω οδηγία των Γερμανικών κανονισμών για τη **σύμπτωση των σημείων καμπής** είναι δυνατό να εφαρμοσθεί μόνο όταν το πλήθος των σημείων καμπής στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή είναι ίδιο. Σε περίπτωση που εμφανίζεται διαφορετικό πλήθος σημείων καμπής, οι Γερμανικοί κανονισμοί αναφέρουν ότι η χάραξη θεωρείται και πάλι επιτυχημένη όταν τα σημεία καμπής βρίσκονται κατά το δυνατόν κοντά το ένα στο άλλο, και τα υπεράριθμα είναι ανάμεσά τους. Στους Αμερικανικούς κανονισμούς, σχετικά με το θέμα της σύμπτωσης των σημείων καμπής, περικλείονται οι ίδιες οδηγίες με τους Γερμανικούς κανονισμούς. Έτσι, αναφέρεται ότι όταν οι κορυφές οριζοντιογραφίας και μηκοτομής συμπίπτουν δημιουργείται μια ευχάριστη εμφάνιση τρισδιάστατης καμπύλης S με διαδοχικά κοιλώματα-κυρτώματα. Στην περίπτωση που το πλήθος των κορυφών διαφέρει, είναι δυνατό να παραλειφθεί μια φάση (το μήκος δηλαδή μεταξύ διαδοχικών κορυφών). Τέλος, όταν οι κορυφές της μηκοτομής συμπίπτουν με τα σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία, δηλαδή ολόκληρη η μηκοτομή είναι μετατοπισμένη κατά το μισό του μήκους μεταξύ των κορυφών (μισή φάση), η χάραξη χαρακτηρίζεται ως αποτυχημένη.



Εικόνα 25 Συσχέτιση Κορυφών (α) Σύμπτωση Κορυφών (β) Παράλειψη Φάσης (γ) Ανεπιτυχής Συνδυασμός

2.3 Συνοπτική Παρουσίαση Πιθανών Προβλημάτων

Από την σύντομη αυτή διερεύνηση διαπιστώθηκε ότι οι κανόνες των διαφόρων χωρών είναι συμπληρωματικοί μεταξύ τους. Υπάρχουν πολλά κοινά σημεία το οποίο ήταν αναμενόμενο, όμως εξετάζονται από διαφορετικές οπτικές σκοπιές και από τη σύνθεσή τους προκύπτει μία **πιο ολοκληρωμένη και σφαιρική εικόνα** των συνήθων προβλημάτων που παρατηρούνται στην οδοποιία.

Στους κανονισμούς όλων των χωρών επισημαίνονται σφάλματα σχεδιασμού που σχετίζονται με τη **δημιουργία οπτικών παραμορφώσεων**. Τα συγκεκριμένα προβλήματα είναι τα συχνότερα σε εμφάνιση, ταυτόχρονα όμως είναι και τα απλούστερα στην αντιμετώπιση τους αφού μπορούν να αποφευχθούν εντελώς ακολουθώντας τις γενικές οδηγίες μελέτης των κανονισμών.

Τα **επικινδυνότερα και δυσκολότερα στην αντιμετώπιση σφάλματα** όμως είναι αυτά που δεν αναφέρονται σε λανθασμένο σχεδιασμό μίας μεμονωμένης καμπύλης της οριζοντιογραφίας ή της μηκοτομής αλλά στην αλληλουχία τους και οδηγούν στην απόκρυψη τμήματος της χάραξης από τον οδηγό. Παραδείγματα τέτοιων προβλημάτων αποτελούν οι τοπικές υπερυψώσεις, ο κυματισμός, τα βυθίσματα και τα άλματα ή ασυνέχειες του οδοστρώματος.

Για τον εντοπισμό των προβλημάτων του είδους αυτού είναι απαραίτητη η μελέτη της χάραξης ως ένα ενιαίο σύνολο και η εξέταση της προοπτικής εικόνας της οδού **από τα μάτια του οδηγού**. Στο στόχο αυτό βρίσκουν μεγάλη χρησιμότητα οι τεχνολογίες οπτικοποίησης. Για το λόγο αυτό θα επιχειρηθεί στα επόμενα κεφάλαια η δημιουργία προοπτικών εικόνων της τοπικής υπερύψωσης, του κυματισμού, του βυθίσματος και του άλματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του φωτορεαλισμού ώστε έπειτα να συγκριθούν αυτά τα αποτελέσματα με πιο παραδοσιακές μεθόδους απεικόνισης.

2.4 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία σύνθεση της ελληνικής και ξενόγλωσσης βιβλιογραφίας ώστε να προσδιοριστούν οι κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται καθώς και τα προβλήματα στο σχεδιασμό που αναφέρονται και να κατηγοριοποιηθούν τα τελευταία ανάλογα με την επικινδυνότητά τους και την ευκολία με την οποία εντοπίζονται στο υπό μελέτη έργο.

Αφού αναλυθούν οι βασικές αρχές σχεδίασης σχετικά με τον διαχωρισμό των οδών σε λειτουργικές κατηγορίες και την επιλογή της ταχύτητας μελέτης ώστε να προκύψουν οι οριακές τιμές των μεγεθών της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, παρουσιάζονται οι γενικές οδηγίες χάραξης της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Έπειτα, προσδιορίζονται τα στοιχεία που επηρεάζουν την ασφάλεια με κυριότερο το μήκος ορατότητας που εξαρτάται άμεσα από τον συνδυασμό οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Στη συνέχεια τονίζεται η σημασία της ύπαρξης ισορροπίας τόσο μεταξύ ευθυγραμμίας και καμπύλων τμημάτων της οριζοντιογραφίας όσο και μεταξύ των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής για μια επιτυχημένη χάραξη. Στους κανονισμούς όλων των χωρών που μελετήθηκαν τονίζεται επίσης η σημασία της σύμπτωσης των σημείων καμπής της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής για την αποφυγή οπτικών προβλημάτων στη χάραξη.

Ακόμη, προσδιορίζεται και σχολιάζεται η προοπτική εικόνα που δημιουργούν τα μεμονωμένα στοιχεία της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής καθώς και οι πιθανοί συνδυασμοί τους. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται μερικά πιθανά προβλήματα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό που έχουν να κάνουν με οπτικές παραμορφώσεις όπως το φαινόμενο των θλάσεων στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή και η δημιουργία της εντύπωσης τεθλασμένου καταστρώματος της οδού.

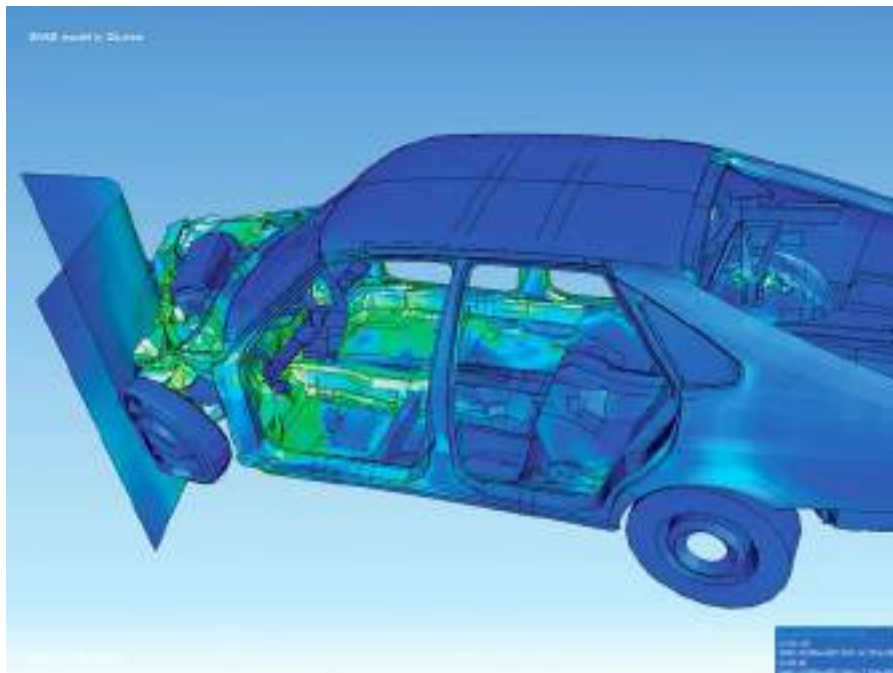
Στην πορεία όμως της ανάλυσης εντοπίστηκαν και προβλήματα πιο σύνθετης φύσεως που προκύπτουν από λανθασμένους συνδυασμούς της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής και έχουν ως αποτέλεσμα μέρος του οδοστρώματος να μην είναι ορατό από τον οδηγό του οχήματος. Τέτοια προβλήματα είναι η τοπική υπερύψωση, ο κυματισμός, το βύθισμα και το άλμα ή ασυνέχεια της οδού.

Λόγω της σύνθετης φύσης τους, τα συγκεκριμένα σφάλματα είναι δυσκολότερο να ανευρεθούν και να αντιμετωπιστούν καθώς φαίνονται μόνο από την οπτική πλευρά του οδηγού. Για το λόγο αυτό στα επόμενα κεφάλαια θα δημιουργηθούν προοπτικές απεικονίσεις των προβλημάτων αυτών ώστε να δειχθεί πως οι πρόσφατες τεχνολογίες οπτικοποίησης μπορούν να βοηθήσουν στην εξεύρεση και επίλυση των σφαλμάτων αυτών.

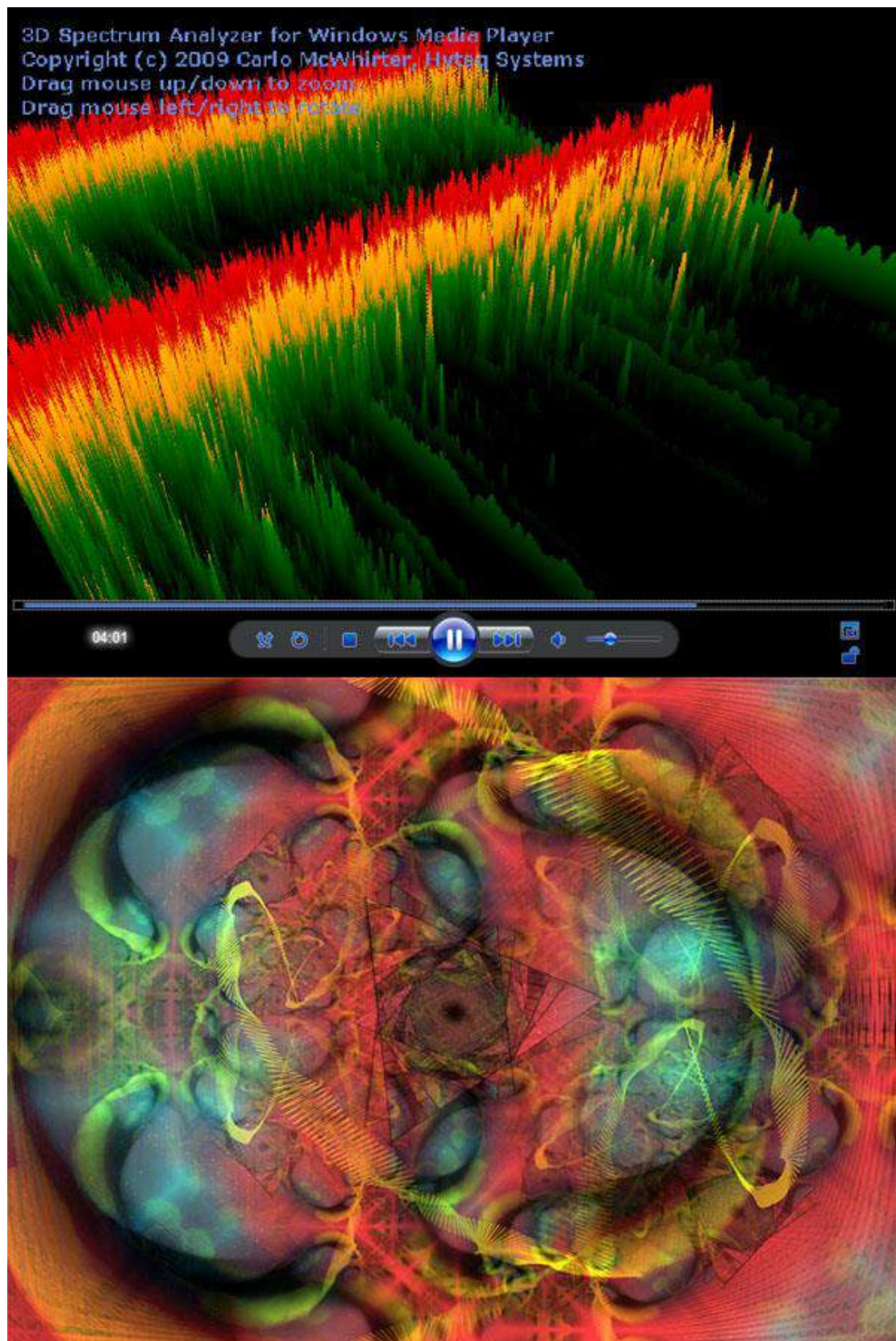
3. Τεχνολογίες Οπτικοποίησης

3.1 Ορισμός

Οι προαναφερθείσες περιπτώσεις προβλημάτων στο σχεδιασμό θα αναλυθούν χρησιμοποιώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες και τεχνικές στον τομέα της οπτικοποίησης. **Ως οπτικοποίηση ορίζεται** οποιαδήποτε τεχνική χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εικόνων, διαγραμμάτων ή κινούμενων γραφικών με στόχο την μετάδοση κάποιου μηνύματος (17). Η οπτικοποίηση μέσω οπτικών εικόνων θεωρείτο ένας αποτελεσματικός τρόπος μετάδοσης αφηρημένων ή και συγκεκριμένων ιδεών και εννοιών από την αρχαιότητα. Ιστορικά παραδείγματα αποτελούν οι προϊστορικές ζωγραφιές στις σπηλιές, τα αιγυπτιακά ιερογλυφικά, η αρχαιοελληνική γεωμετρία καθώς και τα τεχνικά σχέδια του Λεονάρντο Ντα Βίντσι. Στη σημερινή εποχή, η ολοένα και αυξανόμενη επεξεργαστική ισχύς των υπολογιστών βρίσκει εφαρμογή στη δημιουργία σύνθετων τρισδιάστατων κινούμενων εικόνων για την περιγραφή πολύπλοκων φυσικών φαινομένων, επιστημονικών πειραμάτων και άλλων. Οι περισσότεροι άνθρωποι σήμερα έχουν έρθει σε επαφή με την απεικόνιση των αλλαγών του καιρού σε ένα δελτίο ειδήσεων, με τρισδιάστατες αναπαραστάσεις οδικών ή αεροπορικών ατυχημάτων ή ακόμα και με την οπτικοποίηση της μουσικής κατά την αναπαραγωγή της από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ή μέσω του φωτισμού στις συναυλίες. Όλες αυτές είναι περιπτώσεις οπτικοποίησης αφηρημένων ή σύνθετων εννοιών, η μετατροπή τους δηλαδή σε εικόνα ή βίντεο, ούτως ώστε να είναι ευκολότερα κατανοητές και ευχάριστες στο ευρύ κοινό.

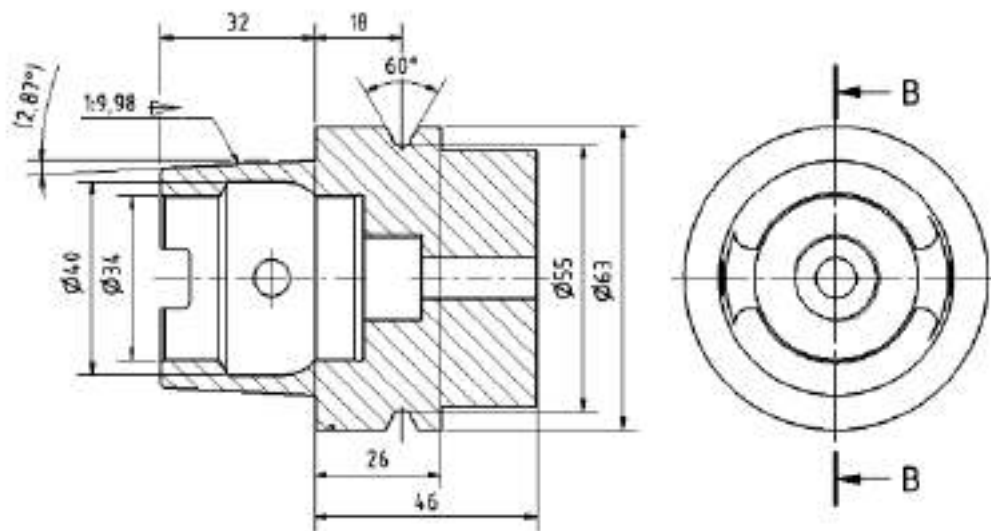


Εικόνα 26 Οπτικοποίηση της Παραμόρφωσης ενός Αυτοκινήτου κατά την Μετωπική Σύγκρουση



Εικόνα 27 Παραδείγματα Οπτικοποίησης Μουσικού Σήματος

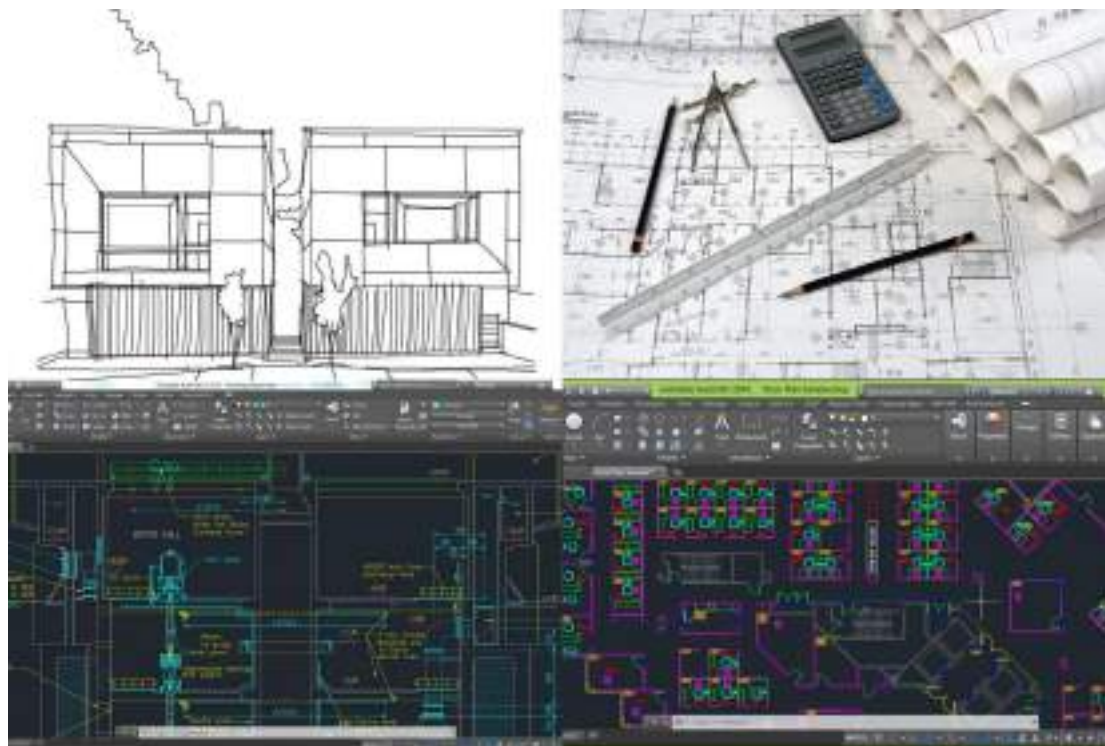
Η μετάδοση πληροφοριών τεχνικής φύσεως είναι αναπόσπαστο τμήμα της δουλειάς ενός μηχανικού. Ο μελετητής καλείται να χρησιμοποιήσει διάφορες μεθόδους **τεχνικών απεικονίσεων** (18) ώστε να μεταδώσει εξειδικευμένες και σύνθετες πληροφορίες γρήγορα και αποτελεσματικά. Το τεχνικό ή κατασκευαστικό σχέδιο μοιάζει με το καλλιτεχνικό με την έννοια ότι και στα δύο δημιουργείται κάποια εικόνα, έχει όμως σαφείς και έντονες διαφοροποιήσεις. Ενώ στις καλές τέχνες ο στόχος είναι η μετάδοση κάποιου συναισθήματος μέσω υποκειμενικών εντυπώσεων, στο τεχνικό σχέδιο ο στόχος είναι η μετάδοση της πληροφορίας μέσω αντικειμενικών δεδομένων. Ως εκ τούτου, ενώ ο οποιοσδήποτε μπορεί να εκτιμήσει ένα καλλιτεχνικό έργο και να μεταφράσει με τον δικό του τρόπο τα μηνύματα, το τεχνικό σχέδιο χρειάζεται κάποια εκπαίδευση προκειμένου να γίνει κατανοητό (όπως μία γλώσσα) και τα μηνύματα που μεταφέρει είναι απολύτως αντικειμενικά.



Εικόνα 28 Παράδειγμα Τεχνικού Σχεδίου Μηχανολογικού Εξοπλισμού

Στην πορεία των χρόνων έχουν αναπτυχθεί ποικίλες μέθοδοι δημιουργίας **τεχνικών σχεδίων** (19) με κυριότερες το σκίτσο ή σκαρίφημα, το σχέδιο με τη βοήθεια οργάνων και το σχέδιο με τη βοήθεια υπολογιστή. Το σκαρίφημα είναι ένα γρήγορο σχέδιο, συνήθως με ελεύθερο χέρι, με κύριο στόχο την καταγραφή και μετάδοση απλών ιδεών ή σχημάτων. Το σχέδιο με τη βοήθεια οργάνων περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση εξειδικευμένων εργαλείων, όπως τρίγωνα, διαβήτες, χάρακες, παραλληλογράφο κ.α. τα οποία βοηθούν το σχεδιαστή μηχανικό να επιτύχει μεγάλη ακρίβεια στην απόδοση των σχημάτων και της προοπτικής που επιθυμεί. Τις τελευταίες δεκαετίες η διαδικασία της σχεδίασης έχει αυτοματοποιηθεί και επιταχυνθεί μέσω της σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή. Έχουν αναπτυχθεί

πληθώρα προγραμμάτων λογισμικού δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης τα οποία επιτρέπουν την γρήγορη δημιουργία και εκτύπωση των τελικών σχεδίων και διευκολύνουν κατά πολύ την πραγματοποίηση διορθώσεων και αλλαγών στα σχέδια.



Εικόνα 29 Παραδείγματα Σκίτσου, Σχεδίου με Όργανα και Σχεδίου με βοήθεια Υπολογιστή

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος του τεχνικού σχεδίου είναι η γρήγορη και αποτελεσματική μετάδοση αντικειμενικών πληροφοριών και συχνά χρησιμοποιείται ως μέσο για την αποτύπωση της πραγματικότητας ή ενός έργου το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί στην πραγματικότητα. Σε αυτό τον τομέα βρίσκει εφαρμογή η πρόσφατη ανάπτυξη της **τεχνικής του φωτορεαλισμού**. Ως καλλιτεχνικό κίνημα ο φωτορεαλισμός ορίζεται ως η προσπάθεια για την όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική αποτύπωση της πραγματικότητας σε κάποιο μέσο (20). Ο καλλιτέχνης μελετούσε μία φωτογραφία και έπειτα προσπαθούσε να αποδώσει το θέμα της φωτογραφίας όσο πιο πιστά μπορούσε δίνοντας έμφαση στις σκιάσεις και στις υφές των αντικειμένων με κύριο στόχο τον ρεαλισμό του τελικού αποτελέσματος. Αντίστοιχα, στην περίπτωση του σχεδίου με βοήθεια υπολογιστή, φωτορεαλισμός ονομάζεται η προσπάθεια να αποδοθεί πιστά μια δισδιάστατη φωτογραφία από υπολογιστή εφαρμόζοντας υλικά και υφές σε τρισδιάστατα μοντέλα και προσομοιώνοντας τις συνθήκες φωτισμού για να επιτευχθεί ένα πειστικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 30 Φωτορεαλιστικός Πίνακας Ζωγραφικής



Εικόνα 31 Φωτορεαλιστής Ζωγράφος Επί Τω Έργω

3.2 Επεξήγηση Τεχνικής

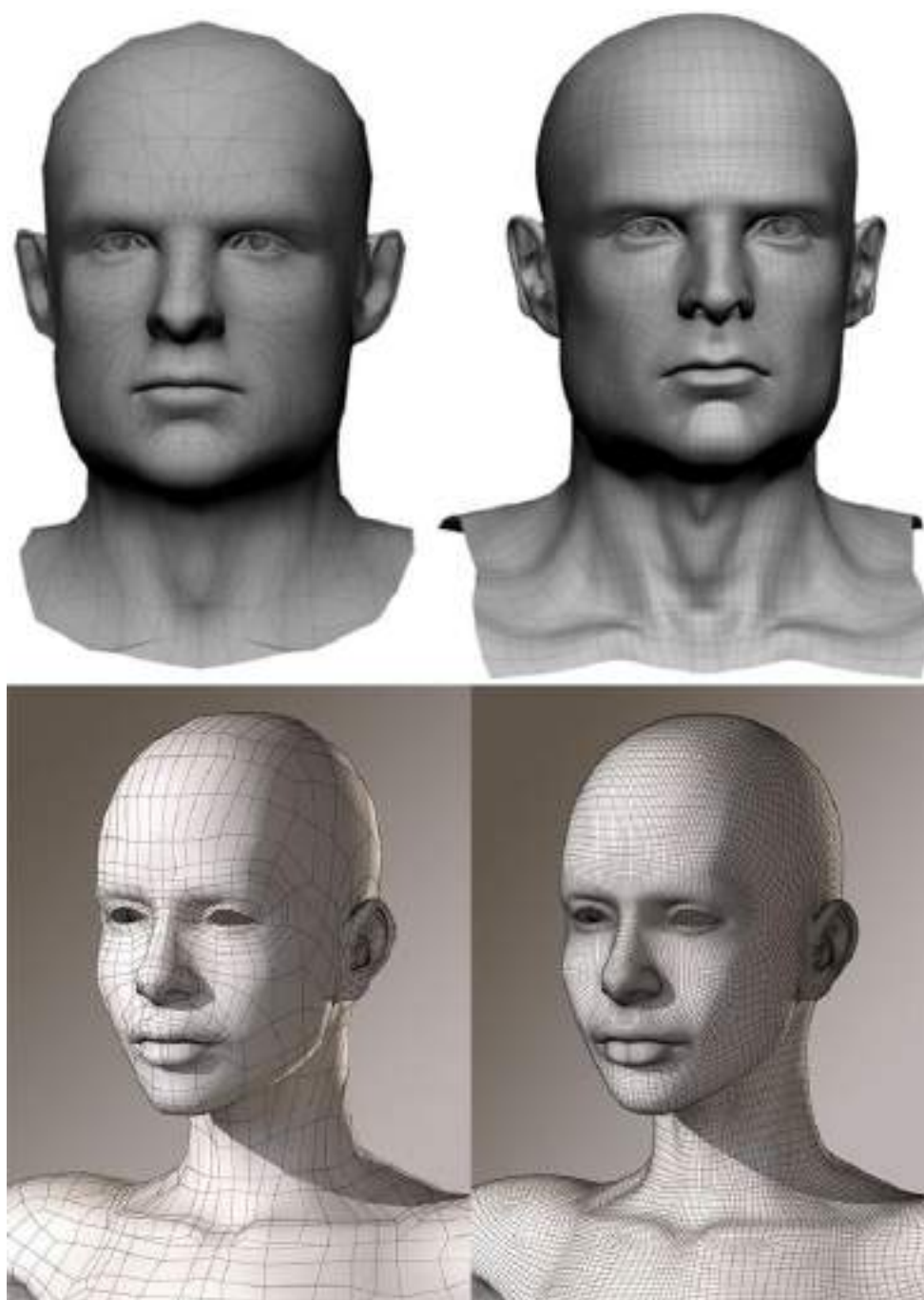
Η διαδικασία παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών ηλεκτρονικού υπολογιστή χωρίζεται σε **τρεις κύριες φάσεις**, την τρισδιάστατη μοντελοποίηση, την διάταξη της σκηνής ή την δημιουργία κίνησης και την τρισδιάστατη απόδοση της σκηνής (3d modelling, layout and animation, 3d rendering) (21).

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση είναι η διαδικασία της ανάπτυξης μίας μαθηματικής αναπαράστασης μίας επιφάνειας ή ενός αντικειμένου (έμψυχου ή άψυχου) σε τρεις διαστάσεις χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό. Το προϊόν αυτής της διαδικασίας ονομάζεται τρισδιάστατο μοντέλο και μπορεί να απεικονιστεί σε δισδιάστατες εικόνες μέσω της τρισδιάστατης απόδοσης (3d rendering) ή να χρησιμοποιηθεί σε προσομοιώσεις φυσικών φαινομένων. Τα τελευταία χρόνια έγινε δυνατή η πραγματική κατασκευή του μοντέλου μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης.



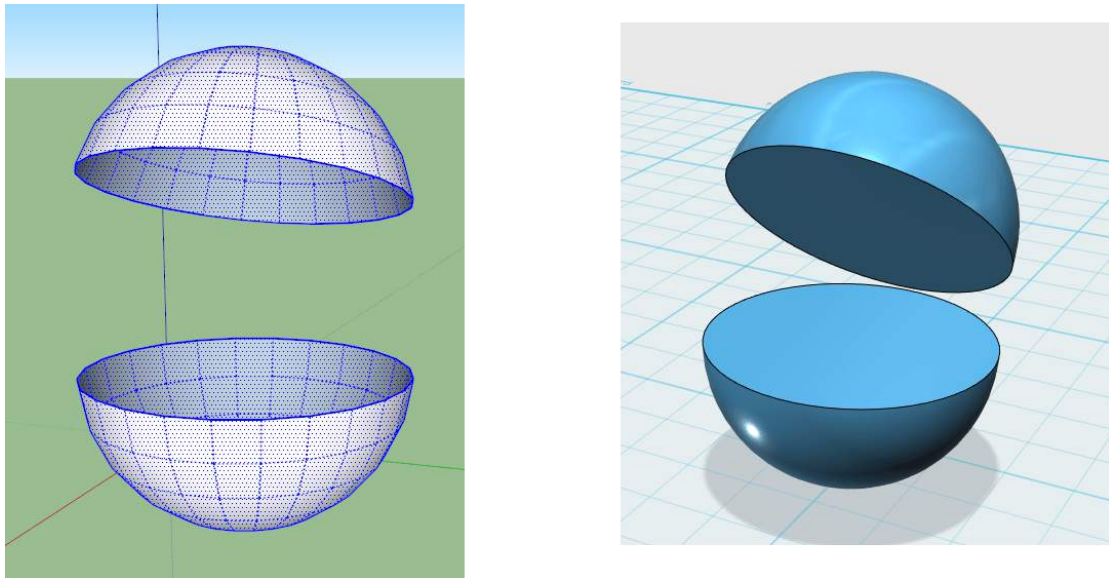
Εικόνα 32 Πραγματική Τσαγιέρα, Τρισδιάστατο Μοντέλο και Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Τα **τρισδιάστατα μοντέλα** αποτελούν αναπαραστάσεις φυσικών σωμάτων χρησιμοποιώντας ένα άθροισμα σημείων στον τρισδιάστατο χώρο συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω γεωμετρικών οντοτήτων όπως τρίγωνα, γραμμές καμπύλες επιφάνειες κ.α. (21). Κατά την κατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου δηλαδή γίνεται προσπάθεια να αποδοθεί όσο το δυνατόν πιστότερα ένα φυσικό σώμα προσεγγίζοντας όσο καλύτερα γίνεται το πραγματικό του σχήμα χρησιμοποιώντας ένα άθροισμα πολυγώνων, συνήθως τριγώνων. Το πλήθος των πολυγώνων που χρησιμοποιούνται ορίζουν την ανάλυση, άρα και την ακρίβεια απόδοσης του επιθυμητού σχήματος, του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 33 Μοντέλα Χαμηλής (αριστερά) και Υψηλής (δεξιά) Ανάλυσης

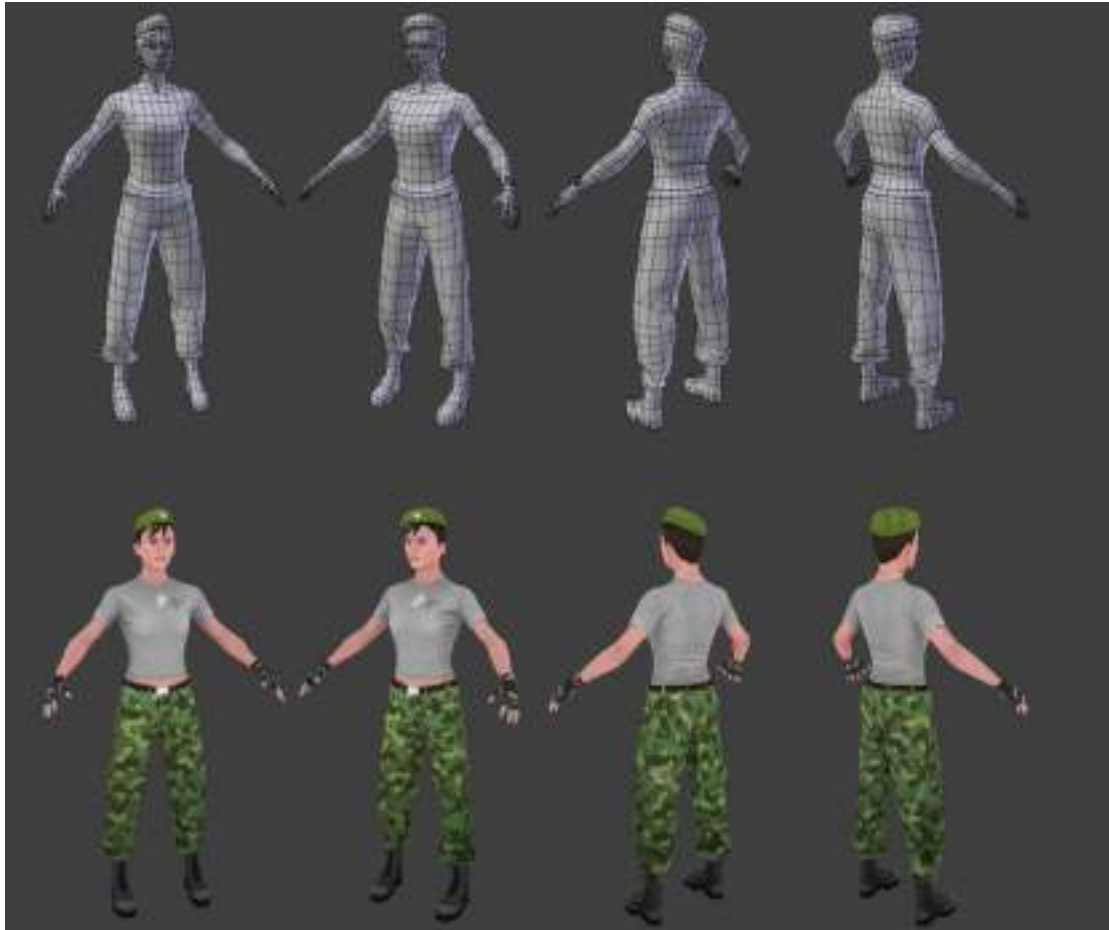
Τα τρισδιάστατα μοντέλα χωρίζονται σε **δύο κύριες υποκατηγορίες**, τα στερεά και τις επιφάνειες ή όρια. Τα στερεά μοντέλα ορίζουν και εμπεριέχουν τον όγκο του αντικειμένου που αντιπροσωπεύουν και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μηχανικές ή ιατρικές προσομοιώσεις. Τα μοντέλα επιφανειών αντιθέτως, αντιπροσωπεύουν μόνο την εξωτερική επιφάνεια του αντικειμένου χωρίς τον εσωτερικό όγκο του (σαν το τσόφλι ενός αυγού). Τα μοντέλα αυτού του τύπου είναι ευκολότερα στην επεξεργασία και ταχύτερα στην τρισδιάστατη απόδοση και για αυτό το λόγο σχεδόν όλα τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία βιντεοπαιχνιδιών και ταινιών είναι μοντέλα επιφανειών.



Εικόνα 34 Μοντέλο επιφάνειας (αριστερά) και Στερεό Μοντέλο (δεξιά)

Στη σημερινή εποχή τα τρισδιάστατα μοντέλα βρίσκουν **χρήση σε πολλούς τομείς**. Η ιατρική βιομηχανία χρησιμοποιεί λεπτομερή μοντέλα οργάνων, Στον κινηματογράφο χρησιμοποιούνται ως χαρακτήρες, φόντα ή και απλά αντικείμενα στις ταινίες, στον τομέα των φυσικών επιστημών χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πειραματικών μοντέλων, και στην αρχιτεκτονική χρησιμοποιούνται έναντι μακετών.

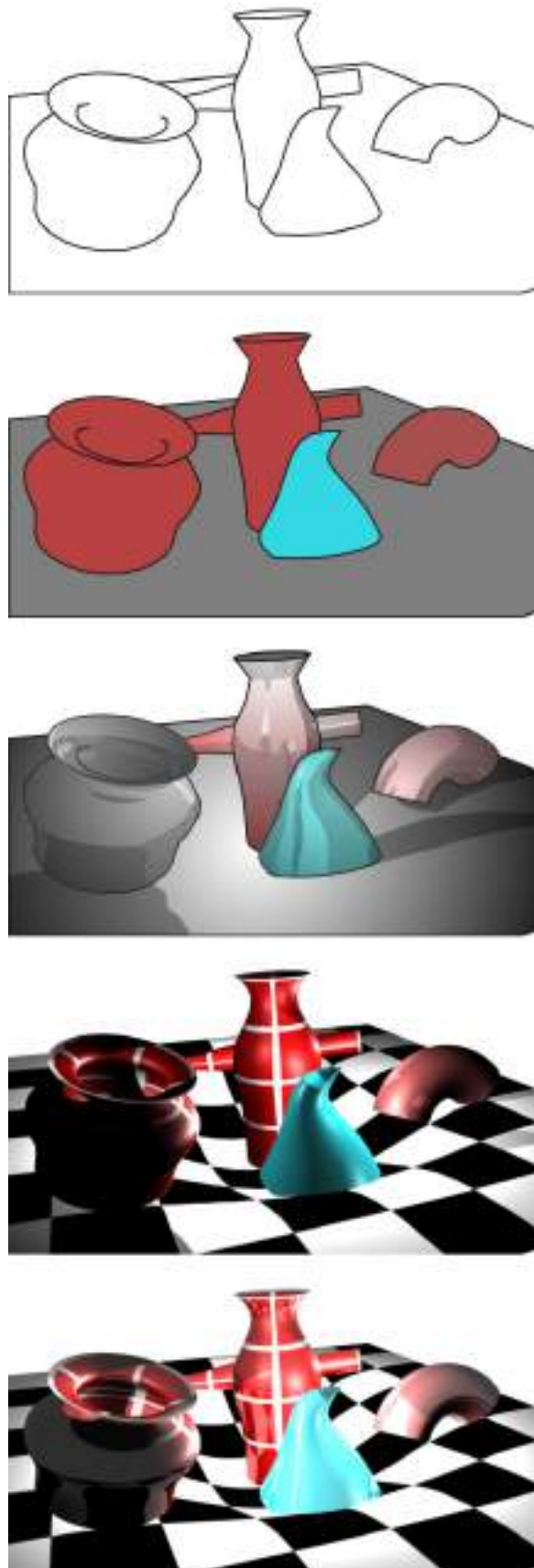
Τα μοντέλα μπορούν να **δημιουργηθούν αυτόματα ή χειροκίνητα**. Η διαδικασία τρισδιάστατης μοντελοποίησης μπορεί να γίνει είτε με το χέρι μέσω εξειδικευμένου προγράμματος λογισμικού, είτε σαρώνοντας το αντικείμενο με ειδικό σαρωτή ή τέλος μπορεί να γίνει και αλγοριθμικά. Η διαδικασία της μοντελοποίησης με το χέρι θα μπορούσε να παρομοιαστεί με τις μεθόδους της παραδοσιακής γλυπτικής. Οι επιφάνειές του μοντέλου μπορούν να οριστούν περαιτέρω με την απόδοση κάποιας υφής ή ενός υλικού.



Εικόνα 35 Μοντέλο Πριν και Μετά την Εφαρμογή Υφής

Η δεύτερη διακριτή φάση της δημιουργίας τρισδιάστατων γραφικών είναι η **διάταξη της σκηνής ή δημιουργία κίνησης**. Η συγκεκριμένη φάση διαφοροποιείται αναλόγως αν το τελικό επιθυμούμενο αποτέλεσμα είναι μια δισδιάστατη εικόνα ή ένα βίντεο. Στην περίπτωση της εικόνας, τα αντικείμενα τα οποία θα παρασταθούν πρέπει να τοποθετηθούν μέσα στη σκηνή και να προσδιοριστούν οι χωρικές τους ιδιότητες και σχέσεις (σχετικές θέσεις και μεγέθη). Στην περίπτωση που παράγεται βίντεο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η χρονική περιγραφή των αντικειμένων (πως κινούνται και παραμορφώνονται με την πάροδο του χρόνου). Σε πολλές περιπτώσεις η περιγραφή της κίνησης προκύπτει μέσω φυσικής προσομοίωσης.

Η τρίτη και τελευταία φάση της **απόδοσης ή της σύνθεσης εικόνας** (rendering) είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία δημιουργίας μίας φωτορεαλιστικής ή μη φωτορεαλιστικής εικόνας από ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο μοντέλο μέσω ειδικού λογισμικού υπολογιστή. Η διαδικασία της απόδοσης μετατρέπει το μοντέλο σε εικόνα είτε προσομοιώνοντας την διακίνηση του φωτός εντός της σκηνής για να παράγει φωτορεαλιστικές εικόνες, ή εφαρμόζοντας κάποιο καλλιτεχνικό στυλ στην μη φωτορεαλιστική απόδοση.



Εικόνα 36 Εφαρμογή Διαφορετικών Στυλ και Τεχνικών Απόδοσης στην Ίδια Τρισδιάστατη Σκηνή

Οι δύο βασικές λειτουργίες στην ρεαλιστική απόδοση είναι η διακίνηση (πόσο φως φθάνει από το ένα σημείο στο άλλο) και η διάχυση του φωτός (πώς οι επιφάνειες αντιδρούν με το φως) (22). Όλες οι εφαρμογές με στόχο τη δημιουργία ρεαλιστικών αποδόσεων επιχειρούν να υπολογίσουν την συμπεριφορά του φωτός επιλύοντας την **εξίσωση απόδοσης (rendering equation)**. Πρόκειται για μια εξίσωση με ολοκληρώματα η οποία, αν και δεν περιγράφει όλα τα φαινόμενα φωτισμού, δημιουργεί ένα γενικό μοντέλο φωτισμού για τη δημιουργία ψηφιακών εικόνων. Από τη λύση της συγκεκριμένης εξίσωσης περιγράφεται η κίνηση του φωτός σε κάθε σημείο της σκηνής και προκύπτει η παραγόμενη εικόνα. Λόγω της πολυπλοκότητας της επίλυσης της εξίσωσης αυτής έχουν δημιουργηθεί ποικίλοι αλγόριθμοι οι οποίοι επιχειρούν να τη λύσουν μέσω ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία ή με προσεγγιστικές μεθόδους.

Η ανίχνευση και η μελέτη κάθε χωριστής ακτίδας φωτός δεν είναι καθόλου πρακτική και θα έπαιρνε **τεράστιο διάστημα χρόνου**. Ακόμη και η ανίχνευση ενός μόνο μέρους ικανοποιητικά μεγάλου για την παραγωγή μιας εικόνας θα έπαιρνε υπερβολικά μεγάλο διάστημα αν η δειγματοληψία δεν περιοριζόταν με έξυπνο τρόπο. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί τρεις κύριες οικογένειες αποδοτικών μεθόδων μοντελοποίησης της κίνησης του φωτός. Η ραστεροποίηση ή τμηματοποίηση χωρίζει την εικόνα σε γραμμές σάρωσης και προβάλλει γεωμετρικά τα αντικείμενα στο επίπεδο της εικόνας χωρίς εξελιγμένα οπτικά εφέ. Η τεχνική εκπομπής ακτινών θεωρεί ότι εκπέμπονται ακτίνες από το σημείο θέασης προς τη σκηνή και βρίσκοντας την πρώτη επαφή τους με κάποιο αντικείμενο προσδιορίζει τη γεωμετρία της τελικής εικόνας. Η τεχνική της ανίχνευσης ακτινών έχει παρόμοια αρχή λειτουργίας με την τεχνική εκπομπής ακτινών με τη διαφορά ότι οι ακτίνες εκπέμπονται από την πηγή φωτός και ακολουθούνται οι πιθανές αντανάκλασεις και διαθλάσεις τους μέχρι την πρώτη τους επαφή με το επίπεδο της εικόνας. Ο τρόπος λειτουργίας της τεχνικής ανίχνευσης ακτινών θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την τεχνική της φωτογραφίας όπου οι ακτίνες φωτός αφού ανακλαστούν ή διαθλαστούν από τα αντικείμενα της σκηνής καταλήγουν στο φιλμ και αφήνουν το ίχνος τους (23). Η τελευταία από τις τρεις τεχνικές παράγει τα πιστότερα αποτελέσματα αλλά είναι και η πιο χρονοβόρα και απαιτητική με αποτέλεσμα οι εικόνες να αποδίδονται αργά σε μεγάλο διάστημα χρόνου.

Στην απόδοση τρισδιάστατων γραφικών από υπολογιστή υπάρχουν δύο διακριτές μεταξύ τους κατευθύνσεις, η απόδοση σε πραγματικό χρόνο και η **απόδοση σε μη πραγματικό χρόνο** (24). Κατά την απόδοση σε μη πραγματικό χρόνο, οι εικόνες ή τα βίντεο δεν αποδίδονται σε πραγματικό χρόνο από την συσκευή που τα αναπαράγει. Αντιθέτως, έχουν αποδοθεί νωρίτερα σε διαφορετικό εξοπλισμό (συνήθως σημαντικά ισχυρότερο) λόγω του αυξημένου επιπέδου πολυπλοκότητας τους το οποίο δεν θα επέτρεπε στην τρέχουσα συσκευή να τα αποδώσει σε πραγματικό χρόνο. Η απόδοση σε μη πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μοντέλων ή τεχνικών απόδοσης πολυπλοκότερων από αυτές που θα μπορούσαν να αποδοθούν σε πραγματικό χρόνο χάρη στη δυνατότητα χρησιμοποίησης των υπολογιστικών συστημάτων για μεγάλο διάστημα προκειμένου να αποδώσουν το τελικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή συνήθως διαρκεί πολλές ώρες ή ακόμη και ημέρες. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μειωμένη διαδραστικότητα του

αποτελέσματος και η δυσκολία στην πραγματοποίηση αλλαγών ή στην μετακίνηση της κάμερας.



Εικόνα 37 Παράδειγμα Απόδοσης Σκηνής σε Μη Πραγματικό Χρόνο

Η **απόδοση σε πραγματικό χρόνο** χρησιμοποιεί κυρίως τις απλούστερες μεθόδους της ραστεροποίησης και της εκπομπής ακτινών ώστε η ταχύτητα επεξεργασίας των εικόνων να επιτρέπει την παραγωγή τους σε τέτοιο ρυθμό που να δίνει την αίσθηση της κίνησης (άνω των 24 εικόνων ανά δευτερόλεπτο). Η αίσθηση της κίνησης που δημιουργείται επιτρέπει την ουσιαστική αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή ούτως ώστε οι υπολογισμοί για την απόδοση της εικόνας να μπορούν να λάβουν υπ' όψη τους τις εντολές του χρήστη. Σε πολλές περιπτώσεις η διαδραστικότητα με το χρήστη είναι καθοριστικής σημασίας με αποτέλεσμα ακόμη και αν η ποιότητα της απόδοσης είναι σαφώς κατώτερη της απόδοσης σε μη πραγματικό χρόνο, να είναι απαραίτητη η απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Οι περισσότερες εφαρμογές τρισδιάστατης σχεδίασης χρησιμοποιούν μία μίξη των δύο μεθόδων προσφέροντας στον χρήστη μια προεπισκόπηση του αποτελέσματος σε πραγματικό χρόνο κατά την φάση της σχεδίασης και αποδίδοντας σε μη πραγματικό χρόνο το τελικό αποτέλεσμα όπου είναι σημαντική η ποιότητα της απόδοσης. Στην σημερινή εποχή τα γραφικά πραγματικού χρόνου έχουν εξελιχθεί και η διαφορά με την απόδοση μη πραγματικού χρόνου ολοένα μικραίνει καθώς πλέον είναι δυνατό να παρασταθεί σε πραγματικό χρόνο και ο φωτισμός, έστω και απλοποιημένος.



Εικόνα 38 Παράδειγμα Απόδοσης Σκηνής σε Πραγματικό Χρόνο



Εικόνα 39 Απόδοση σε Πραγματικό Χρόνο - Η Διαφορά με την Απόδοση Μη Πραγματικού Χρόνου Είναι Μικρή

3.3 Ανάλυση Διαθεσιμότητας Λογισμικού

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί ένα εντυπωσιακό πλήθος εφαρμογών τρισδιάστατου σχεδιασμού και απόδοσης γραφικών με αποτέλεσμα οι τεχνολογίες που περιεγράφηκαν στο τελευταίο υποκεφάλαιο να έχουν γίνει πλέον κοινές. Το κύριο ερώτημα του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η διερεύνηση της **προσβασιμότητας του μέσου χρήστη σε εφαρμογές τρισδιάστατου σχεδιασμού**. Θα ερευνηθεί δηλαδή το πλήθος των επιλογών που έχει διαθέσιμες ένας σημερινός μηχανικός για να επιλέξει την εφαρμογή που θα τον βοηθήσει να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Το πλήθος των εφαρμογών με δυνατότητες τρισδιάστατου σχεδιασμού και απόδοσης που βρίσκονται σε κυκλοφορία σήμερα είναι πρακτικά ανεξάντλητο. Υπάρχουν ποικίλες εξειδικευμένες εφαρμογές με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή του μηχανικού **δεν εξαρτάται πλέον από την διαθεσιμότητα του λογισμικού** όπως γινόταν παλαιότερα αλλά από προσωπικές επιλογές και από οικονομικούς παράγοντες. Τα περισσότερα προγράμματα ηλεκτρονικής σχεδίασης (τύπου CAD) προσφέρουν τουλάχιστον κάποιες δυνατότητες τρισδιάστατης σχεδίασης αλλά υπάρχουν και ολοκληρωμένες σουίτες λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης προσιτές στον σημερινό μηχανικό. Παρακάτω θα δοθούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Από τις παλαιότερες εταιρίες στον χώρο της σχεδίασης με ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι η Autodesk. Ήταν υπεύθυνη για την ανάπτυξη του προγράμματος AutoCAD το πρώτο πρόγραμμα ηλεκτρονικής σχεδίασης που μπορούσε να εκτελεστεί σε οικιακό υπολογιστή. Στη σημερινή γραμμή των προϊόντων της ανήκουν το 3Ds Max, το Maya και το AutoCAD, οι **τρεις κορυφαίες σουίτες δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων** και φωτορεαλισμού σε κυκλοφορία. Χρησιμοποιούνται από το μεγαλύτερο μέρος των επαγγελματιών του χώρου και φημίζονται για την ποιότητα των αποτελεσμάτων τους. Ήταν τα πρώτα προγράμματα που ενσωμάτωσαν νέες τεχνολογίες στην τρισδιάστατη απόδοση και εξακολουθούν να είναι πρωτοπόρα στον τομέα με τεράστιο εύρος εφαρμογών, από εφαρμογές μηχανικού έως ειδικά εφέ στον αμερικάνικο κινηματογράφο. Μειονέκτημά τους αποτελεί η πολύ απότομη καμπύλη εκμάθησης των προγραμμάτων που καθιστά δύσκολη τη χρησιμοποίησή τους από νέους χρήστες. Η πρόσβαση στις συγκεκριμένες εφαρμογές διευκολύνεται από τις μαθητικές άδειες χρήσης οι οποίες διατίθενται και για τα τρία προγράμματα.

Από την ίδια εταιρία διατίθεται και το Autodesk Mudbox το οποίο θεωρείται μία από τις κορυφαίες εφαρμογές δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων καθώς προσφέρει μια **εναλλακτική προσέγγιση στον τρόπο δημιουργίας τους**. Προσφέρει εργαλεία “γλυπτικής” που καθιστούν τη δημιουργική διαδικασία πιο φυσική και αυθόρμητη και επιτρέπουν την απόδοση μεγάλου βάθους λεπτομερειών. Όμως προσφέρει λίγα στον τομέα της απόδοσης υλικών και φωτισμού και δεν έχει τη δυνατότητα δημιουργίας βίντεο. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία μοντέλων που θα εισαχθούν αργότερα σε κάποιο άλλο πρόγραμμα.



Εικόνα 40 Παράδειγμα του Επιπέδου Λεπτομέρειας που Είναι Εφικτό με τα Εργαλεία "γλυπτικής" του Autodesk Mudbox

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για την ευκολία πρόσβασης που έχει ο σημερινός μελετητής σε προγράμματα δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων είναι το Blender ένα εναλλακτικό πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού το οποίο διατίθεται δωρεάν. Είναι **λογισμικό ανοιχτού κώδικα**, και διατίθεται ελεύθερα μέσω ίντερνετ. Έχει κατακτήσει μεγάλο κομμάτι της αγοράς και θεωρείται εφάμιλλης ποιότητας με τα προαναφερθέντα προγράμματα. Έχει όλες τις λειτουργίες που περιέχουν τα εμπορικά προγράμματα τρισδιάστατων γραφικών και διακρίνεται για την απλότητά του και την ευκολία της εκμάθησής του.

Ακόμη μεγαλύτερη προσβασιμότητα και ευκολία στην εκμάθηση έχει το Sketchup. Η εφαρμογή αυτή δημιουργήθηκε αρχικά από τη Google και τώρα ανήκει στην Trimble inc. . Η ποιότητα των σχεδίων και των απεικονίσεων που παράγονται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι πολύ χαμηλότερης κατηγορίας σε σχέση με τις προηγούμενες εφαρμογές, και χρησιμεύουν κυρίως σε φάση προμελέτης ή για να “δώσει τη γενική ιδέα του σχεδίου”, εντυπωσιάζει όμως **η αμεσότητα και η ευκολία χρήσης της εφαρμογής**. Ήταν η εφαρμογή που έκανε την τρισδιάστατη μοντελοποίηση και το φωτορεαλισμό προσιτά στον οποιονδήποτε, και κάνει εφικτή τη δημιουργία μοντέλου και απεικόνισης σε μερικά λεπτά, έστω κι αν δεν φτάνει την ποιότητα απόδοσης των προαναφερθέντων προγραμμάτων. Διατίθεται δωρεάν μέσω ίντερνετ.

Το εύρος των προγραμμάτων τρισδιάστατης σχεδίασης είναι τόσο μεγάλο ώστε να έχουν αναπτυχθεί πλήρεις σουίτες τρισδιάστατου σχεδιασμού και απόδοσης που λειτουργούν **χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης από περιβάλλον προγράμματος περιήγησης**, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το Clara.io . Χρησιμοποιεί τη μηχανή απόδοσης v-ray που επιτρέπει την γρήγορη και πιστή απόδοση των μοντέλων. Με τη χρήση εφαρμογών του είδους είναι δυνατόν ο οποιοσδήποτε να μπορεί να σχεδιάσει

ένα μοντέλο χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης κάποιου λογισμικού, αλλά μέσω μίας δωρεάν υπηρεσίας μέσω ίντερνετ.



Εικόνα 41 Παράδειγμα Χρήσης του Λογισμικού Clara.io από Περιβάλλον Προγράμματος Περιήγησης

Λόγω του κορεσμού του τομέα των προγραμμάτων μοντελοποίησης εμφανίστηκαν προγράμματα με **πιο εξειδικευμένους στόχους**. Παραδείγματος χάριν, το Cinema 4d, ενώ δεν έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τις εφαρμογές μηχανικού και στοχεύει κυρίως στην δημιουργία ειδικών εφέ στον κινηματογράφο, έχει ενδιαφέρον καθώς με τα εργαλεία του καθιστά τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου πολύ γρήγορη και έχει ενσωματώσει στη μηχανή απόδοσης του κάποιες πρωτοποριακές λειτουργίες ούτως ώστε να πετυχαίνει πολύ ρεαλιστική απεικόνιση των υλικών και του φωτισμού. Αντίστοιχα, το Vue 11 είναι ένα πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού το οποίο φημίζεται για την ποιότητα απόδοσης φυσικών τοπίων. Πετυχαίνει τη δημιουργία ατμοσφαιρικών εικόνων και έχει μεγάλο βαθμό ρεαλισμού σε δέντρα, φυτά και φυσικά ανάγλυφα. Η κύρια χρήση του όμως περιορίζεται στη δημιουργία καλλιτεχνικών στιγμιότυπων καθώς δεν παρέχει εύκολα εργαλεία δημιουργίας λεπτομερών μοντέλων, και έχει περιορισμένες επιλογές στα διαθέσιμα υλικά, στα εφέ καθώς και στη δημιουργία κίνησης.

3.4 Επιλογή Λογισμικού για τους Σκοπούς της Εργασίας

Ένας από τους δευτερεύοντες στόχους της παρούσης εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας μέσω της οποίας ο μέσος μελετητής μηχανικός θα μπορέσει να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης απόδοσης της χάραξης του οδικού έργου χωρίς την ανάγκη αγοράς κάποιου εξειδικευμένου προγράμματος ή μακροχρόνια εκπαίδευση. Για το λόγο αυτό, το πρόγραμμα λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία των μοντέλων των προβληματικών συνδυασμών οριζοντιογραφίας – μηκοτομής θα πρέπει να έχει **κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά**. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι το χαμηλό κόστος, η ευκολία στην εκμάθηση, η κάλυψη όλων των φάσεων της δημιουργίας τρισδιάστατων γραφικών από ένα πρόγραμμα καθώς και η συμβατότητα με άλλες εφαρμογές του τομέα. Οι αναγκαιότητες αυτές οδηγούν στην επιλογή του προγράμματος AutoCAD, καθώς είναι προσιτό δωρεάν μέσω μαθητικής άδειας, οι περισσότεροι μηχανικοί γνωρίζουν ήδη τη χρήση του καθώς χρησιμοποιείται ευρέως στον κλάδο, είναι ολοκληρωμένη σουίτα δημιουργίας τρισδιάστατων γραφικών η οποία καλύπτει όλες τις φάσεις από τη δημιουργία του μοντέλου μέχρι την τελική απόδοση και τέλος, είναι συμβατό με πολλές πλατφόρμες και με τις περισσότερες μορφές τρισδιάστατων αρχείων διευκολύνοντας έτσι τη συμβατότητα με άλλα προγράμματα.



Εικόνα 42 Παράδειγμα τρισδιάστατης Απόδοσης με Χρήση του Λογισμικού AutoCAD

3.5 Σύνοψη Κεφαλαίου

Ως οπτικοποίηση χαρακτηρίζεται η προσπάθεια για τη γρήγορη και αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών μέσω σχημάτων και εικόνων. Η φύση του επαγγέλματος του μηχανικού έκανε πάντα αναγκαία τη χρησιμοποίηση κάποιου είδους τεχνικής απεικόνισης για την μετάδοση των πληροφοριών. Αυτή η ανάγκη οδήγησε στην ανάπτυξη πολλαπλών μεθόδων δημιουργίας τεχνικών σχεδίων με πιο πρόσφατη εξέλιξη της απόδοση απολύτως ρεαλιστικών τρισδιάστατων εικόνων μέσω υπολογιστή ή αλλιώς την τεχνική του φωτορεαλισμού.

Η διαδικασία παραγωγής τρισδιάστατων γραφικών σε υπολογιστή χωρίζεται σε τρεις κύριες φάσεις. Η πρώτη φάση είναι αυτή της τρισδιάστατης μοντελοποίησης δηλαδή της αυτόματης ή χειροκίνητης παραγωγής των τρισδιάστατων μοντέλων τα οποία στη δεύτερη φάση θα διαταχθούν ανάλογα για να διαμορφώσουν την επιθυμητή σκηνή. Η τρίτη φάση είναι η απόδοση ή σύνθεση της εικόνας κατά την οποία εφαρμόζονται οι ανάλογες υφές και τα υλικά, υπολογίζεται ο φωτισμός και οι αντανακλάσεις και παράγεται το τελικό αποτέλεσμα. Το σημαντικότερο πρόβλημα κατά την απόδοση μίας εικόνας είναι ο υπολογισμός της συμπεριφοράς του φωτός καθώς αυτό καθορίζει την εμφάνιση όλων των αντικειμένων εντός της σκηνής. Έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς του μέσω ολοκληρωματικών εξισώσεων, όμως η επίλυσή τους θα απαιτούσε τεράστιο και μη πρακτικό διάστημα χρόνου. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην ανάπτυξη δύο κύριων προσεγγίσεων στην τρισδιάστατη απόδοση γραφικών, την απόδοση σε πραγματικό χρόνο απλοποιώντας σε πολύ μεγάλο βαθμό το φωτισμό και τις σκιάσεις ώστε να μεγιστοποιηθεί η ταχύτητα απόδοσης, και την απόδοση σε μη πραγματικό χρόνο όπου δίνεται έμφαση στην ποιότητα και την πιστότητα του τελικού αποτελέσματος.

Κατόπιν αναλύθηκε η διαθεσιμότητα λογισμικού και η προσβασιμότητα του μέσου χρήστη σε αυτά στον τομέα του τρισδιάστατου σχεδιασμού. Παρατηρήθηκε ότι, λόγω της πληθώρας λογισμικού σε κυκλοφορία, η επιλογή του μηχανικού δεν εξαρτάται πλέον από την διαθεσιμότητα του λογισμικού αλλά από προσωπικές προτιμήσεις. Εύκολα διαθέσιμες είναι πλέον κορυφαίες σουίτες δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, λογισμικά με εναλλακτικές προσεγγίσεις στον τρόπο δημιουργίας μοντέλων, λογισμικά ανοιχτού κώδικα, εφαρμογές με έμφαση στην αμεσότητα και την ευκολία χρήσης, ακόμη και εφαρμογές που εκτελούνται από περιβάλλον προγράμματος περιήγησης ή οι οποίες καλύπτουν πιο εξειδικευμένους στόχους.

Βάσει κάποιων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που είναι αναγκαίο να περικλείει το πρόγραμμα σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα AutoCAD της Autodesk.

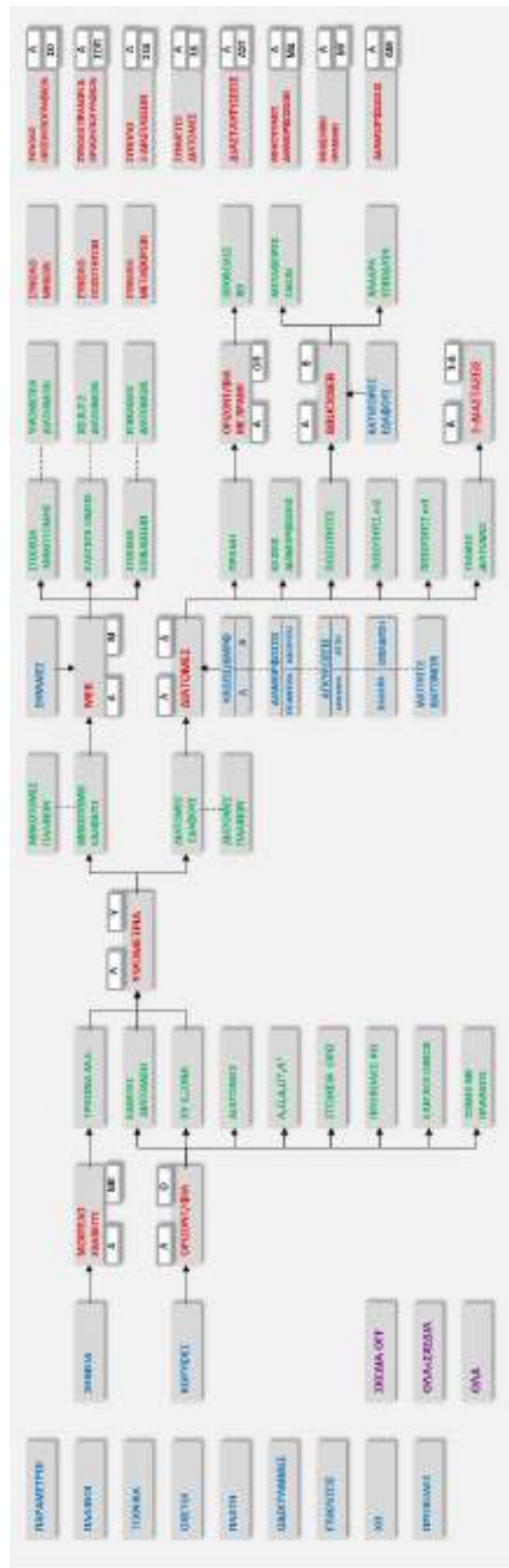
4. Μεθοδολογία Εργασίας

4.1 Δημιουργία Πειραματικών Χαράξεων Μέσω του Προγράμματος FM17

Όπως αναφέρθηκε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, προκειμένου να μελετηθούν οι προβληματικές περιπτώσεις συνδυασμού της οριζοντιογραφίας με την μηκοτομή που εντοπίστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, θα επιχειρηθεί να δημιουργηθούν τρισδιάστατα μοντέλα της κάθε περίπτωσης. Στο παρόν κεφάλαιο θα **περιγραφεί η μεθοδολογία δημιουργίας των τρισδιάστατων μοντέλων**. Συγκεκριμένα, στο πρώτο υποκεφάλαιο θα δημιουργηθούν αντιπροσωπευτικές χαράξεις για κάθε τύπο προβλήματος από αυτούς που εντοπίστηκαν με χρήση του προγράμματος οδοποιίας FM17, και στο επόμενο υποκεφάλαιο θα δημιουργηθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα των χαράξεων με χρήση του προγράμματος Autodesk AutoCAD 2017. Στη συνέχεια, τα μοντέλα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την απόδοση των τρισδιάστατων προοπτικών εικόνων από την οπτική γωνία του οδηγού με στόχο στο τελευταίο κεφάλαιο να γίνει σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων οπτικοποίησης των προβλημάτων στην χάραξη.

Το **λογισμικό οδοποιίας FM17** είναι μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα μελέτης οδικών έργων η οποία έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Φώτη Μερτζάνη, και διανέμεται και διδάσκεται στους σπουδαστές της κατεύθυνσης των συγκοινωνιολόγων μηχανικών ως μέρος του μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου “Ειδικά Κεφάλαια Οδοποιίας”. Μαζί με τις σημειώσεις του μαθήματος παρέχονται στους σπουδαστές και οι οδηγίες χρήσης του προγράμματος (25). Το πρόγραμμα λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Excel χωρισμένο σε πολλά φύλλα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μακροεντολές γραμμένες σε γλώσσα Fortran, αποθηκεύει τα δεδομένα του σε αρχεία τύπου σημειωματάριου (.txt) και εξάγει ολοκληρωμένα σχέδια για χρήση τους στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD σε μορφή Drawing Exchange Format (.dxf).

Το **κεντρικό μενού του προγράμματος** παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Τα κουμπιά χωρίζονται σε πίνακες εισαγωγής δεδομένων (μπλε κουμπιά), προγράμματα παραγωγής σχεδίων (κόκκινα κουμπιά) και αρχεία αποτελεσμάτων (πράσινα κουμπιά). Η δομή του κεντρικού μενού ως διάγραμμα ροής παρέχει εποπτικότητα όλης της διαδικασίας εκπόνησης της μελέτης μιας οδού. Η χρήση του προγράμματος συνοπτικά είναι η εξής: Αφού εισαχθούν οι βασικές παράμετροι της μελέτης της οδού στο φύλλο με την ονομασία “Παράμετροι”, εισάγονται τα δεδομένα σχεδιασμού της οδού στα μπλε φύλλα δεδομένων και εκτελούνται τα κόκκινα προγράμματα της μελέτης. Αμέσως μετά την εκτέλεση των προγραμμάτων, ανοίγουν αυτόματα τα παραγόμενα σχέδια στην εφαρμογή AutoCAD και αν το επιθυμεί ο χρήστης μπορούν να ανοιχθούν τα πράσινα αρχεία αποτελεσμάτων στην εφαρμογή σημειωματάριο (notepad). Η περαιτέρω επεξήγηση της λειτουργίας του προγράμματος ξεφεύγει του σκοπού της παρούσης εργασίας καθώς είναι σχετικά απλό στη χρήση του και είναι εύκολη η πρόσβαση στις οδηγίες χρήσης του (25) (15).



Εικόνα 43 Κεντρικό Μενού Προγράμματος FM17

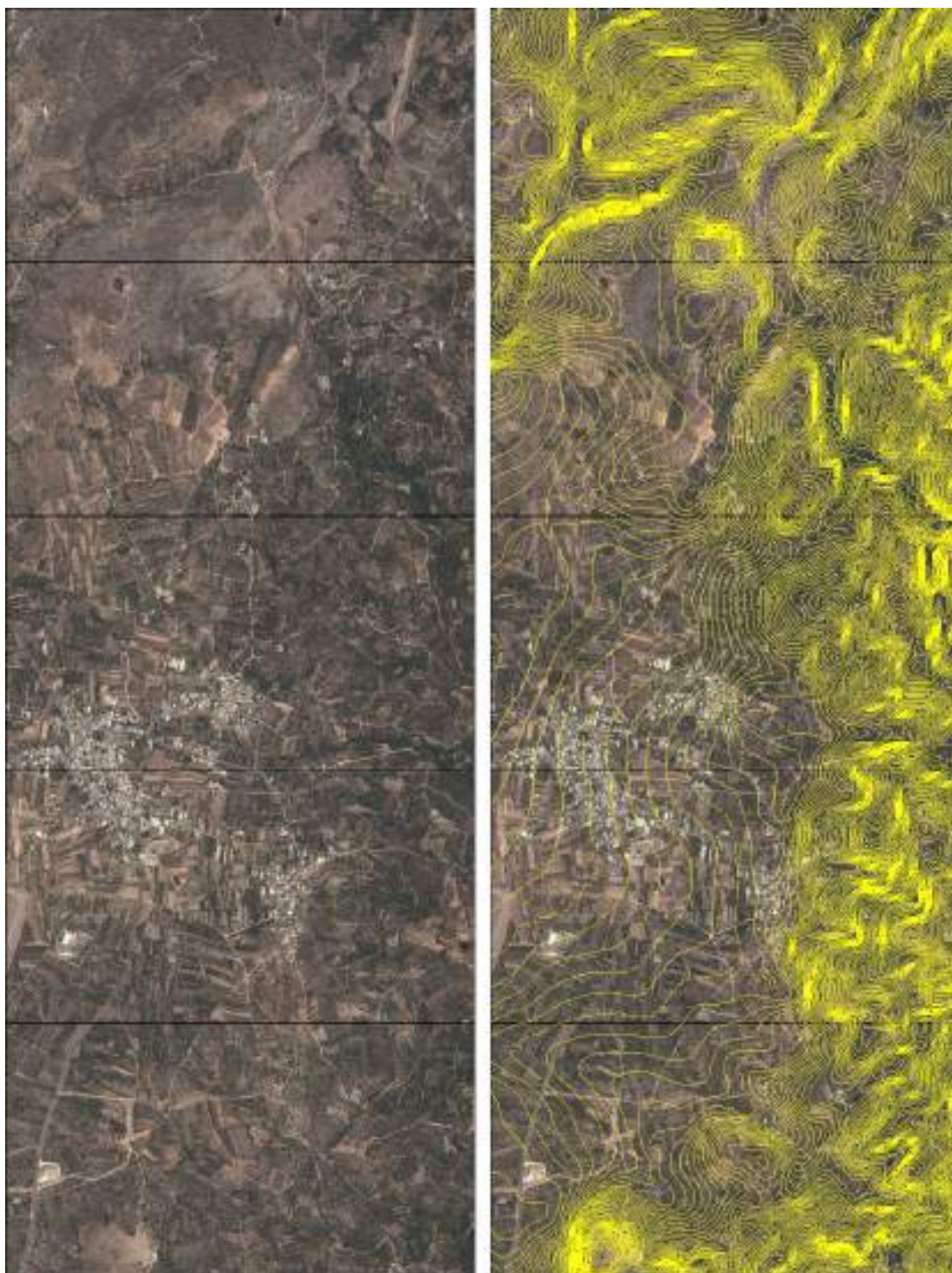
Θα δημιουργηθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα των **τεσσάρων προβληματικότερων συνδυασμών** οριζοντιογραφίας με μηκοτομή. Στην πορεία του δευτέρου κεφαλαίου απομονώθηκαν οι περιπτώσεις που οδηγούν σε τοπική υπερύψωση της οδού, στη δημιουργία κυματισμού, τα βυθίσματα και τα άλματα ως οι πλέον επικίνδυνες για την οδική ασφάλεια δεδομένου ότι σε αυτές τις περιπτώσεις αποκρύπτεται μέρος του καταστρώματος της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού.

Είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι εάν ακολουθηθούν όλες οι προδιαγραφές μελέτης ενός οδικού έργου **μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες εμφάνισης** κάποιου από τους προβληματικούς συνδυασμούς και ακόμη και όταν αυτοί εμφανίζονται το πρόβλημα εξομαλύνεται σε μεγάλο βαθμό με τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ακτινών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, πρακτική που ούτως ή άλλως προτείνεται από τους κανονισμούς των περισσότερων χωρών. Το κυριότερο μέσο αντιμετώπισης των προβληματικών συνδυασμών είναι η σύμπτωση των σημείων καμπής της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, το οποίο αναφέρεται ως βασικό στοιχείο μίας επιτυχημένης τρισδιάστατης χάραξης στους ελληνικούς (4), τους γερμανικούς (5) και τους αμερικάνικους κανονισμούς (6) (7).

Φροντίζοντας να υπάρχει ο ίδιος περίπου αριθμός σημείων καμπής στην οριζοντιογραφία και την μηκοτομή, να συμπίπτουν κατά το δυνατόν και να γίνεται αισθητή η αλλαγή κατεύθυνσης στην οριζοντιογραφία πριν την καμπύλη της μηκοτομής αποφεύγεται η πλειοψηφία των οπτικών παραμορφώσεων για τους χρήστες της οδού. **Δεν αποκλείεται όμως εντελώς η εμφάνισή τους**, καθώς είναι δυνατόν να παρουσιαστούν οπτικές παραμορφώσεις ακόμη και σε δρόμους που πληρούν όλες τις προδιαγραφές των κανονισμών.

Τα παραδείγματα που θα δημιουργηθούν και παρουσιαστούν στο παρών υποκεφάλαιο είναι σύμφωνα με τις ελληνικές και διεθνείς προδιαγραφές όμως παρόλα αυτά αντιμετωπίζουν τα προαναφερθέντα προβλήματα. Το γεγονός αυτό τονίζει την **αναγκαιότητα προσεκτικής διερεύνησης της εκάστοτε χάραξης** από τον μελετητή καθώς η εφαρμογή των κανονισμών δεν εξασφαλίζει κατ' αναγκαιότητα την απόλυτη ασφάλεια του οδικού έργου. Μόνο μελετώντας την οδό από την οπτική του οδηγού μπορούν με βεβαιότητα να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν όλες οι περιπτώσεις οπτικών προβλημάτων.

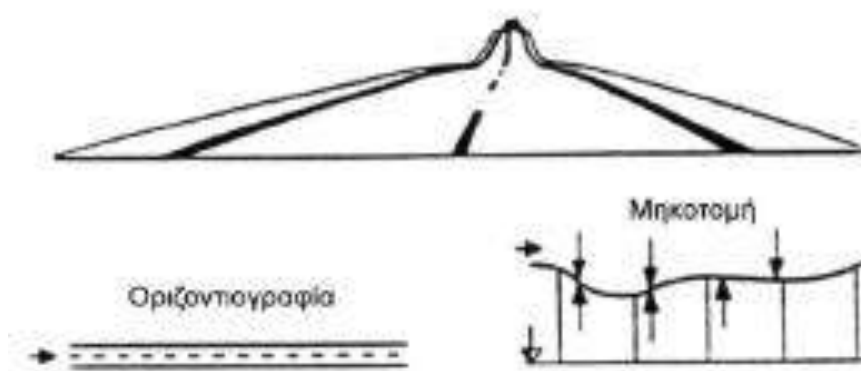
Οι πειραματικές χαράξεις δημιουργήθηκαν στο Καστέλι Ηρακλείου Κρήτης, στην περιοχή της κατασκευής του νέου αεροδρομίου. **Η περιοχή που χρησιμοποιήθηκε** παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή και αποτελείται από μια ισόπεδη και ομαλή κατοικημένη περιοχή στην νοτιοδυτική πλευρά και διάφορα χαμηλά όρη στην βόρεια, την ανατολική και τη νότια πλευρά του χάρτη. Είναι αντιπροσωπευτικό ανάγλυφο πολλών περιοχών στη νήσο της Κρήτης και ταυτόχρονα εμφανίζει ποικιλία χαρακτηριστικών που θα χρησιμεύσουν στις διάφορες χαράξεις.



Εικόνα 44 Περιοχή Καστελίου Ηρακλείου Κρήτης. Ορθοφωτοχάρτης Με και Χωρίς Ισοϋψείς Καμπύλες

Για τη δημιουργία των πειραματικών χαράξεων, απομονώθηκαν τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν κάθε τύπο προβλήματος ώστε να προσδιοριστούν τα στοιχεία της χάραξης που δημιουργούν τον συγκεκριμένο τύπο προβλήματος. Για παράδειγμα, το φαινόμενο της **τοπικής υπερύψωσης** (Aufwölbung) δημιουργείται, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όταν η χάραξη ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, χωρίς κάποιο τμήμα της να αποκρύπτεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού.

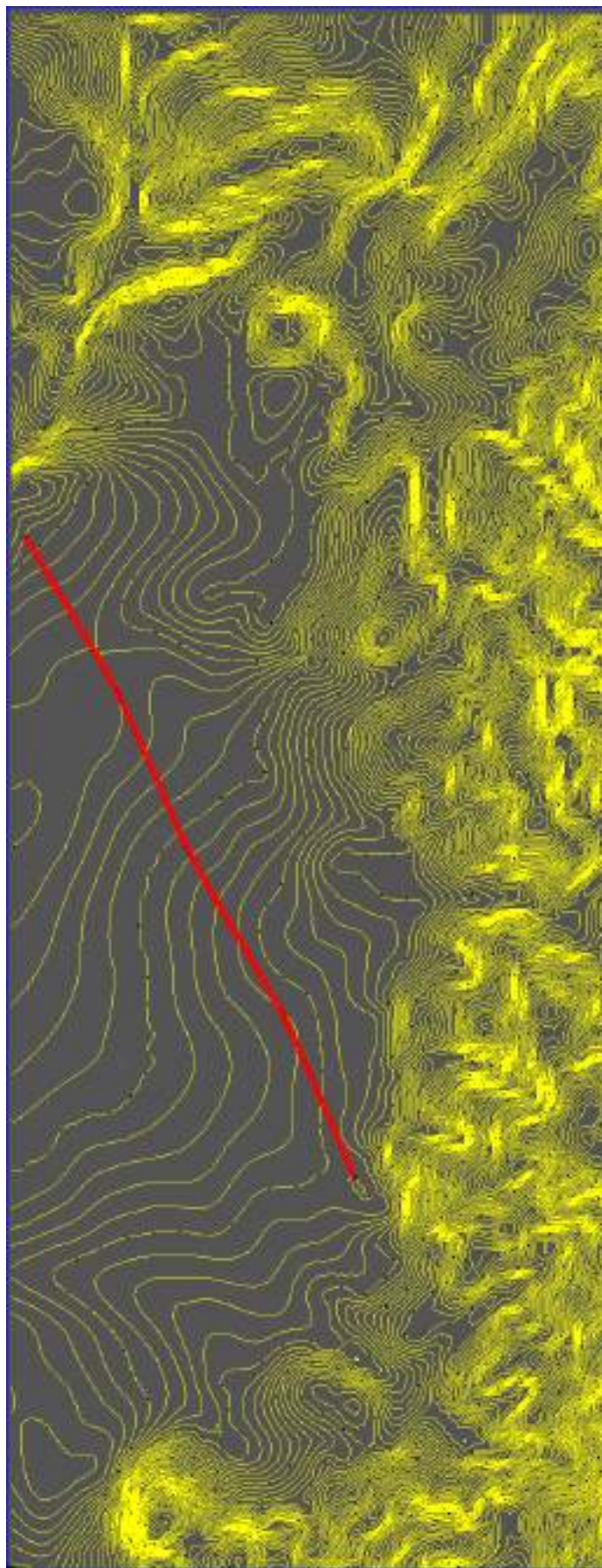
Κύριο στοιχείο της τοπικής υπερύψωσης είναι η εικόνα της μηκοτομής της. Για να αναπαρασταθεί απαιτούνται τουλάχιστον τρία σημεία καμπής στην μηκοτομή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Προκειμένου να ακολουθηθούν όλες οι οδηγίες σωστού σχεδιασμού και ειδικότερα η οδηγία για την σύμπτωση των σημείων καμπής, θα δοθούν στο πρόγραμμα τα παρακάτω **στοιχεία χάραξης της οριζοντιογραφίας** στο φύλλο εισαγωγής δεδομένων “Κορυφές” προκειμένου να δημιουργηθούν τρία σημεία καμπής και στην οριζοντιογραφία.



Εικόνα 45 Συνοπτική Παρουσίαση των Χαρακτηριστικών της Τοπικής Υπερύψωσης

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολόγης Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολόγης Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621261,8362	3898038,4057	0	0	0	0	0	0
102	621571,3469	3897523,7705	260	2300	260	7	0	0
103	621808,9680	3896972,2431	260	2300	260	7	0	0
104	622118,4786	3896457,6079	260	2300	260	7	0	0
105	622356,0997	3895906,0805	0	0	0	0	0	0

Εικόνα 46 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Εικόνα 47 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

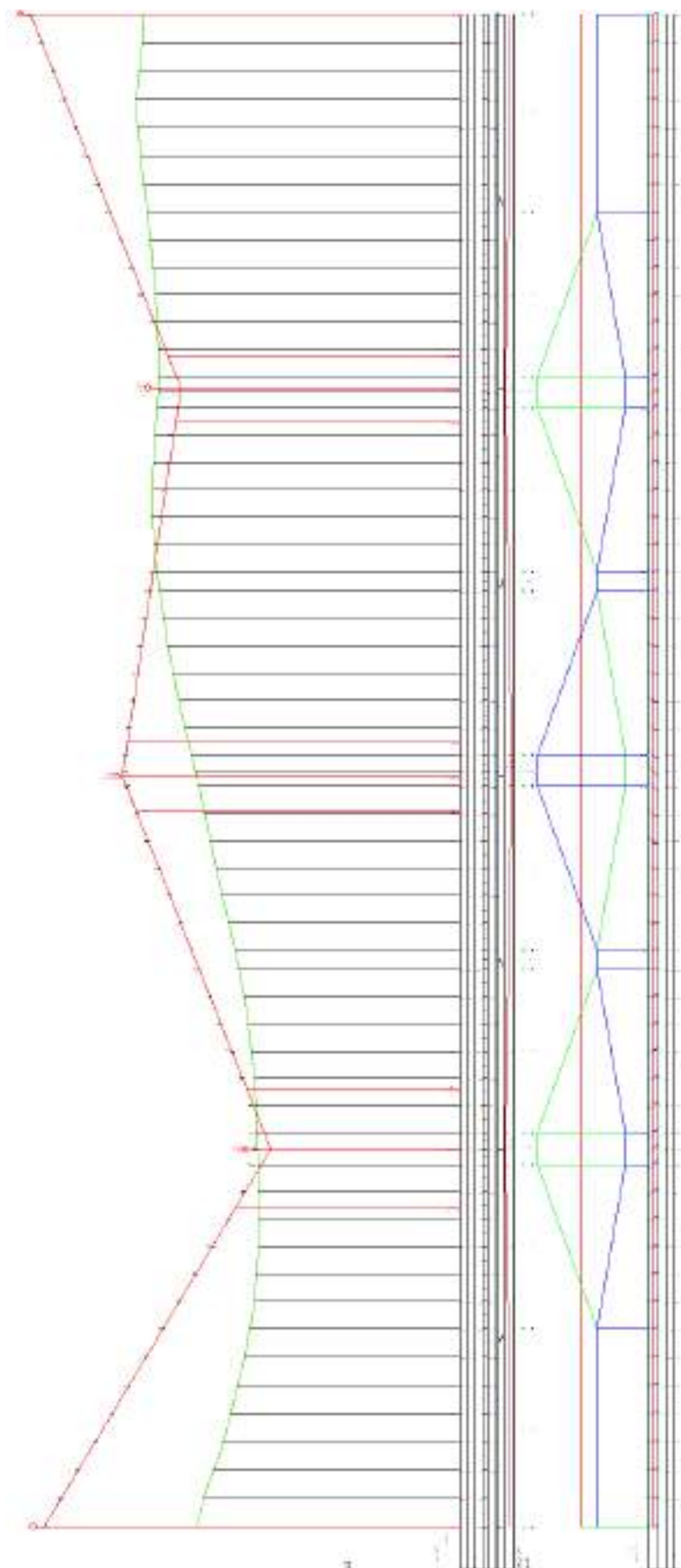
K101 $X_k=621261.8362$ $Y_k=3898038.4057$	K102 $X_k=621571.3469$ $Y_k=3897523.7705$ $\beta=191.4277 \text{ grad}$ $\gamma=8.5723 \text{ grad}$ $R=2300.000$ $A=773.305$ $L=-260.000$ $t=.0565 \text{ grad}$ $X=259.917$ $Y=4.897$ $X_m=129.986$ $\Delta R=1.224$ $T=285.154$ $\delta=6.450$ $\Omega\Omega'=49.702$ $\Delta\Omega\Omega'A'=569.702$	K103 $X_k=621808.9680$ $Y_k=3896972.2431$ $\beta=191.4277 \text{ grad}$ $\gamma=8.5723 \text{ grad}$ $R=2300.000$ $A=773.305$ $L=-260.000$ $t=.0565 \text{ grad}$ $X=259.917$ $Y=4.897$ $X_m=129.986$ $\Delta R=1.224$ $T=285.154$ $\delta=6.450$ $\Omega\Omega'=49.702$ $\Delta\Omega\Omega'A'=569.702$	K104 $X_k=622118.4786$ $Y_k=3896457.6079$ $\beta=191.4277 \text{ grad}$ $\gamma=8.5723 \text{ grad}$ $R=2300.000$ $A=773.305$ $L=-260.000$ $t=.0565 \text{ grad}$ $X=259.917$ $Y=4.897$ $X_m=129.986$ $\Delta R=1.224$ $T=285.154$ $\delta=6.450$ $\Omega\Omega'=49.702$ $\Delta\Omega\Omega'A'=569.702$	K105 $X_k=622356.0997$ $Y_k=3895906.0805$
--	---	---	---	--

Εικόνα 48 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας

Αντίστοιχα παραθέτονται τα **στοιχεία χάραξης της μηκοτομής** που εισήχθησαν στο πρόγραμμα στο φύλλο δεδομένων “Σημαίες” και παρουσιάζεται η παραγόμενη μηκοτομή της οδού. Στόχος ήταν η δημιουργία τριών σημείων καμπής τα οποία να ακολουθούν βραχείες ανυψώσεις του εδάφους δημιουργώντας ένα κύρτωμα ανάμεσα σε δύο κοιλώματα χωρίς όμως να αποκρύπτεται κάποιο τμήμα της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού.

Σημαία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα
F101	0,000	366,000	0
F102	600,235	329,972	1900
F103	1190,869	353,588	3000
F104	1806,269	344,357	1900
F105	2400,334	368,120	0

Εικόνα 49 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Εικόνα 50 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

Τα ακόλουθα στοιχεία διατηρήθηκαν **σταθερά σε όλες τις πειραματικές χαράξεις** και αφορούν στη διαμόρφωση των διατομών. Τα πλήρη σχέδια των πειραματικών χαράξεων παρατίθενται στα παραρτήματα στο τέλος της παρούσης εργασίας.

Από ΧΘ	Έως ΧΘ	Από ΔΗ	Έως ΔΗ	Από Επίκλιση	Έως Επίκλιση	Διαμόρφωση Δρόμου	Κλίση Πρανούς	Διαμόρφωση Εδάφους
0	10000	-50	1	-10	10	ΤΑΦΡΟΣ	-1,000	0
0	10000	-1	1	-10	10	ΤΑΦΡΟΣ	0,667	0
0	10000	0	40	-10	10	ΕΡΕΙΣΜΑ	0,667	0
0	10000	-100	100	-10	10	0,000	9999,000	0
0	10000	-100	100	-10	10	0,000	-9999,000	0

Εικόνα 51 Δεδομένα Κλίσεων/Διαμορφώσεων Αριστερά-Δεξιά

Διαμόρφωση	ΔΧ	ΔΥ	ΔΥ/ΔΧ [%]	ΔΖ	Κωδικός	Κλίση %
ΕΡΕΙΣΜΑ	1,5	0,0	12,0	0,0	-1,0	0,0
ΕΡΕΙΣΜΑ	1,3	0,0	12,0	0,0	2,0	0,0
ΤΑΦΡΟΣ	2,9	0,0	2,5	0,0	2,0	0,0
ΤΑΦΡΟΣ	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	700,0
ΤΑΦΡΟΣ	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΤΑΦΡΟΣ	0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	-700,0
ΤΑΦΡΟΣ	2,0	0,0	-6,0	0,0	2,0	0,0
ΤΑΦΡΟΣ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-100,0

Εικόνα 52 Στοιχεία Γεωμετρίας Διαμορφώσεων

Διαμόρφωση	Τομή Οδοστρώσας	Τομή Στράγγισης	Τομή Έδρας	Έναρξη ή Τέλος Πρανών Οριζοντιογραφίας	Χαρακτηριστικό Υψόμετρο Διαμόρφωσης
ΤΑΦΡΟΣ	6	6	6	6	2
ΕΡΕΙΣΜΑ	0	0	0	1	1

Εικόνα 53 Στοιχεία Ιδιοτήτων Διαμορφώσεων

Το **φαινόμενο του κυματισμού (Flattern)** παρουσιάζεται όταν εμφανίζονται πολλαπλές διαδοχικές τοπικές υπερυψώσεις της οδού και επιπλέον τονίζεται ότι όταν η οριζοντιογραφία είναι καμπυλόγραμμη και το οπτικό πεδίο ελεύθερο, ο οδηγός μπορεί να διακρίνει την πλευρική όψη της περιοχής όπου εμφανίζεται ο κυματισμός, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να γίνεται πιο έντονο, καθώς αποκαλύπτεται και η πιο μικρή υπερύψωση. Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε το παράδειγμα της περίπτωσης του κυματισμού να δημιουργηθεί κατά μήκος μίας οριζοντιογραφικής καμπύλης. Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία σχεδίασης της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής του παραδείγματος καθώς και τα παραγόμενα σχέδια που προκύπτουν.

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυση
101	621323,6390	3895920,7747	0	0	0	0	0	0
102	621415,4071	3897918,6682	260	2300	260	7	0	0
103	623191,5178	3898838,1414	0	0	0	0	0	0

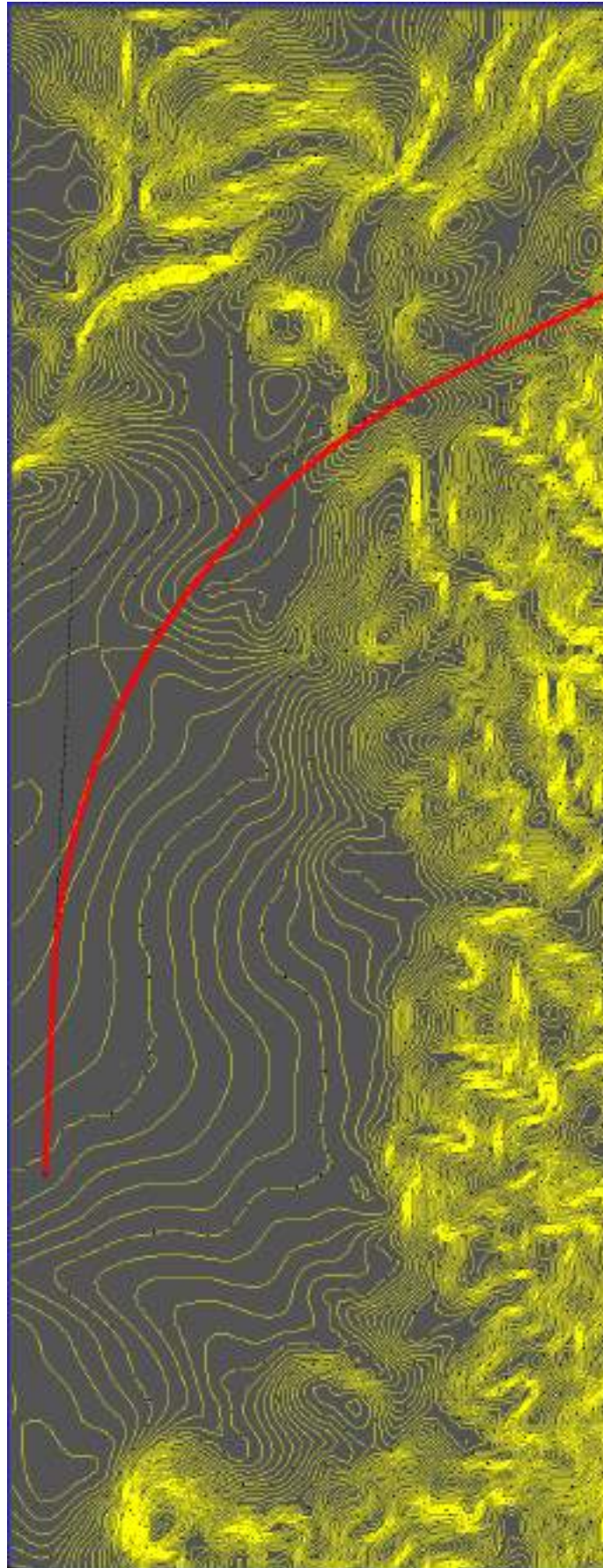
Εικόνα 54 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Κυματισμού

Σημεία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα
F101	0,000	364,100	0
F102	1070,000	332,000	6000
F103	1670,000	341,000	5200
F104	2070,000	321,000	3100
F105	2370,000	333,000	4800
F106	2670,000	327,000	3300
F107	3751,357	385,054	0

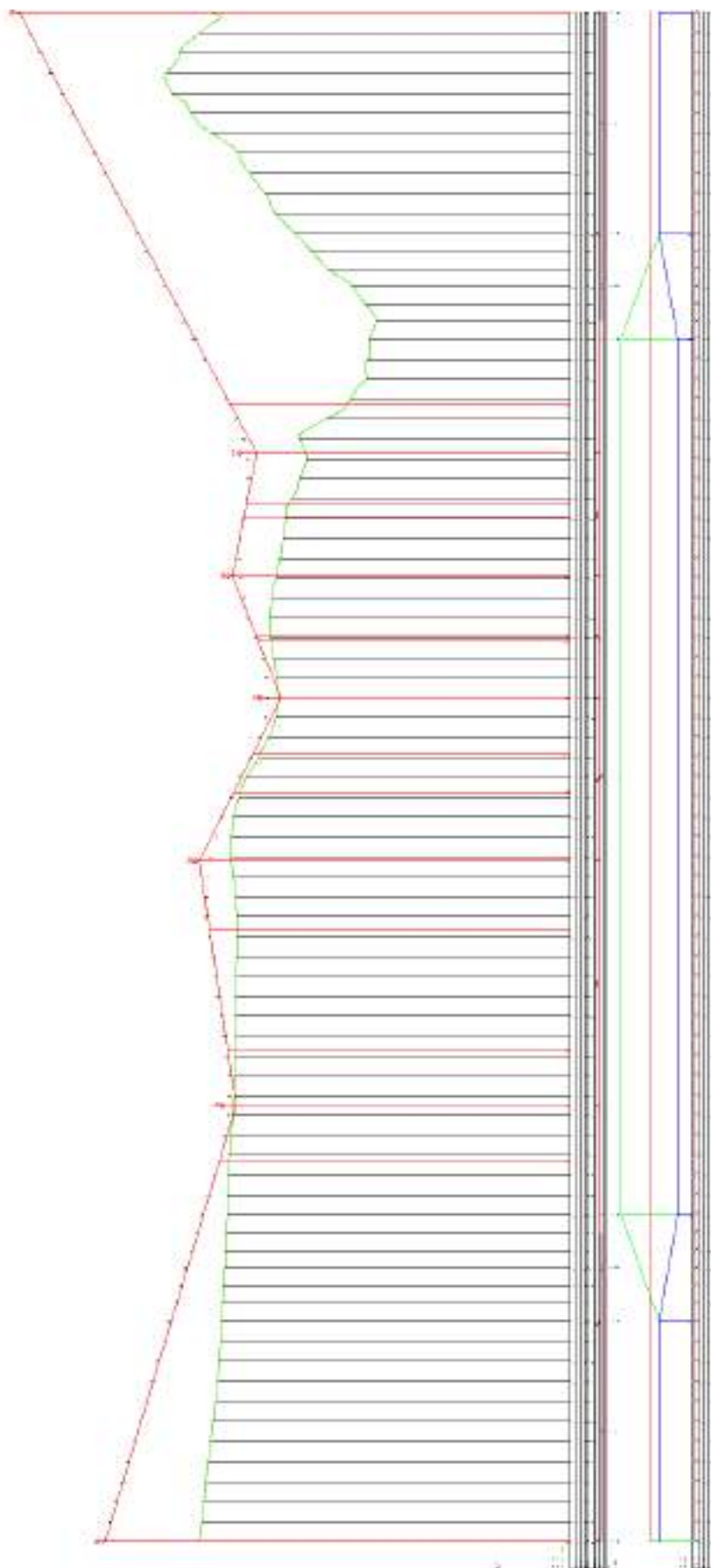
Εικόνα 55 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Κυματισμού

K101 Χκ=621323.6390 Υκ=3895920.7747	K102 Χκ=621415.4071 Υκ=3897918.6682 β=133.3333 grad γ=66.6667 grad R=2300.000 A=773.305 L=260.000 τ= .0565 grad X=259.917 Y=4.897 Χm=129.986 ΔR=1.224 T=1458.599 δ=357.226 ΩΩ*=2148.555 ΑΩΩ*Α*=2668.555	K103 Χκ=623191.5178 Υκ=3898838.1414
---	---	---

Εικόνα 56 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας

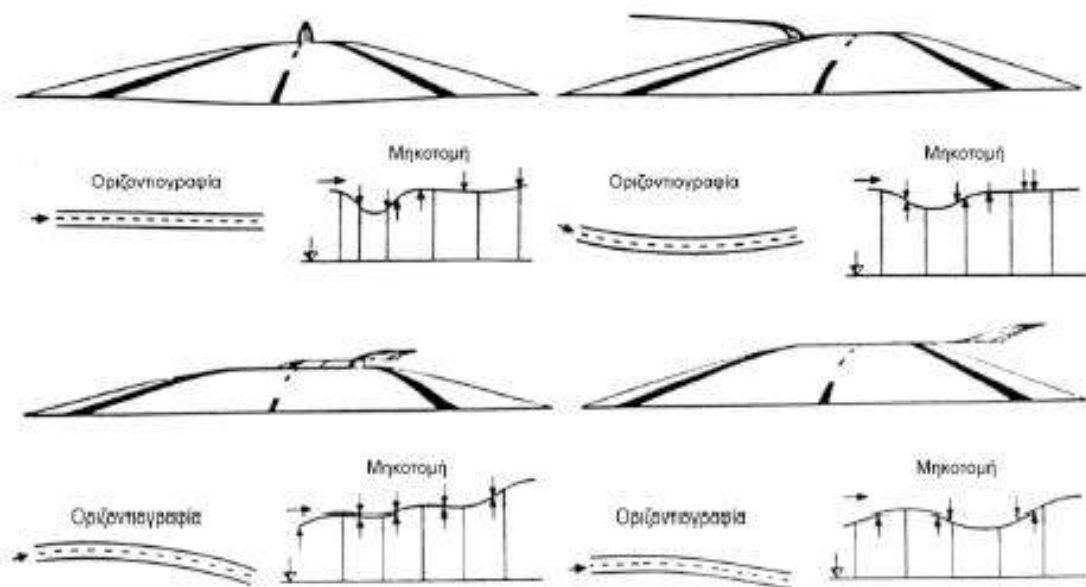


Εικόνα 57 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Κυματισμού



Εικόνα 58 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Κυματισμού

Στην **περίπτωση του βυθίσματος (Tauchen)** της οδού η μηκοτομή ακολουθεί πάλι (όπως στην υπερύψωση) βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, αλλά υπάρχουν τμήματα της οδού που χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Στην περίπτωση που το βύθισμα είναι μεγάλο δεν υπάρχει καθόλου ορατότητα σε κάποιο τμήμα της οδού, ενώ στο μικρό βύθισμα ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να προκληθούν ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Όπως και στην περίπτωση της τοπικής υπερύψωσης, θα δημιουργηθούν τρία σημεία καμπής στην μηκοτομή, ένα κοίλωμα μεταξύ δύο κυρτωμάτων το οποίο να αποκρύβει μέρος του οδοστρώματος από τον οδηγό. Αυτά θα συνδυαστούν με τρία σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία στις ίδιες χιλιομετρικές θέσεις με χαρακτηριστικά τέτοια ώστε το τόξο της μηκοτομής να εμπεριέχεται στο τόξο της οριζοντιογραφίας. Τα στοιχεία της χάραξης καθώς και τα παραγόμενα σχέδια παρατίθενται παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη χάραξη μεγάλο μέρος του οδοστρώματος αποκρύπτεται από τον οδηγό παρόλο που ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές.



Εικόνα 59 Συνοπτική Παρουσίαση του Φαινομένου του Βυθίσματος

Κεφάλαιο 4 – Μεθοδολογία Εργασίας

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621660,9547	3899019,3205	0	0	0	0	0	0
102	621831,5452	3898442,2744	225	2000	225	7	0	0
103	622105,0492	3897906,2904	225	2000	225	7	0	0
104	622275,6397	3897329,2444	225	2000	225	7	0	0
105	622549,1437	3896793,2604	0	0	0	0	0	0

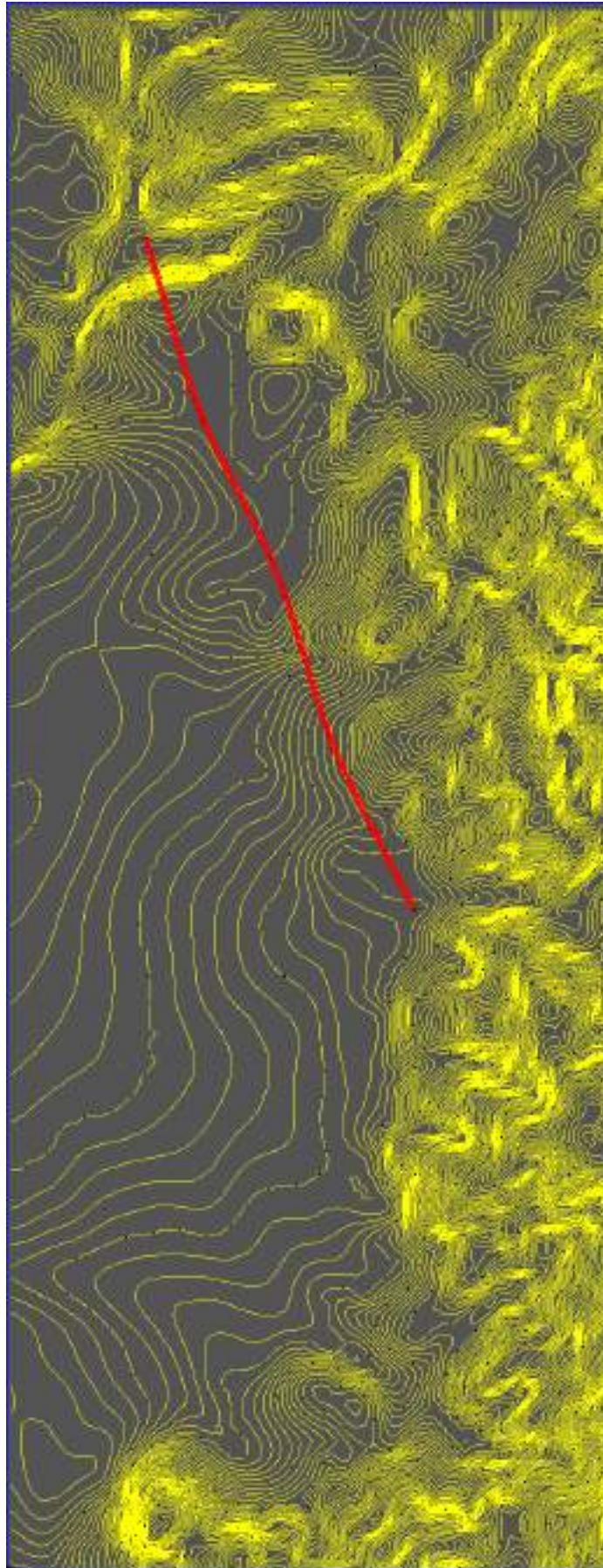
Εικόνα 60 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος

Σημαία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα
F101	0,000	332,000	0
F102	601,124	341,217	3000
F103	1201,637	316,996	1900
F104	1806,269	359,094	3000
F105	2403,275	368,049	0

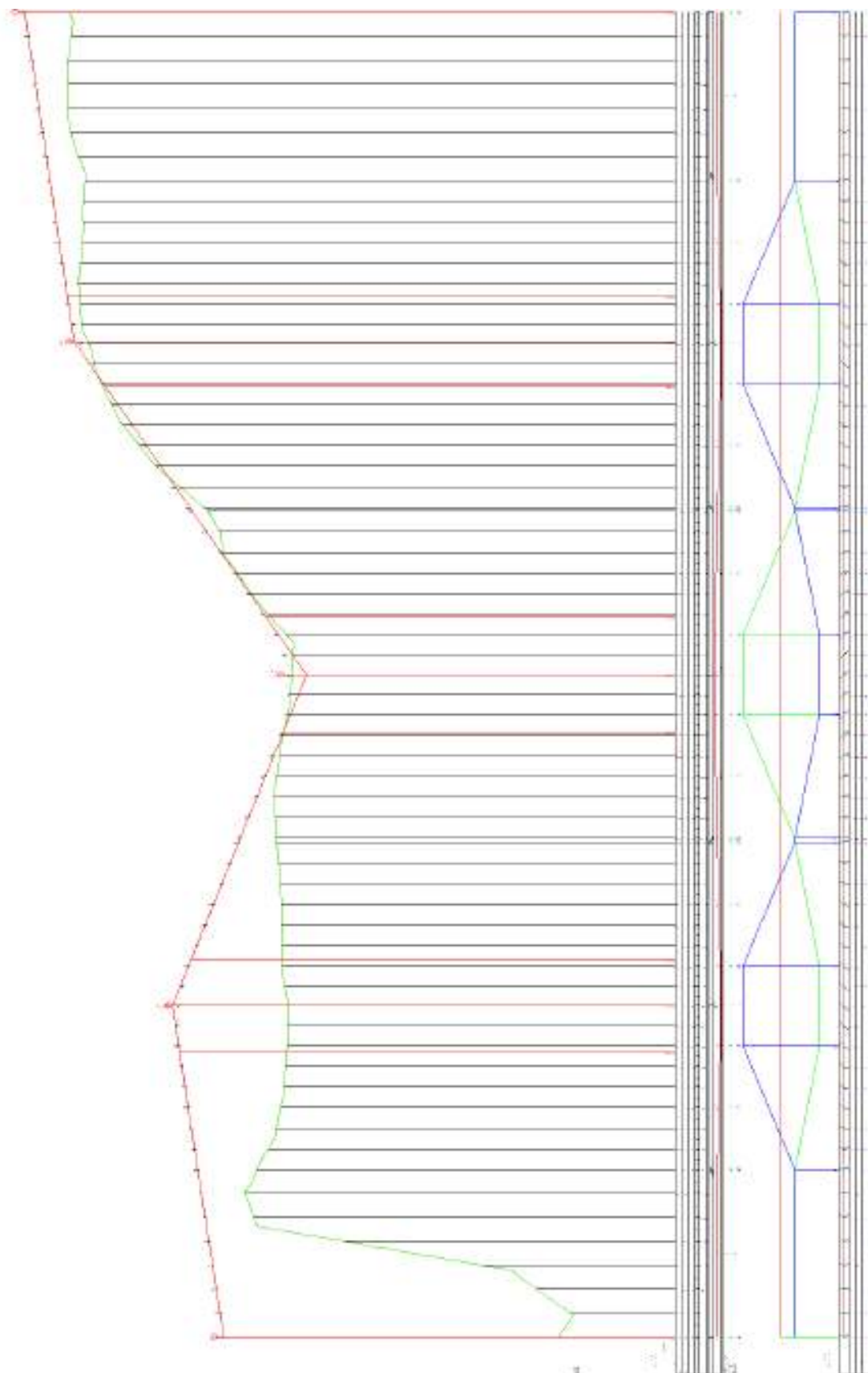
Εικόνα 61 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Βυθίσματος

K101 Xc=621660.9547 Yc=3899019.3205	K102 Xc=621831.5452 Yc=3898442.2744 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ= .0562 grad X=224.929 Y=4.218 Xm=112.468 ΔR=1.055 T=297.511 δ=8.580 ΩΩ*=143.801 ΑΩΩ*Α*=593.801	K103 Xc=622105.0492 Yc=3897906.2904 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ= .0562 grad X=224.929 Y=4.218 Xm=112.468 ΔR=1.055 T=297.511 δ=8.580 ΩΩ*=143.801 ΑΩΩ*Α*=593.801	K104 Xc=622275.6397 Yc=3897329.2444 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ= .0562 grad X=224.929 Y=4.218 Xm=112.468 ΔR=1.055 T=297.511 δ=8.580 ΩΩ*=143.801 ΑΩΩ*Α*=593.801	K105 Xc=622549.1437 Yc=3896793.2604
--	---	---	---	--

Εικόνα 62 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος

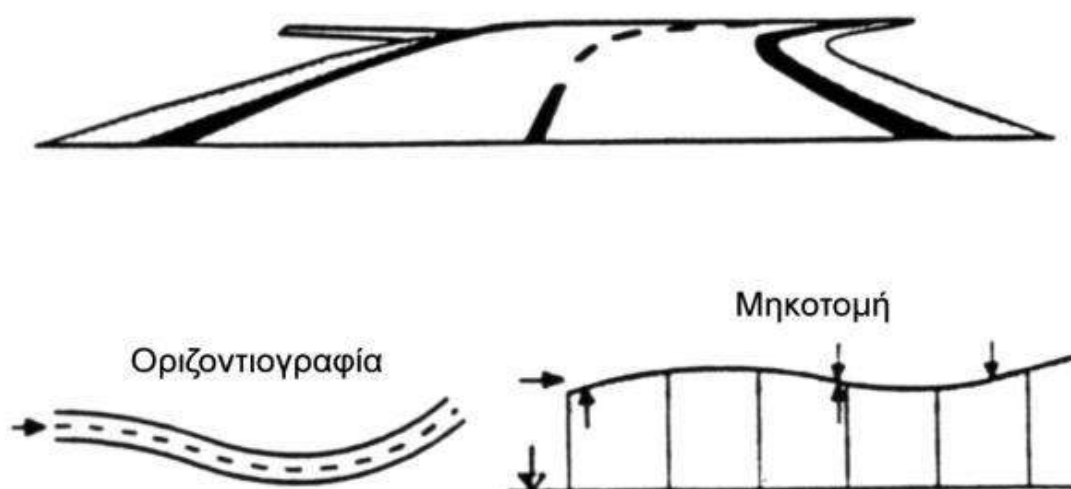


Εικόνα 63 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Βυθίσματος



Εικόνα 64 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Βυθίσματος

Το άλμα (Springen) της οδού δημιουργείται όταν ταυτόχρονα με το βύθισμα η χάραξη κάμπτεται και η αλλαγή κατεύθυνσης της οδού ενδέχεται να μην γίνεται εγκαίρως αντιληπτή από τους οδηγούς. Όταν δηλαδή η αρχή οριζοντιογραφικής καμπύλης κρύβεται από τον οδηγό από παρεμβαλλόμενο κύρτωμα ενώ η συνέχεια της καμπύλης είναι ορατή στο βάθος της προοπτικής εικόνας, τότε παρατηρείται ασυνέχεια της οδού. Προκειμένου να αναπαρασταθεί στην πειραματική χάραξη θα δημιουργηθούν δύο σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία τα οποία συμπίπτουν με δύο σημεία καμπής στην μηκοτομή, ένα κύρτωμα και αμέσως μετά ένα κοίλωμα. Με αυτό τον τρόπο η αρχή της δεύτερης καμπύλης αποκρύπτεται από τον οδηγό λόγω του αρχικού κυρτώματος και γίνεται αντιληπτή μόνο την τελευταία στιγμή. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι ιδιαίτερος επικίνδυνος και για αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι η συγκεκριμένη χάραξη είναι εντός των κανονισμών οπότε η απλή εφαρμογή των κανόνων δεν προστατεύει έναντι του προβλήματος αυτού.



Εικόνα 65 Συνοπτική Παρουσίαση του Φαινομένου του Άλματος

Κεφάλαιο 4 – Μεθοδολογία Εργασίας

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621261,8362	3898038,4057	0	0	0	0	0	0
102	621571,3469	3897523,7705	160	1400	160	7	0	0
103	621774,4243	3896951,4679	160	1400	160	7	0	0
104	622621,4446	3896014,9913	0	0	0	0	0	0

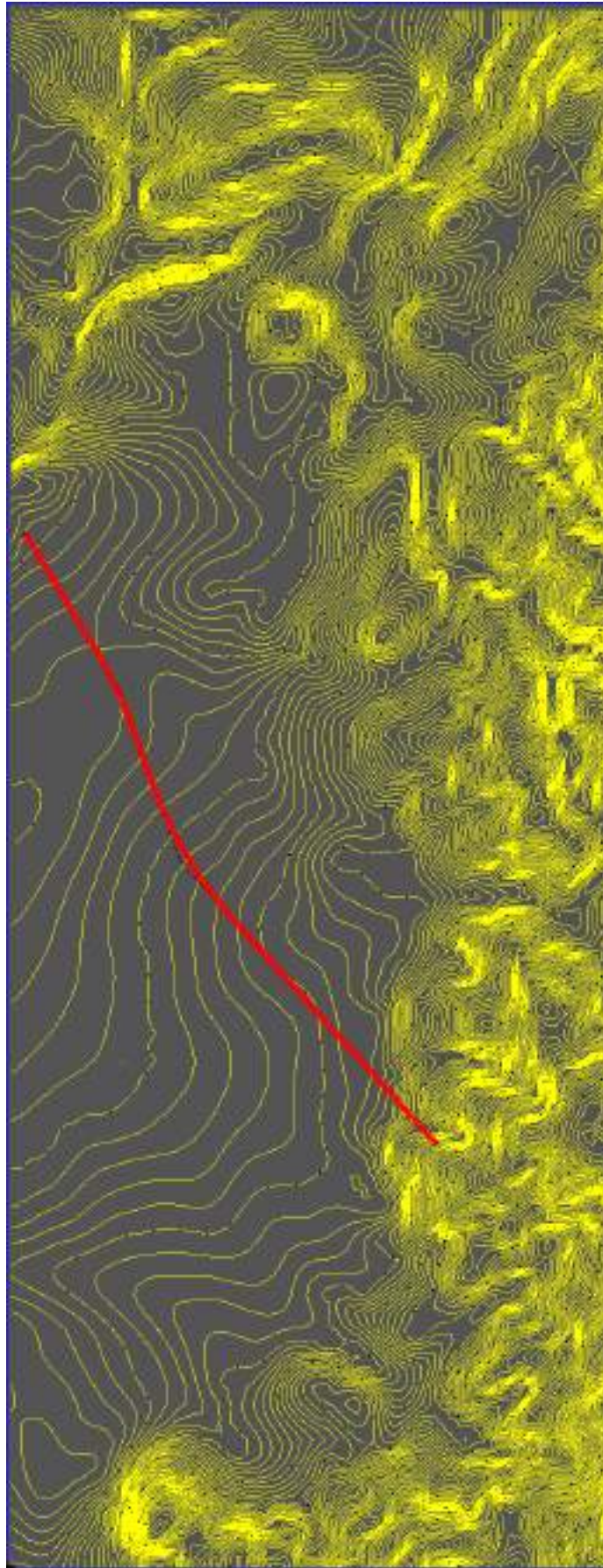
Εικόνα 66 Στοιχεία Χάραξης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Αλματος

Σημαία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα
F101	0,000	343,588	0
F102	599,998	352,650	3500
F103	1190,869	339,972	1900
F104	2461,880	396,120	0

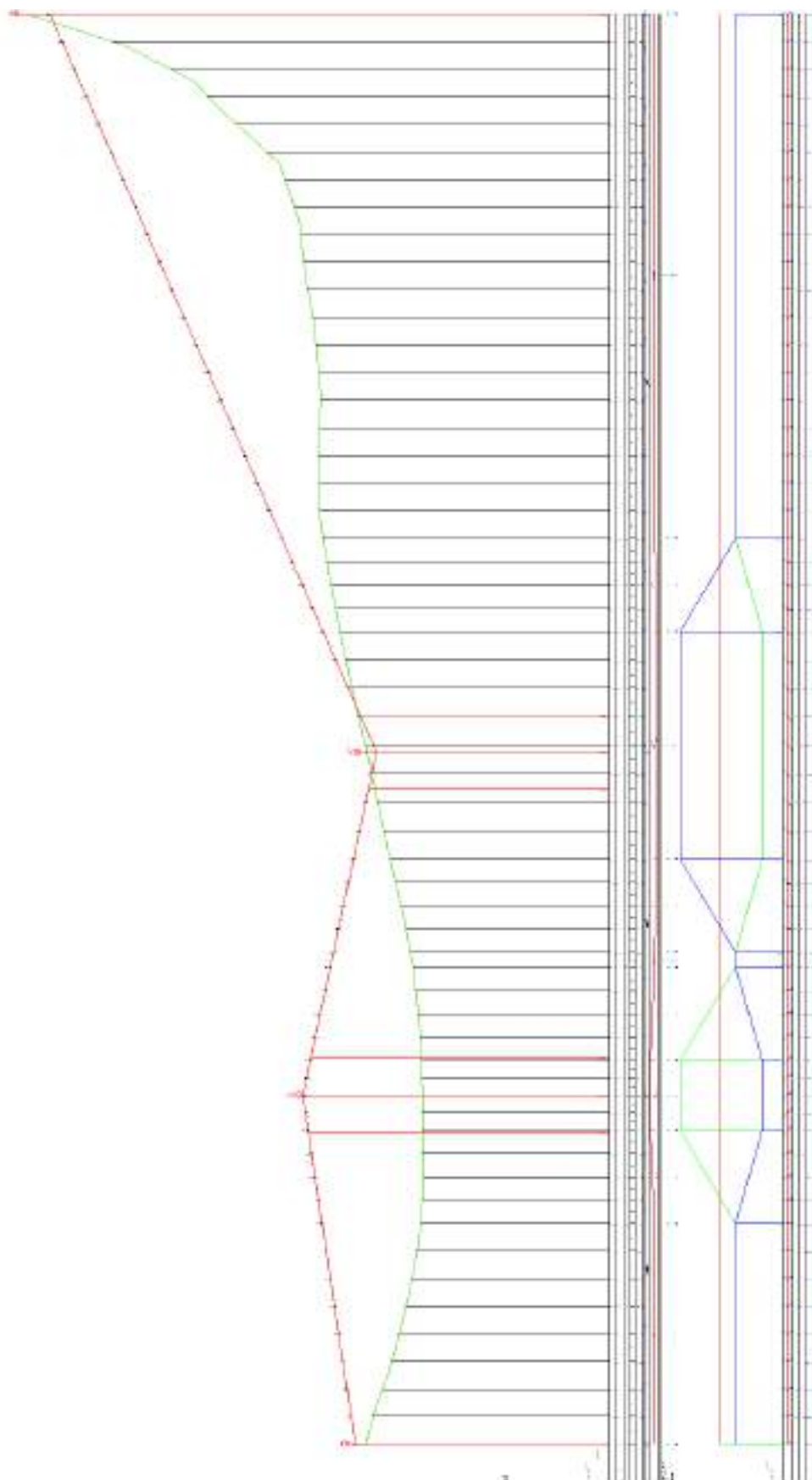
Εικόνα 67 Στοιχεία Χάραξης Μηκοτομής Παραδείγματος Αλματος

K101	K102	K103	K104
Χκ=621261.8362 Υκ=3898038.4057	Χκ=621571.3469 Υκ=3897523.7705 β=187.2371 grad γ=12.7629 grad R=1400.000 A=473.286 L=160.000 τ= 0571 grad X=159.948 Y=3.047 Xm=79.991 ΔR= .762 T=220.875 δ=7.829 ΩΩ*=120.670 ΑΩΩ*Α*=440.670	Χκ=621774.4243 Υκ=3896951.4679 β=174.8981 grad γ=25.1019 grad R=1400.000 A=473.286 L=160.000 τ= 0571 grad X=159.948 Y=3.047 Xm=79.991 ΔR= .762 T=359.786 δ=28.432 ΩΩ*=392.020 ΑΩΩ*Α*=712.020	Χκ=622621.4446 Υκ=3896014.9913

Εικόνα 68 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Αλματος



Εικόνα 69 Παραγόμενη Οριζοντιογραφία Παραδείγματος Άλματος



Εικόνα 70 Παραγόμενη Μηκοτομή Παραδείγματος Άλματος

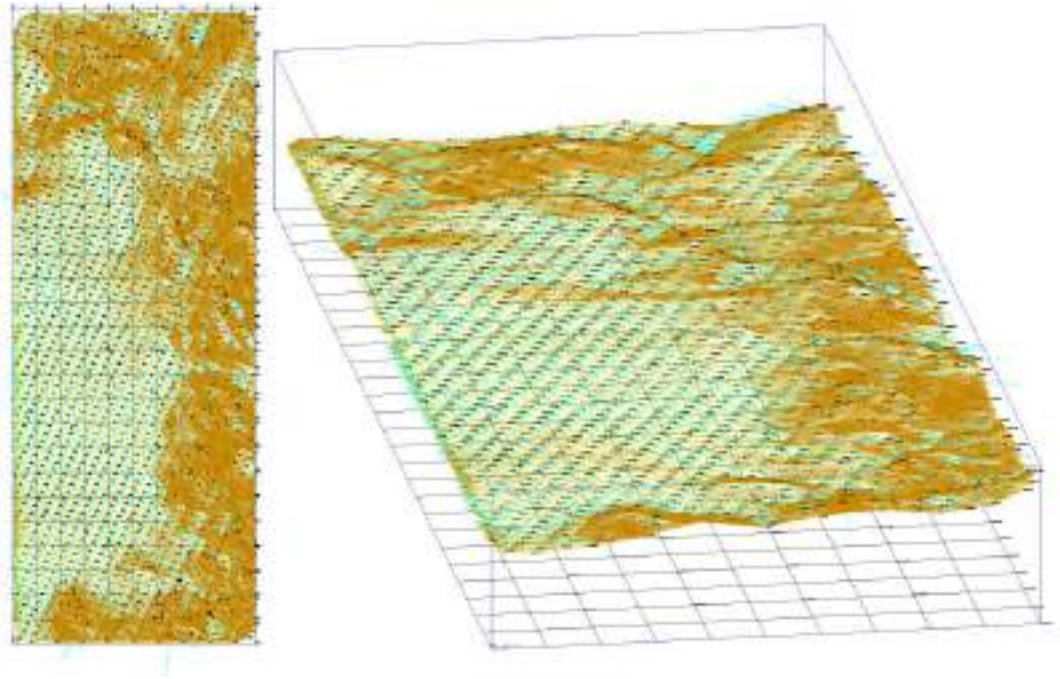
4.2 Δημιουργία Τρισδιάστατων Μοντέλων

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που παρατέθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και εκτελώντας με τη σειρά όλα τα προγράμματα παραγωγής σχεδίων (κόκκινα κουμπιά) του προγράμματος FM17 παράγονται όλα τα απαραίτητα σχέδια της κάθε χάραξης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η τρισδιάστατη απόδοση της κάθε χάραξης πρέπει πρώτα να **δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο** για την κάθε χάραξη. Υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο προγράμματα οδοποιίας τα οποία παράγουν την τρισδιάστατη απόδοση του οδικού έργου αυτόματα κατά τη φάση της μελέτης, όπως παραδείγματος χάριν το Tessler της Anadelta Software, ή και εξειδικευμένα προγράμματα τρισδιάστατου σχεδιασμού και απόδοσης όπως το Maya ή το 3ds Max της Autodesk. Τα προγράμματα του είδους όμως έχουν αυξημένο κόστος και απαιτούν ειδική εκπαίδευση για τον αποτελεσματικό χειρισμό τους.

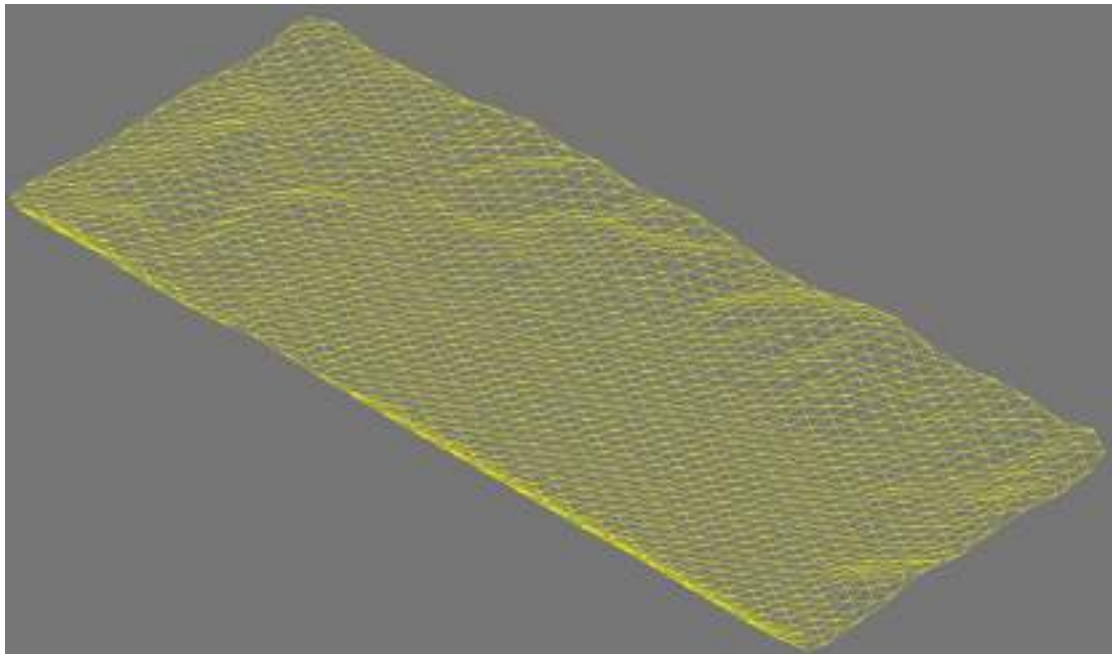
Έγινε προσπάθεια για την ανάπτυξη μίας **μεθοδολογίας όσο το δυνατόν πιο απλής** που να είναι εφικτό να την εφαρμόσει ο μέσος χρήστης και ταυτόχρονα όσο το δυνατόν λιγότερο απαιτητική σε πόρους. Για το σκοπό αυτό προτιμήθηκαν τα μοντέλα επιφανειών τα οποία είναι απλούστερα στη δημιουργία και στην επεξεργασία τους (βλ. κεφ. 3.2) και θα χρησιμοποιηθούν μόνο δύο από τα παραγόμενα σχέδια του προγράμματος FM17 ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αλλαγές μεταξύ αρχείων. Τα επιδιωκόμενα μοντέλα θα δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας μόνο βασικές εντολές του προγράμματος σχεδίασης Autodesk AutoCAD 2018 το οποίο είναι προσιτό σε οποιονδήποτε μελετητή μέσω εκπαιδευτικής άδειας χρήσης. Από την εμπειρία του γράφοντος διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία παραγωγής του μοντέλου διαρκεί μόνο μία με δύο ώρες.

Πριν τη δημιουργία του μοντέλου είναι απαραίτητη η **προετοιμασία των αρχείων** που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να γίνουν πιο απλά και εύχρηστα για το σκοπό αυτό. Από τα σχέδια που παράγονται μέσω του προγράμματος FM17, τα δύο που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία του μοντέλου είναι το μοντέλο εδάφους (mdl.dxf) και το τρισδιάστατο πλέγμα (wireframe) της οδού, των ερεισμάτων και των χωματισμών (tds.dxf).

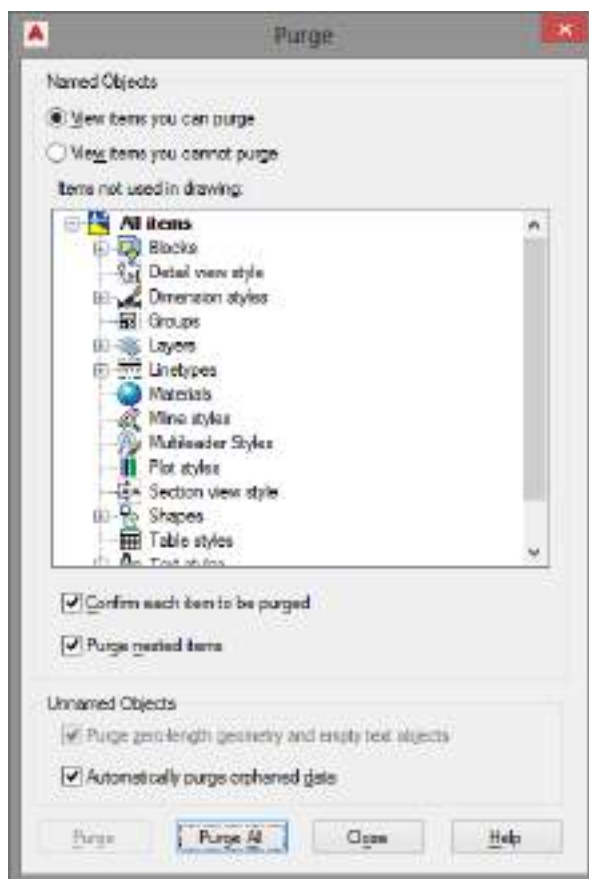
Για να πραγματοποιήσει τους υπολογισμούς του το πρόγραμμα FM17 δημιουργεί μέσω τριγωνισμού ένα μοντέλο εδάφους από τα σημεία του ανάγλυφου που του δίνονται. Το αρχείο mdl.dxf περιέχει όλα τα δεδομένα αυτού του μοντέλου μεταξύ των οποίων και τα παραγόμενα **τρίγωνα με αντιστοιχισμένες τις συντεταγμένες** και στους τρεις άξονες. Οι πληροφορίες που περιέχονται στο σχέδιο είναι χωρισμένες στα διάφορα στρώματα (layers) του σχεδίου. Προτού χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο αρχείο για την εξαγωγή του μοντέλου του εδάφους θα πρέπει να απαλλαχθεί από τις περιττές για το σκοπό αυτό πληροφορίες ώστε να γίνει πιο εύχρηστο. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί διαγράφοντας οτιδήποτε υπάρχει σε όλα τα layers του σχεδίου εκτός από το layer με την ονομασία “Τρίγωνα”. Στη συνέχεια μέσω της εντολής Purge (καθαρισμός) μπορούν να διαγραφούν τα μη απαραίτητα layers, στυλ εκτύπωσης, υλικά κ.α. ώστε να απλοποιηθεί περαιτέρω το σχέδιο. Στη συνέχεια αποθηκεύεται το αρχείο με τη μορφή drawing (.dwg) ώστε να επιταχυνθεί η ανάγνωση και η αποθήκευσή του.



Εικόνα 71 Διαφορετικές Οπτικές του Μοντέλου Εδάφους Όπως Αυτό Παράγεται από το Πρόγραμμα FM17

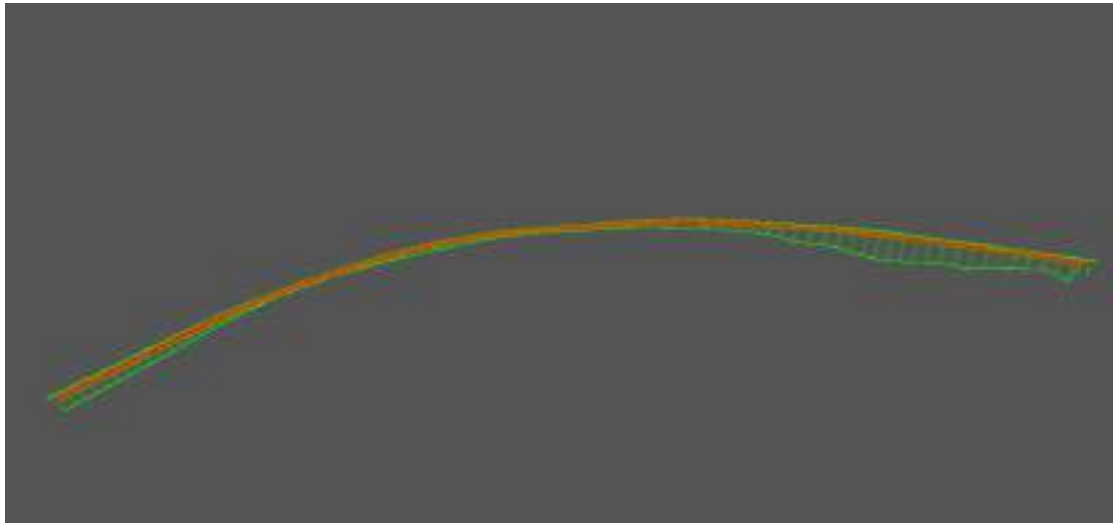


Εικόνα 72 Τα Τρίγωνα που Περιέχονται στο Αρχείο του Μοντέλου Εδάφους

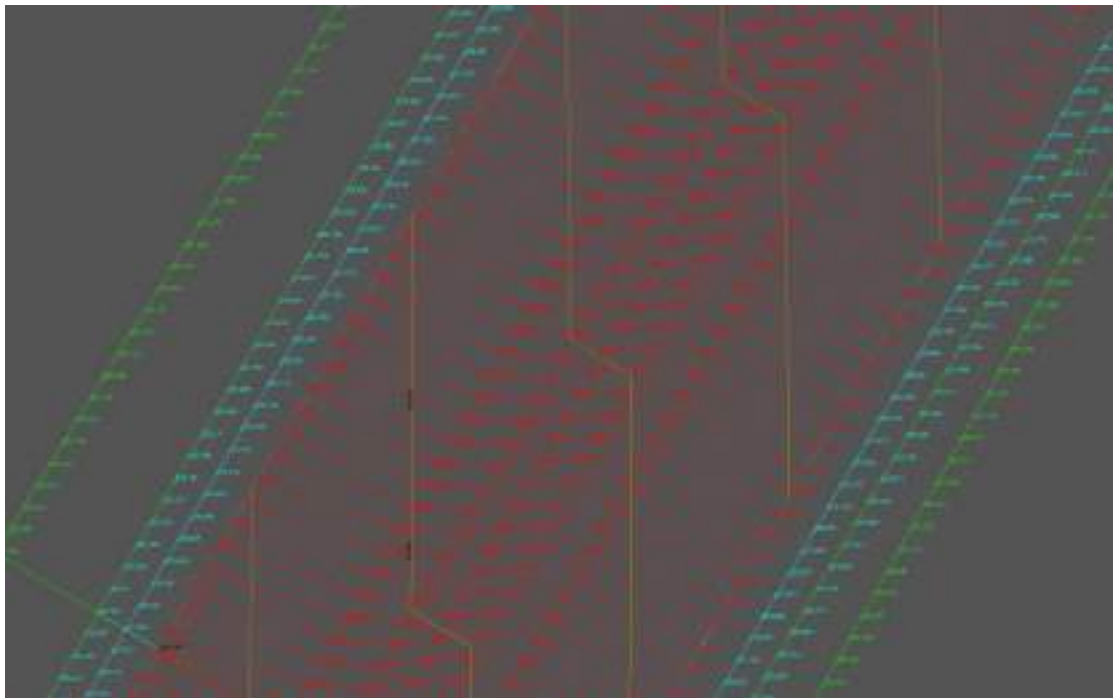


Εικόνα 73 Το Παράθυρο Αλληλεπίδρασης της Εντολής Purge

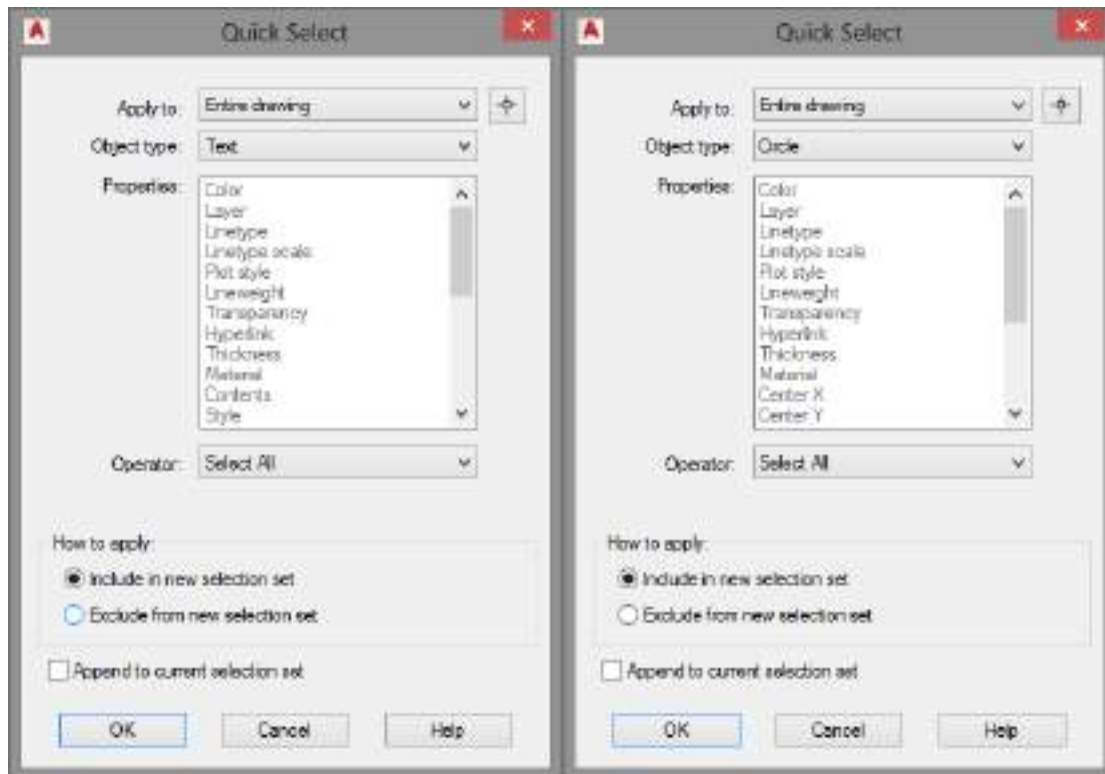
Παρομοίως το παραγόμενο από το πρόγραμμα FM17 αρχείο του τρισδιάστατου πλέγματος tds.dxf παράγεται συνδυάζοντας τα στοιχεία από την οριζοντιογραφία, τη μηκοτομή και τις διατομές και περιέχει **όλη τη συσσωρευμένη πληροφορία από αυτά τα σχέδια**. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου θα πρέπει και αυτό να απλουστευθεί. Τα στοιχεία του σχεδίου που θα χρησιμοποιηθούν με τις συντεταγμένες τους είναι οι οδογραμμές, ο άξονας της οδού, και οι διαμορφώσεις στα πλάγια της οδού. Ως εκ τούτου, το αρχείο μπορεί να απλοποιηθεί διαγράφοντας τα περιεχόμενα όλων των layers εκτός των “Άξονας”, “Διαγράμμιση”, “Κλίσεις_Διαμορφώσεις”, και “Οδογραμμές”. Επίσης το συγκεκριμένο σχέδιο περιέχει πολλά στοιχεία κειμένου τα οποία καθυστερούν πολύ τη λειτουργία του προγράμματος. Με χρήση της εντολής QSELECT (Quick Select – Γρήγορη Επιλογή) μπορούν να επιλεγθούν όλα τα κείμενα μαζί για να διαγραφούν και έπειτα να επαναληφθεί η διαδικασία για τους κύκλους (Circle) οι οποίοι είναι περιττοί στη διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου. Στη συνέχεια εκτελείται η εντολή Purge ώστε να αφαιρεθούν τα περιττά στοιχεία από το σχέδιο και αποθηκεύεται σε μορφή Drawing (.dwg). Συνιστάται για τη διατήρηση της ευχρηστίας και της επεξεργασιμότητας του μοντέλου η δημιουργία ενός χωριστού αρχείου Drawing (.dwg) στο οποίο να μεταφέρονται μόνες τους οι δημιουργούμενες επιφάνειες με την εντολή COPYBASE (αντιγραφή με σημείο αναφοράς) και να τοποθετούνται η κάθε μία σε χωριστό στρώμα (layer).



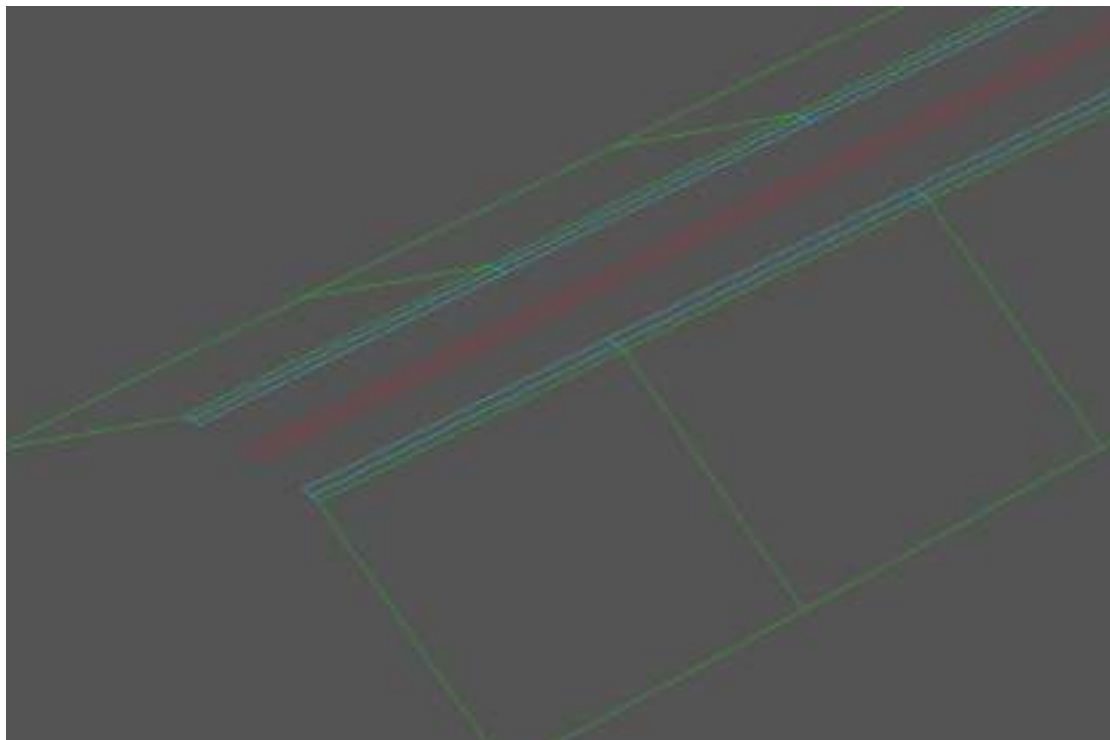
Εικόνα 74 Το τρισδιάστατο Πλέγμα (Wireframe) της Χάραξης Όπως Παράγεται Από το Πρόγραμμα FM17



Εικόνα 75 Το Επίπεδο Λεπτομέρειας του Αρχικού Σχεδίου

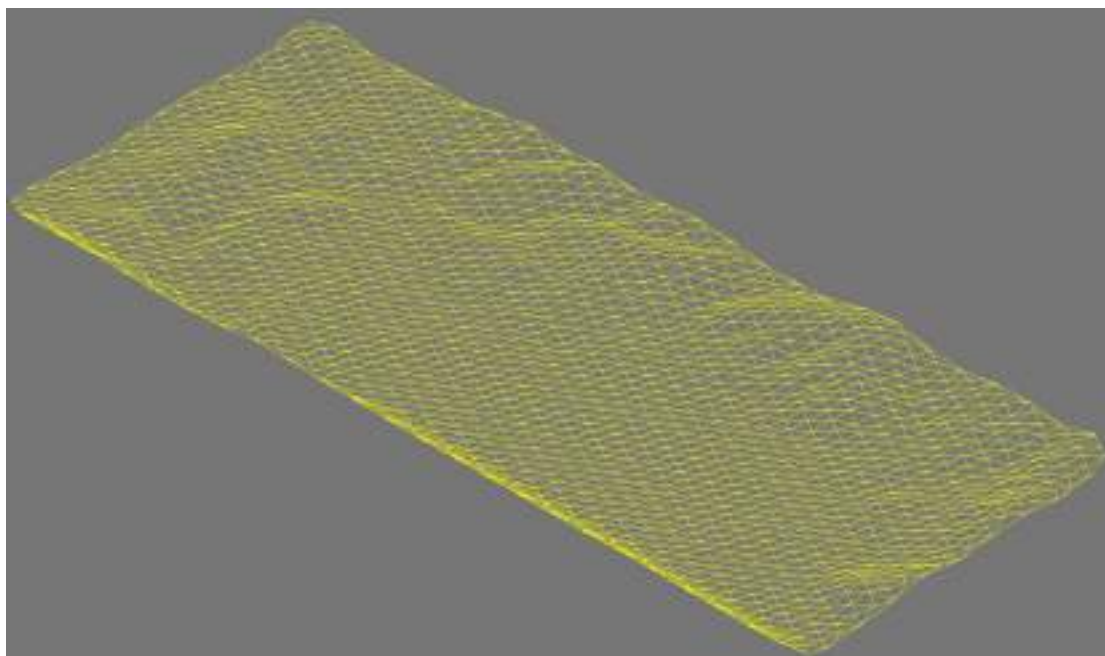


Εικόνα 76 Το Παράθυρο Αλληλεπίδρασης της Εντολής QSELECT. Επιλέγονται Όλα τα Στοιχεία Κειμένου (Αριστερά) και Όλοι οι Κύκλοι (Δεξιά)

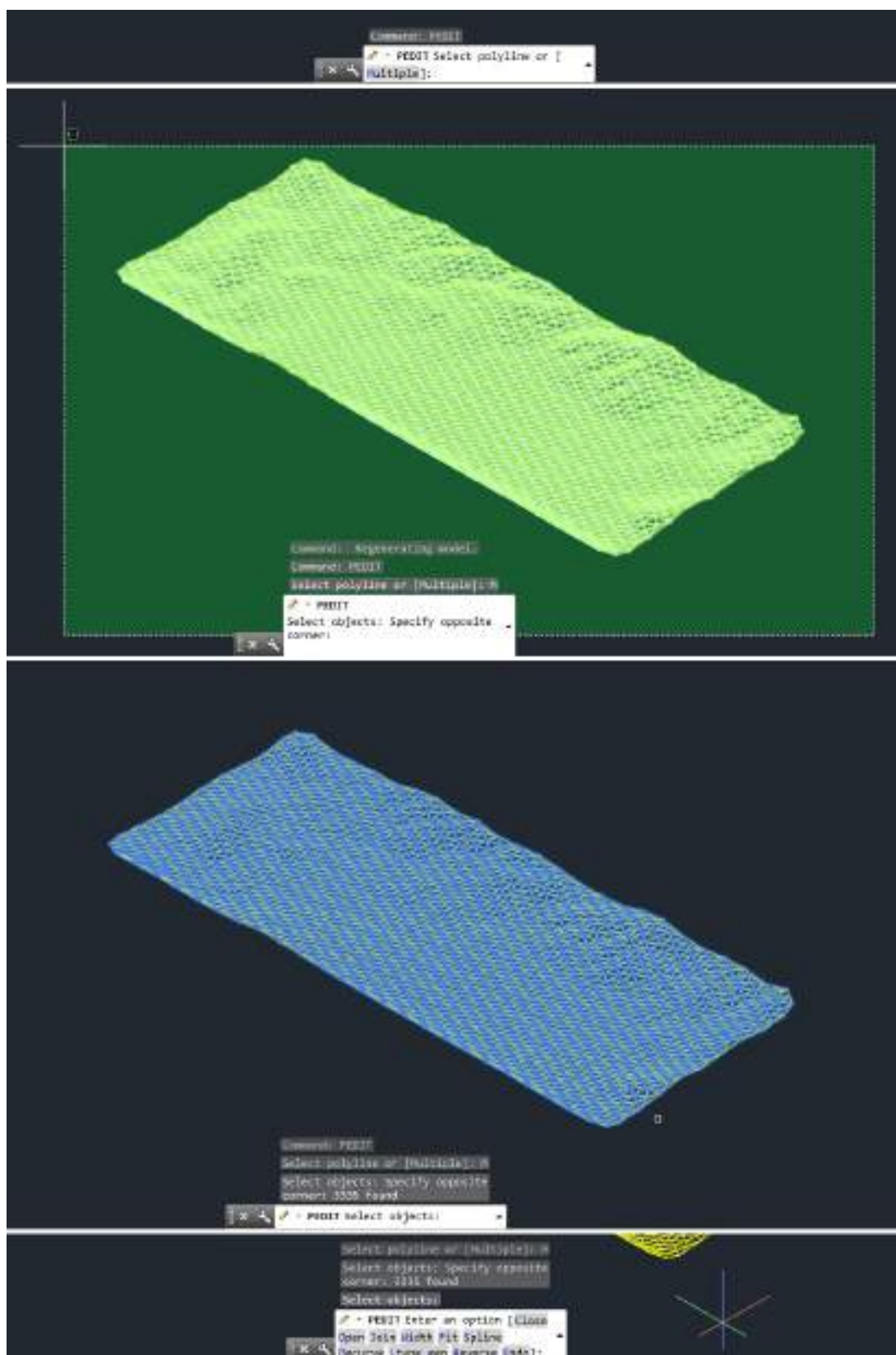


Εικόνα 77 Το Σχέδιο του Τρισδιάστατου Πλέγματος Μετά την Απλοποίησή Του

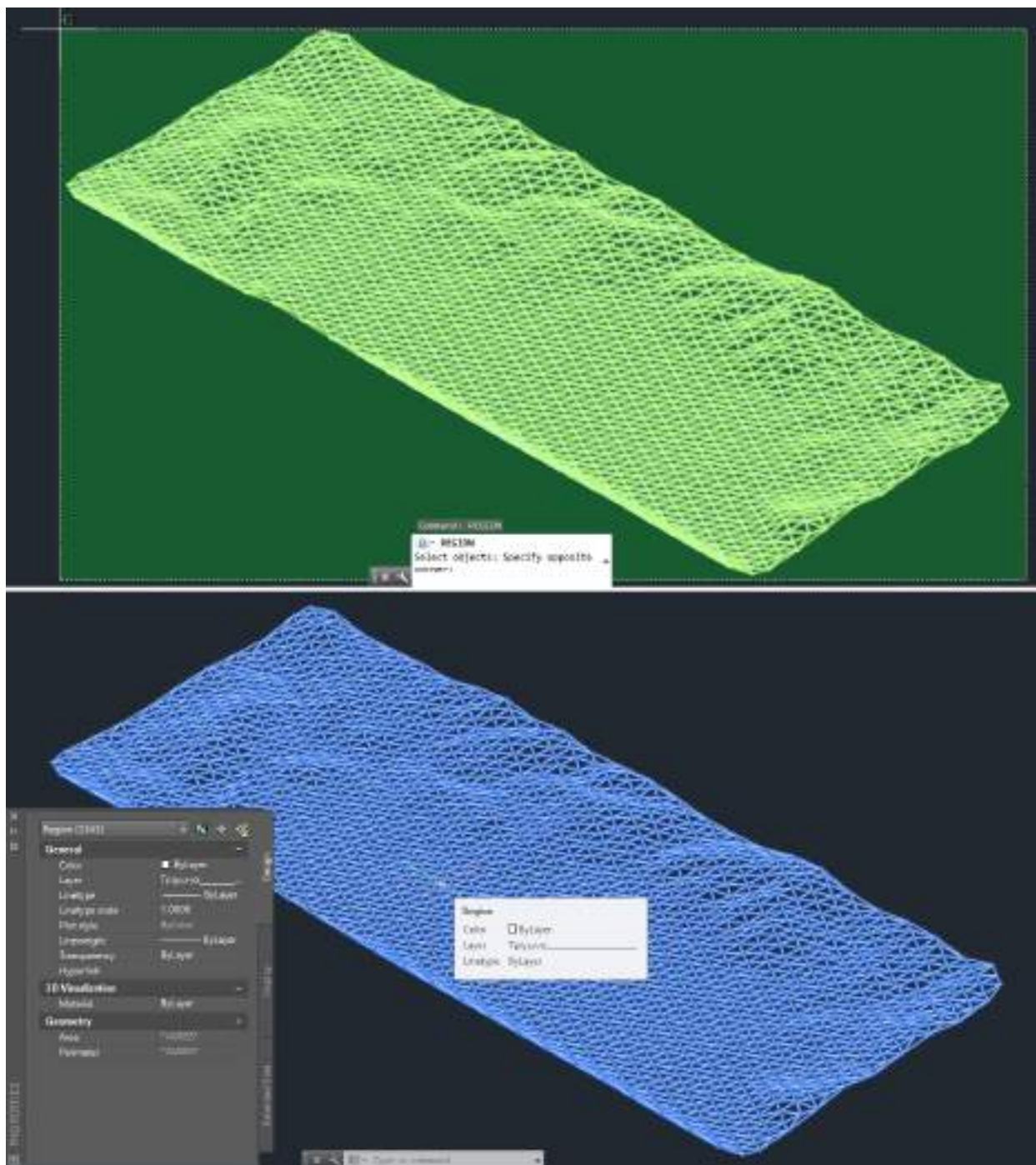
Για να δημιουργηθεί η **επιφάνεια του μοντέλου εδάφους** θα χρησιμοποιηθεί το απλοποιημένο σχέδιο του μοντέλου εδάφους mdl.dwg . Τα εναπομείναντα τρίγωνα αποτελούνται από 3d Polyline οι οποίες πρέπει να μετατραπούν σε μια ενιαία επιφάνεια. Αυτό μπορεί να συμβεί με μια αλληλουχία τεσσάρων εντολών. Αρχικά με την εντολή PEDIT (Polyline Edit – Επεξεργασία Polyline) διαλέγουμε την επιλογή Multiple (πολλαπλές), επιλέγουμε όλα τα τρίγωνα του σχεδίου, πατάμε Enter και στη συνέχεια επιλέγουμε την εντολή close. Με αυτό τον τρόπο βεβαιωνόμαστε ότι δεν υπάρχουν ανοιχτές Polyline ώστε να μπορέσουν να μετατραπούν σε περιοχές. Έπειτα, με χρήση της εντολής REGION (περιοχή) επιλέγουμε όλες τις Polyline και τις μετατρέπουμε σε Regions, όπως φαίνεται στην εικόνα 80 παρακάτω. Το τρίτο βήμα είναι η επιλογή όλων των regions και η μετατροπή τους σε surface (επιφάνεια) μέσω της εντολής CONVTOSURFACE (Convert to surface – μετατροπή σε επιφάνεια). Σε αυτό το σημείο η επιφάνεια του μοντέλου εδάφους είναι έτοιμη, για λόγους ευχρηστίας όμως είναι πιο αποτελεσματική η ενοποίηση όλων των surfaces σε μια με την εντολή UNION (ένωση).



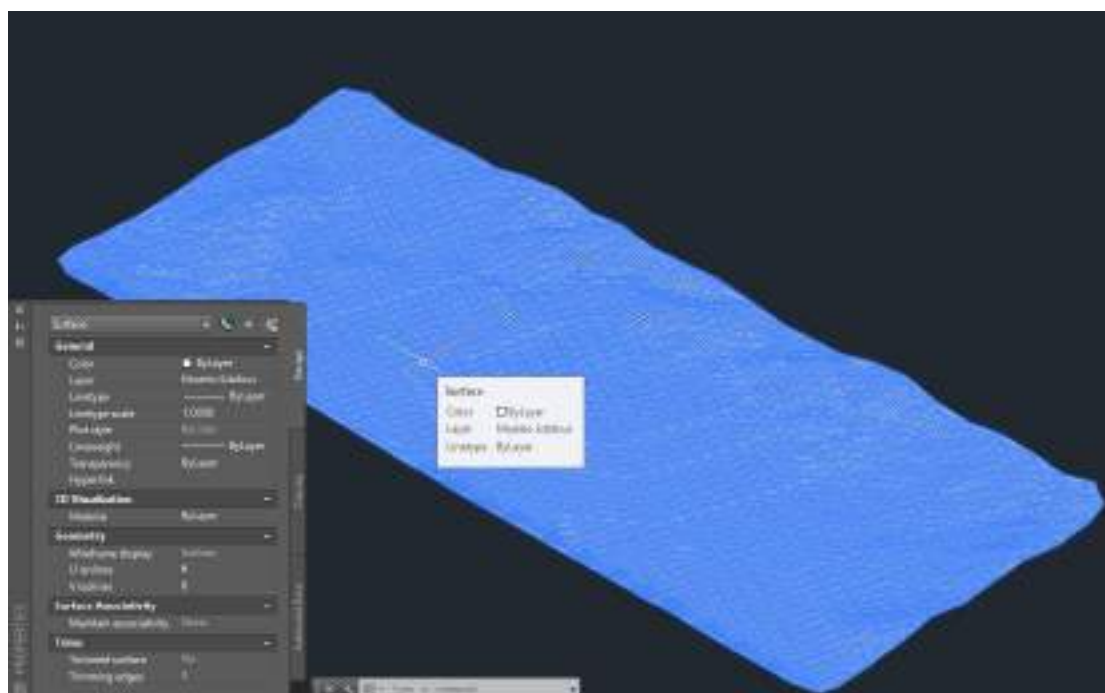
Εικόνα 78 Τα Τρίγωνα Του Μοντέλου Εδάφους Προτού Υποστούν Επεξεργασία



Εικόνα 79 Κλείσιμο Όλων των Polyline του Σχεδίου

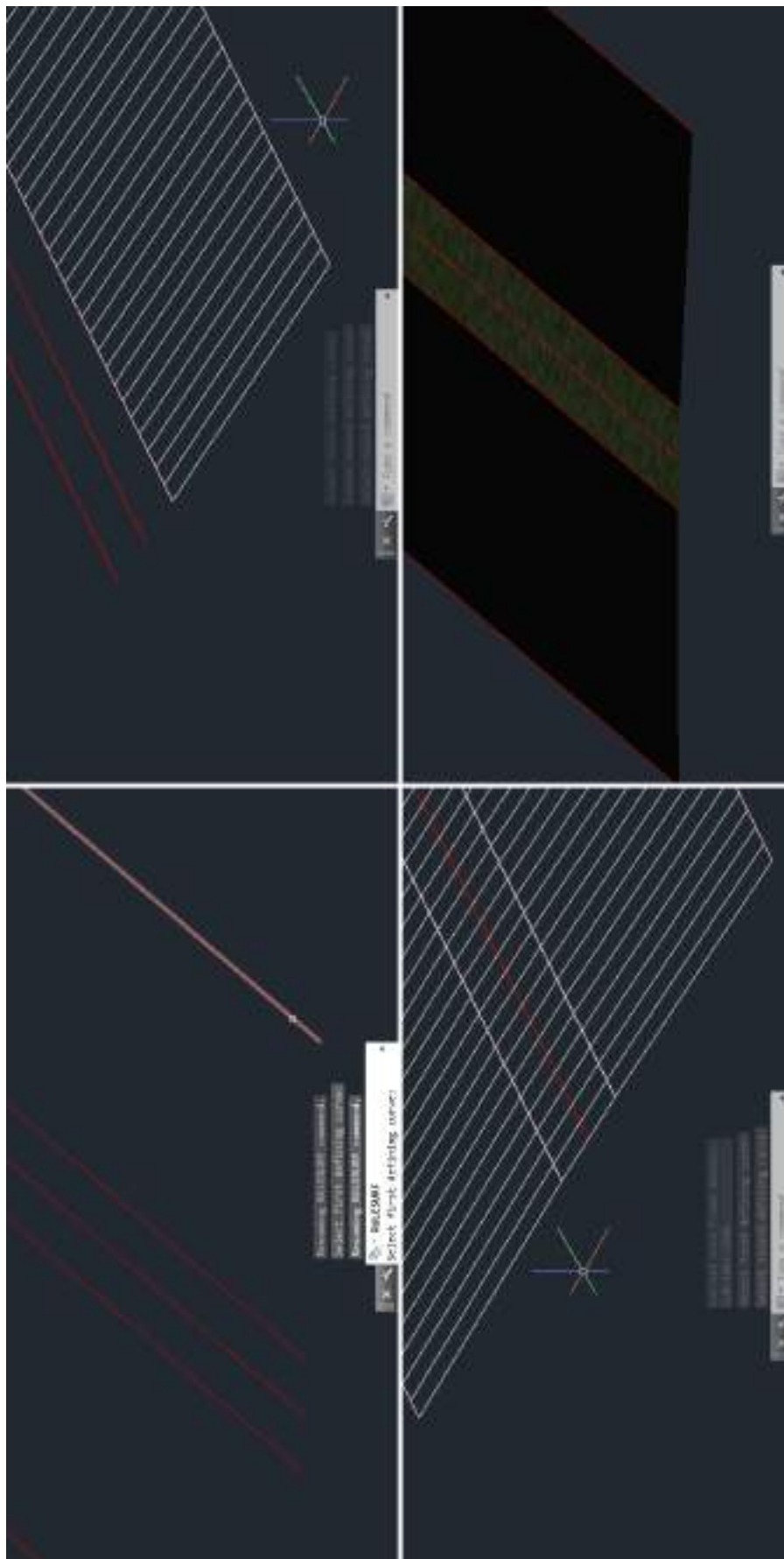


Εικόνα 80 Μετατροπή των Κλειστών Polylines σε Regions



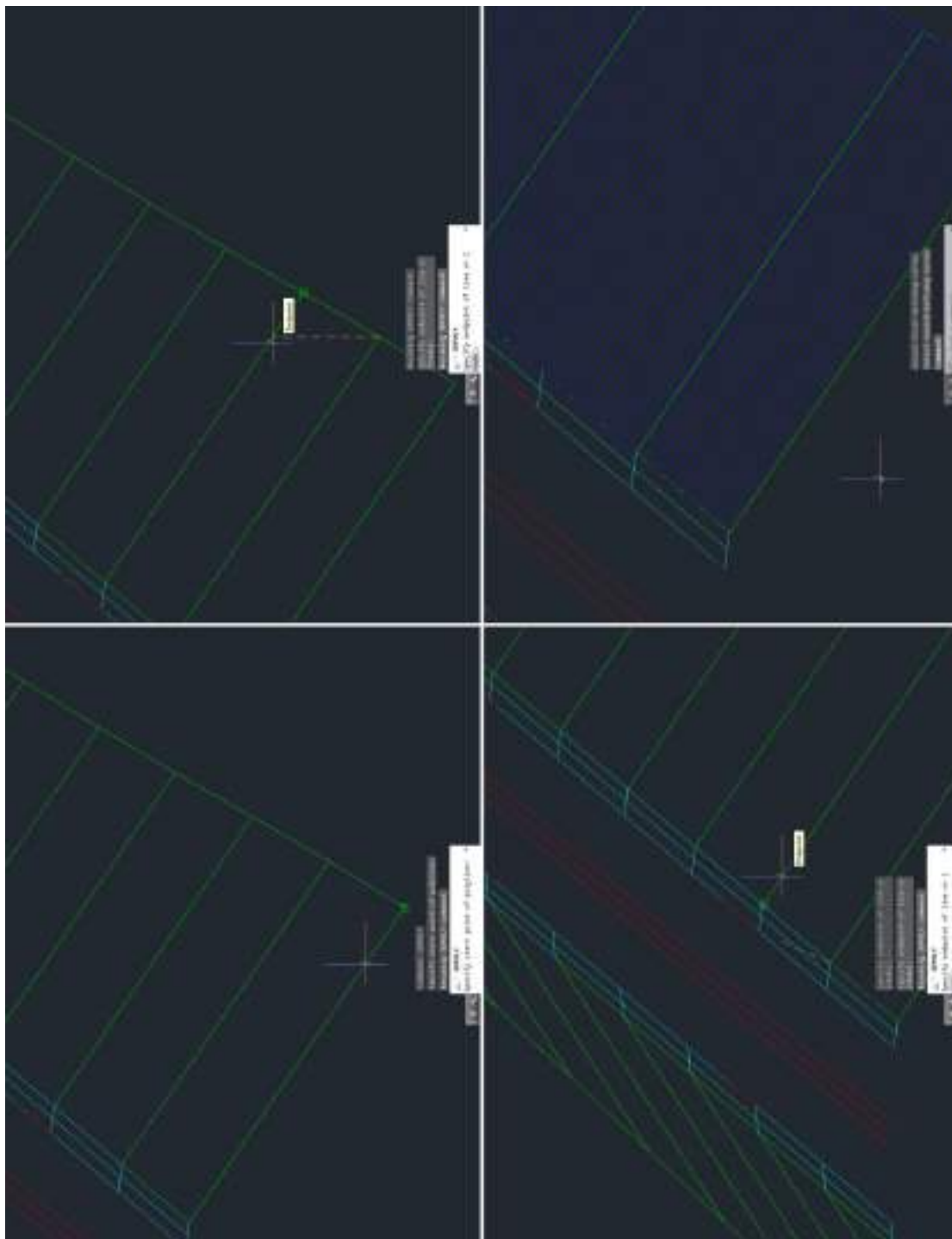
Εικόνα 81 Η επιφάνεια του Μοντέλου Εδάφους Ως Μία Ενοποιημένη Επιφάνεια (Surface)

Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του μοντέλου θα προκύψουν από την επεξεργασία του αρχείου τρισδιάστατου πλέγματος (tds.dwg) . Για τη **δημιουργία του καταστρώματος της οδού** θα χρησιμοποιηθεί η εντολή RULESURF (ruled surface – επιφάνεια μεταξύ κανόνων) η οποία δημιουργεί μία επιφάνεια μεταξύ δύο γραμμών στο χώρο. Αρχικά μέσω της εντολής SURFTAB1 ορίζουμε τα κομμάτια στα οποία θα χωριστεί η παραγόμενη επιφάνεια. Όσο περισσότερα κομμάτια χρησιμοποιηθούν, τόσο ακριβέστερη θα είναι η γεωμετρία της τελικής επιφάνειας. Χονδρικά ένας αριθμός τμημάτων διπλάσιος από το μήκος της οδού σε μέτρα παρέχει μία ικανοποιητική ακρίβεια. Στη συνέχεια πληκτρολογείται η εντολή RULESURF και επιλέγονται οι δύο ακραίες οδογραμμές του κάθε καταστρώματος της οδού για να δημιουργηθεί η μεταξύ τους επιφάνεια. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο δημιουργείται και η επιφάνεια της νησίδας μεταξύ των δύο καταστρωμάτων της οδού.



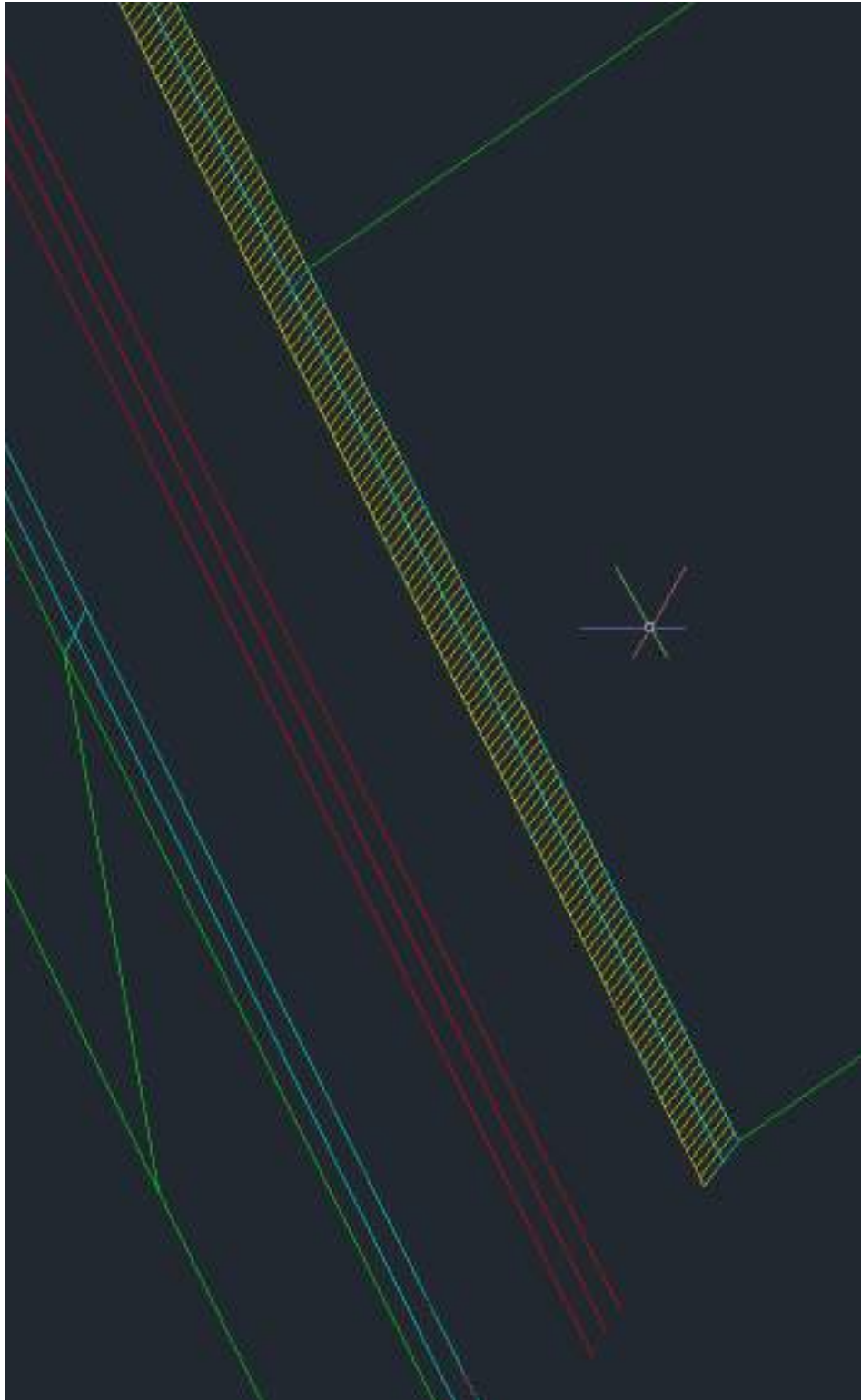
Εικόνα 82 Τα Τέσσερα Στάδια Δημιουργίας του Καταστρώματος της Οδού και της Νησίδας

Για τη δημιουργία των **επιφανειών των χωματισμών** θα γίνει και πάλι χρήση της εντολής RULESURF. Αρχικά θα σχεδιαστούν δύο 3d Polylines σε κάθε πλευρά της οδού, η μια θα περιγράφει την εξωτερική πλευρά των χωματισμών και η άλλη την εξωτερική πλευρά των ερεισμάτων της οδού. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί η εντολή RULESURF μεταξύ των polylines οι οποίες μόλις σχεδιάστηκαν για να δημιουργηθούν οι επιφάνειες των χωματισμών.



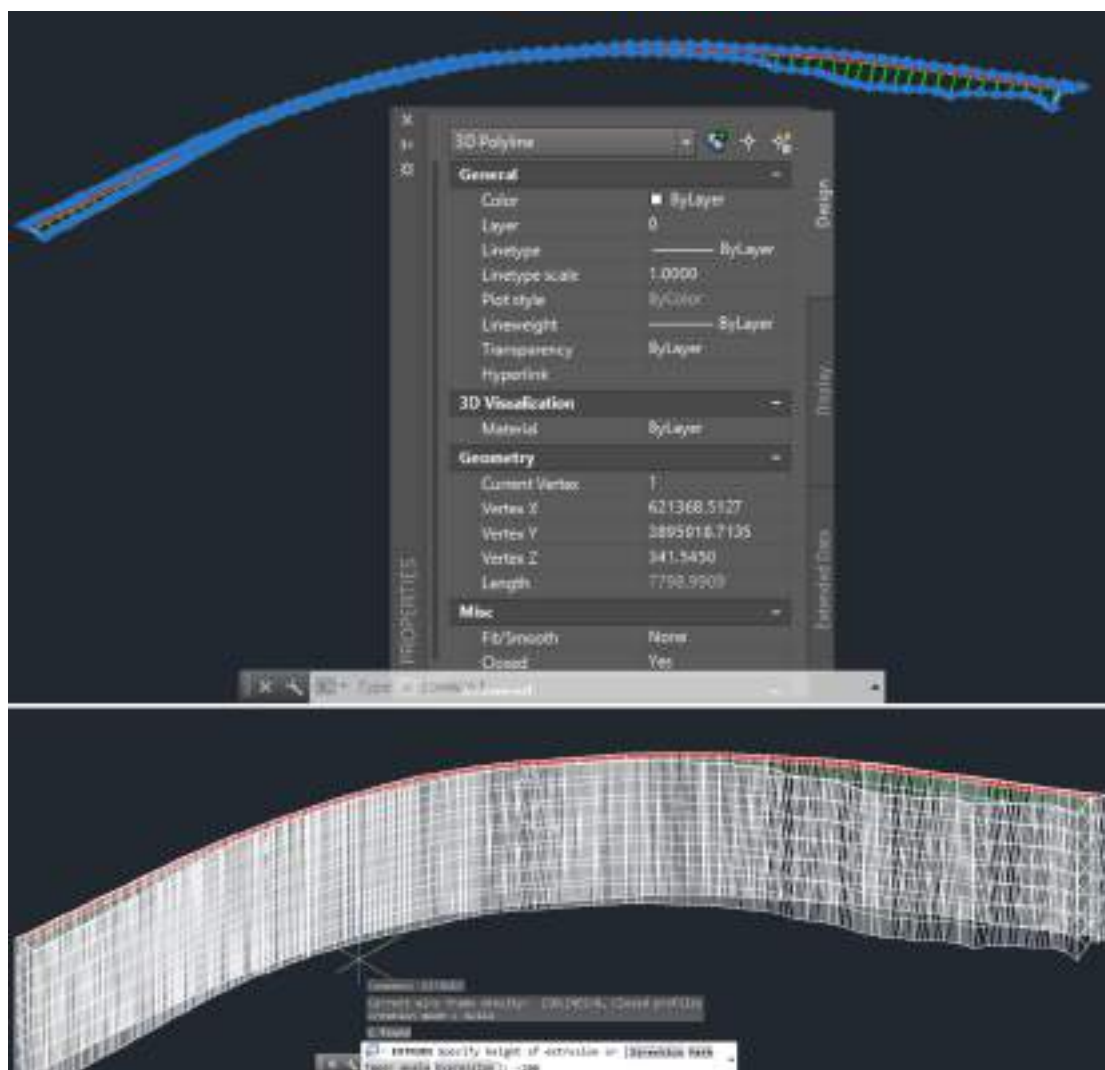
Εικόνα 83 Δημιουργία των Επιφανειών των Χωματισμών

Η δημιουργία των **επιφανειών των ερεισμάτων** ακολουθεί ακριβώς την ίδια μέθοδο. Για ακόμη μια φορά σχεδιάζονται 3d polylines οι οποίες περιγράφουν τις πλευρές των ερεισμάτων και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή RULESURF μεταξύ των polylines οι οποίες μόλις σχεδιάστηκαν.



Εικόνα 84 Δημιουργία Επιφάνειας Ερεισμάτων

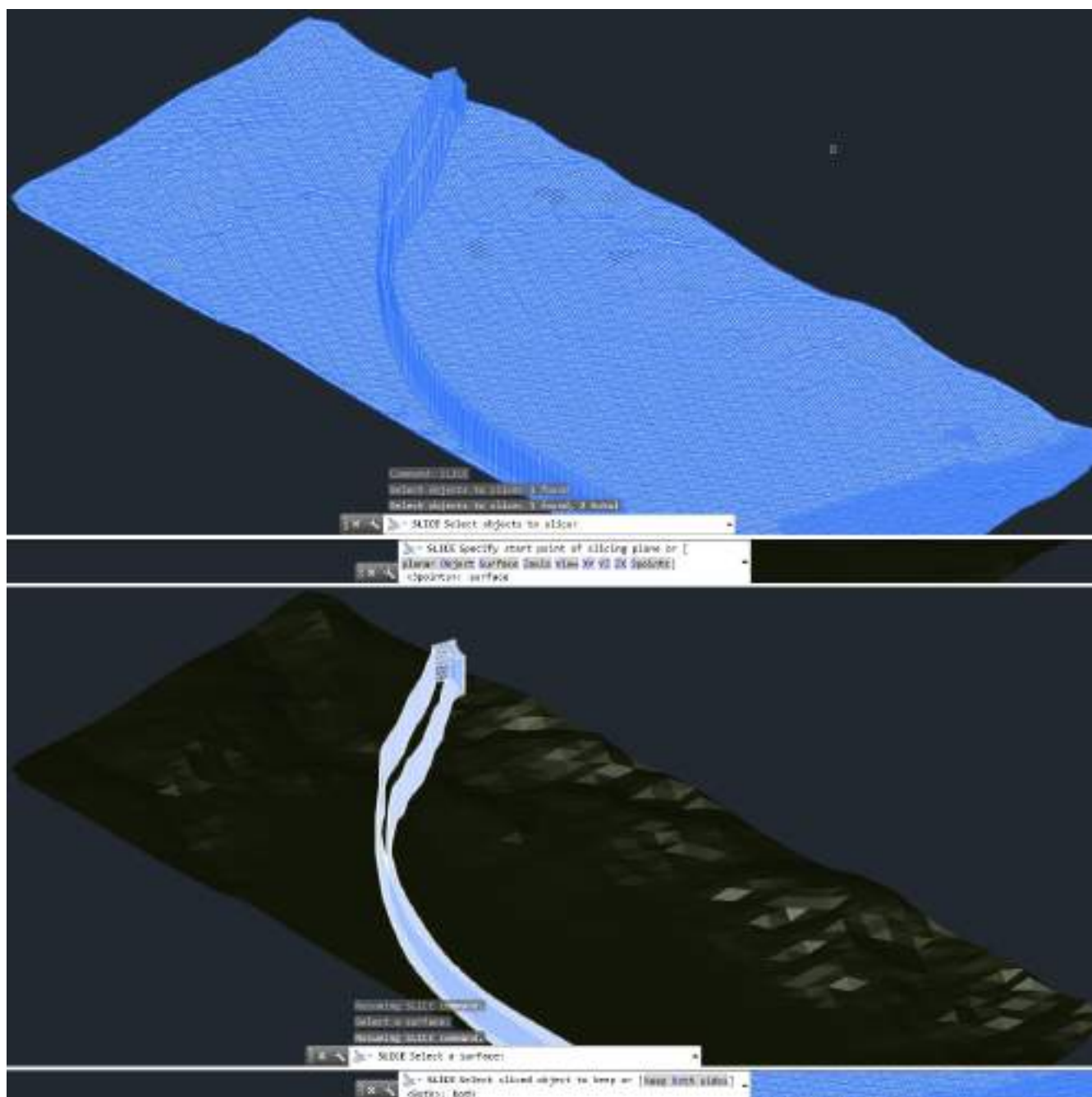
Προτού γίνει ο **τελικός συνδυασμός των τρισδιάστατων επιφανειών** για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μία οπή στην επιφάνεια του μοντέλου εδάφους στην περιοχή που θα καταληφθεί από τις υπόλοιπες επιφάνειες. Για το σκοπό αυτό θα δημιουργηθεί το περίγραμμα του σχεδίου του τρισδιάστατου πλέγματος της οδού (tds.dwg) με μία 3d polyline. Έπειτα χρησιμοποιώντας την εντολή EXTRUDE (εξώθηση) σε αυτή την polyline για ύψος -200μ. θα δημιουργηθεί μία επιφάνεια η οποία περικλείει την περιοχή που καταλαμβάνουν οι επιφάνειες των χωματισμών, των ερεισμάτων, της οδού και της νησίδας. Η νέα επιφάνεια πρέπει να αντιγραφεί μέσω της εντολής COPYBASE (αντιγραφή με σημείο αναφοράς) στο αρχείο που περιέχει την επιφάνεια του μοντέλου εδάφους και να μετακινηθεί προς τα πάνω (θετικά του άξονα z) κατά 100μ. Στη συνέχεια δημιουργείται η οπή κόβοντας την επιφάνεια του μοντέλου εδάφους βάσει της επιφάνειας του περιγράμματος χρησιμοποιώντας την εντολή SLICE (τεμαχισμός) όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 85 Δημιουργία του Περιγράμματος με 3d Polyline και Χρήση της Εντολής Extrude για τη Δημιουργία της Επιφάνειας



Εικόνα 86 Συνδυασμός Μοντέλου Εδάφους και Επιφάνειας Περιγράμματος



Εικόνα 87 Χρήση της Εντολής Slice Για τη Δημιουργία Οπής Στο Μοντέλο Εδάφους

Σε αυτό το σημείο μπορούν να συνδυαστούν οι διάφορες επιφάνειες που δημιουργήθηκαν και να κατασκευαστεί ένα μοντέλο που επαρκεί για τις περισσότερες ανάγκες του μελετητή. Αν ωστόσο επιθυμείται υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης ποικίλων **λεπτομερειών που προσθέτουν στο ρεαλισμό** της τελικής απεικόνισης. Παραδείγματος χάριν, μπορούν με τη χρήση των οδογραμμών που παράγονται από το πρόγραμμα FM17 και της εντολής RULESURF του AutoCAD να δημιουργηθούν οι οδογραμμές πάνω στο κατάστρωμα της οδού, ή να σχεδιαστούν φωτιστικά σώματα τα οποία μέσω της εντολής ARRAYPATH (Παράταξη σε Μονοπάτι) μπορούν να κατανεμηθούν σε όλο το μήκος του δρόμου. Μία ακόμα

επιλογή αποτελεί η σχεδίαση του στηθαίου ασφαλείας σχεδιάζοντας μία διατομή του στην αρχή της οδού και κάνοντας EXTRUDE την διατομή αυτή κατά μήκος (path) του άξονα της οδού. Από τα κολονάκια του στηθαίου αρκεί να σχεδιαστούν τα πρώτα από κάθε πλευρά του δρόμου και τα υπόλοιπα θα δημιουργηθούν μέσω της εντολής ARRAYPATH.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε έχει πολλές δυνατότητες βελτίωσης και μπορεί να αναβαθμιστεί όσο το επιθυμεί ο μελετητής μηχανικός. Είναι αξιοσημείωτο όμως ότι μέσω της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο παρών υποκεφάλαιο κατασκευάστηκε ένα ικανοποιητικό τρισδιάστατο μοντέλο από τα σχέδια που εξάγονται από το πρόγραμμα οδοποιίας FM17 με τη **χρήση μόνο δέκα εντολών** του AutoCAD. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει για ακόμη μια φορά την προσιτότητα των μεθόδων τρισδιάστατης μοντελοποίησης και απόδοσης για τον μέσο μηχανικό καθώς χρησιμοποιήθηκαν στην πλειοψηφία τους ήδη γνωστές εντολές και κανένα εξειδικευμένο ή δύσχρηστο λογισμικό.

4.3 Σύνοψη Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο επιχειρήθηκε να περιγραφεί η μεθοδολογία δημιουργίας των τρισδιάστατων μοντέλων των τεσσάρων προβληματικότερων συνδυασμών οριζοντιογραφίας – μηκοτομής που προσδιορίστηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Κατά τη διαδικασία κατασκευής των πειραματικών χαράξεων παρατηρήθηκε ότι η εναρμόνιση με τις επιταγές των κανονισμών περιορίζει σημαντικά τις πιθανότητες εμφάνισης προβλημάτων, χωρίς όμως να τα αποκλείει, γεγονός που τονίζει την αναγκαιότητα της προσεχτικής διερεύνησης της εκάστοτε χάραξης. Όλες οι χαράξεις που δημιουργήθηκαν εναρμονίζονται με τους κανονισμούς, όμως και πάλι εμφανίζονται τα προβλήματα του άλματος, του βυθίσματος, της τοπικής υπερύψωσης και του κυματισμού.

Στο πρώτο υποκεφάλαιο παρουσιάστηκε το λογισμικό οδοποιίας FM17 και οι κύριες λειτουργίες του, περιεγράφηκε η περιοχή που χρησιμοποιήθηκε για τις χαράξεις και αναπτύχθηκαν τα στοιχεία που τροφοδοτήθηκαν στο πρόγραμμα FM17 για τη δημιουργία των χαράξεων. Για το κάθε ένα από τα προβλήματα που μελετήθηκαν έγινε προσπάθεια για την ταυτοποίηση και αναπαράσταση των κυριότερων χαρακτηριστικών του και την πιστότερη αναπαραγωγή της τυπικής του οριζοντιογραφίας και μηκοτομής.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε και αναλύθηκε η απλούστερη δυνατή μεθοδολογία δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων των χαράξεων μέσω των σχεδίων που παράγονται από το πρόγραμμα FM17. Περιεγράφηκε ο τρόπος προετοιμασίας των αρχείων και η απαλλαγή τους από τις περιττές πληροφορίες κρατώντας μόνο τις απαραίτητες, καθώς και η μέθοδος δημιουργίας των πέντε απαραίτητων επιφανειών, του μοντέλου εδάφους, του οδοστρώματος, της νησίδας, των χωματισμών και των ερεισμάτων. Ακόμη αναπτύχθηκε ο συνδυασμός των δημιουργούμενων επιφανειών μεταξύ τους και η κατασκευή του τελικού μοντέλου. Παρουσιάστηκαν κάποιες δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης του ρεαλισμού και της πιστότητας αναπαράστασης του τρισδιάστατου μοντέλου, είναι όμως αξιοσημείωτο ότι το μοντέλο που παράγεται με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία καλύπτει τις περισσότερες ανάγκες του μελετητή και για την κατασκευή του απαιτούνται μόνο δέκα ήδη γνωστές εντολές του προγράμματος AutoCAD και μερικές ώρες, γεγονός που τονίζει ακόμη περισσότερο την προσιότητα των τρισδιάστατων απεικονίσεων στο σημερινό μηχανικό.

5. Αποτελέσματα Μελέτης

5.1 Αποτυπώσεις Προβληματικών Σημείων

Αποψη του γράφοντος είναι ότι τα προβλήματα στον τρισδιάστατο σχεδιασμό της οδού **δεν μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω μίας μόνο εικόνας** ακόμη και αν αυτή έχει προκύψει μέσω της απόδοσης με υπολογιστή ενός τρισδιάστατου μοντέλου με την πιστότητα του φωτορεαλισμού. Διαμέσου των παραδειγμάτων που θα δοθούν στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα δειχθεί η ανωτερότητα των αποδόσεων με υπολογιστή έναντι πιο παραδοσιακών μεθόδων με στόχο να αποδειχθεί η αναγκαιότητα διερεύνησης της εκάστοτε χάραξης από την οπτική πλευρά του οδηγού μέσω τρισδιάστατων αποδόσεων.

Κατά τη διάρκεια δημιουργίας των πειραματικών χαράξεων και των αποδόσεων της παρούσης εργασίας διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη αναπαράσταση των συγκεκριμένων προβλημάτων γίνεται δυνατή **με τη χρήση βίντεο** τα οποία παρουσιάζουν το οπτικό πεδίο του οδηγού καθώς αυτός κινείται κατά μήκος της οδού με την ταχύτητα μελέτης.

Αυτό συμβαίνει επειδή τα προβλήματα αυτά **ούτε δημιουργούνται ούτε επηρεάζουν ένα μονάχα σημείο** της οδού. Προκαλούνται από λανθασμένες αλληλουχίες στοιχείων της οριζοντιογραφίας ή της μηκοτομής καθώς και από εσφαλμένους συνδυασμούς της οριζοντιογραφίας με την μηκοτομή, είναι δηλαδή αποτέλεσμα του συνολικού σχεδιασμού του οδικού έργου και όχι κάποιου μεμονωμένου λάθους σε ένα μόνο σημείο της χάραξης. Ακόμη δημιουργούν πρόβλημα σε αξιοσημείωτο τμήμα της οδού και η προοπτική εικόνα του προβλήματος αλλάζει από σημείο σε σημείο. Για παράδειγμα το φαινόμενο του κυματισμού παρατηρείται διαφορετικά αναλόγως αν ο παρατηρητής βρίσκεται σε απόσταση, μέσα στην περιοχή του κυματισμού ή κάπου ενδιάμεσα.

Και στις περιπτώσεις των προβλημάτων του άλματος, του βυθίσματος και της τοπικής υπερύψωσης, στα οποία χάνεται ένα τμήμα του καταστρώματος της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού, είναι επίσης σημαντικό να μελετηθεί η αλλαγή της προοπτικής εικόνας αναλόγως την απόσταση του οχήματος από το σημείο του προβλήματος. Η απόκρυψη τμήματος της οδού από τον οδηγό παρατηρείται συχνά όταν εμφανίζονται κυρτώματα στην μηκοτομή καθώς περιορίζουν σημαντικά το μήκος ορατότητας και δημιουργούν προβλήματα ασφαλείας κυρίως λόγω της μείωσης του οπτικού πεδίου. Η ειδοποιός διαφορά όμως των συγκεκριμένων προβλημάτων που μελετώνται στη συγκεκριμένη εργασία είναι το **μήκος των κρυμμένων τμημάτων και ο χρόνος για τον οποίον παραμένουν κρυφά**, κάτι το οποίο δεν μπορεί να δειχθεί εύκολα με τη χρήση μίας μόνο εικόνας ανεξαρτήτως της ποιότητας της αναπαράστασης.

Όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια της εργασίας δημιουργήθηκαν βίντεο που αποτυπώνουν το οπτικό πεδίο του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης στον υπό μελέτη δρόμο. Δεν είναι δυνατή όμως η αποτύπωσή τους σε έντυπη μορφή, και

για αυτό τον λόγο στο υποκεφάλαιο αυτό θα επιχειρηθεί να δειχθεί η σταδιακή αλλαγή της προοπτικής εικόνας του οδηγού με τη χρήση **συνεχόμενων φωτογραφιών από διαδοχικές χιλιομετρικές θέσεις**. Το σύνολο των φωτογραφιών που παρήχθησαν καθώς και γενικές απόψεις των τρισδιάστατων μοντέλων παρατίθενται στο δεύτερο παράρτημα της παρούσης εργασίας, και τα βίντεο που παρήχθησαν συμπεριλαμβάνονται με τα ηλεκτρονικά αρχεία της εργασίας. Στο πρώτο παράρτημα της εργασίας περιέχονται αναλυτικά τα σχέδια των τεσσάρων δοκιμαστικών χάραξεων μαζί με μία σύντομη περιγραφή για την κάθε χάραξη.

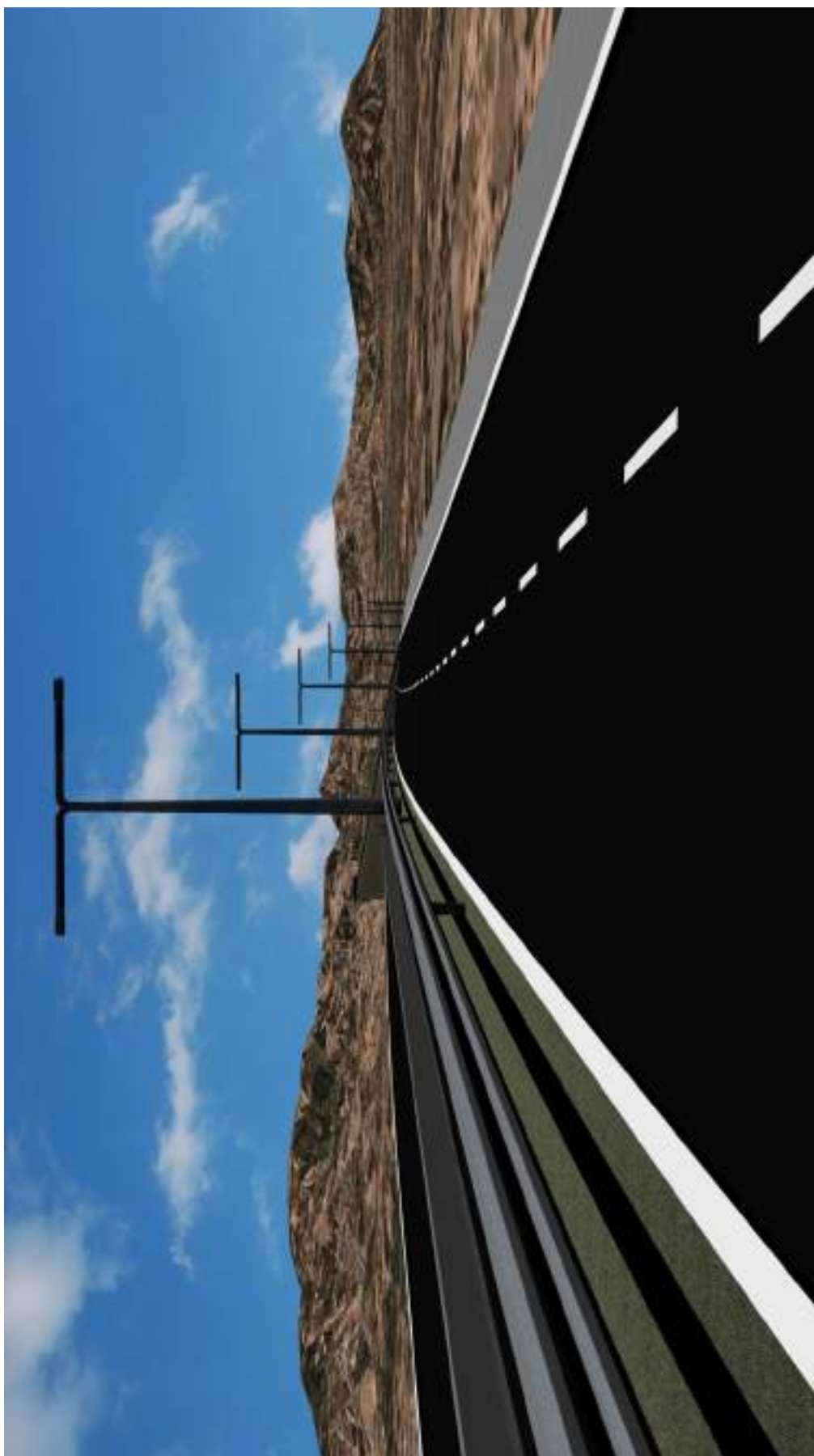
Για την κάθε δοκιμαστική χάραξη της εργασίας επιλέχθηκε να παρουσιαστούν σε αυτό το κεφάλαιο αποδόσεις από τις τέσσερις πιο χαρακτηριστικές χιλιομετρικές θέσεις. **Στην περίπτωση του παραδείγματος του άλματος (ασυνέχειας)** παρατηρείται μία έντονη αλλαγή στην προοπτική εικόνα καθώς ο οδηγός προσεγγίζει το σημείο του άλματος. Από απόσταση (Χ.Θ. 0+000) φαίνεται στο βάθος μία αλλαγή της κατεύθυνσης της οδού προς τα αριστερά μαζί με αλλαγή της κατά μήκος κλίσης σε εντονότερη ανωφέρεια χωρίς κάποιον άλλο ενδιαμέσο ελιγμό οπότε ο οδηγός ετοιμάζεται να αντιμετωπίσει την αλλαγή κατεύθυνσης που αντιλαμβάνεται. Στην δεύτερη και τρίτη εικόνα (Χ.Θ. 0+333 και Χ.Θ. 0+500) ο οδηγός αντιλαμβάνεται ότι πριν την αλλαγή κατεύθυνσης που είχε αντιληφθεί μεσολαβεί μία στροφή προς τα δεξιά με αλλαγή της κατά μήκος κλίσης σε κατωφέρεια. Από την οπτική πλευρά του οδηγού φαίνεται να χάνεται η συνέχεια της οδού. Στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 0+667) ο οδηγός πλέον μπορεί να αντιληφθεί το συνολικό σχήμα της χάραξης της οδού. Το πρόβλημα είναι διπλό επειδή αφενός ο οδηγός κινούνταν επί 667 ή και περισσότερα μέτρα χωρίς να γνωρίζει την αλλαγή κατεύθυνσης που θα κληθεί να αντιμετωπίσει, και αφετέρου όταν πλέον εντοπίσει την αριστερή στροφή του απομένει ελάχιστος χρόνος αντίδρασης. Ο συγκεκριμένος τύπος προβλήματος εξομαλύνεται αποτελεσματικά με τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ακτινών στα τόξα της μηκοτομής ώστε να μειωθεί ο περιορισμός του μήκους ορατότητας λόγω του κυρτώματος όμως για την ουσιαστική αντιμετώπισή του προτείνεται συνολική αλλαγή της χάραξης και η αντικατάσταση των καμπυλών τύπου S με μία ενιαία καμπύλη τόσο στην οριζοντιογραφία όσο και στη μηκοτομή.



Εικόνα 88 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+000



Εικόνα 89 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+333

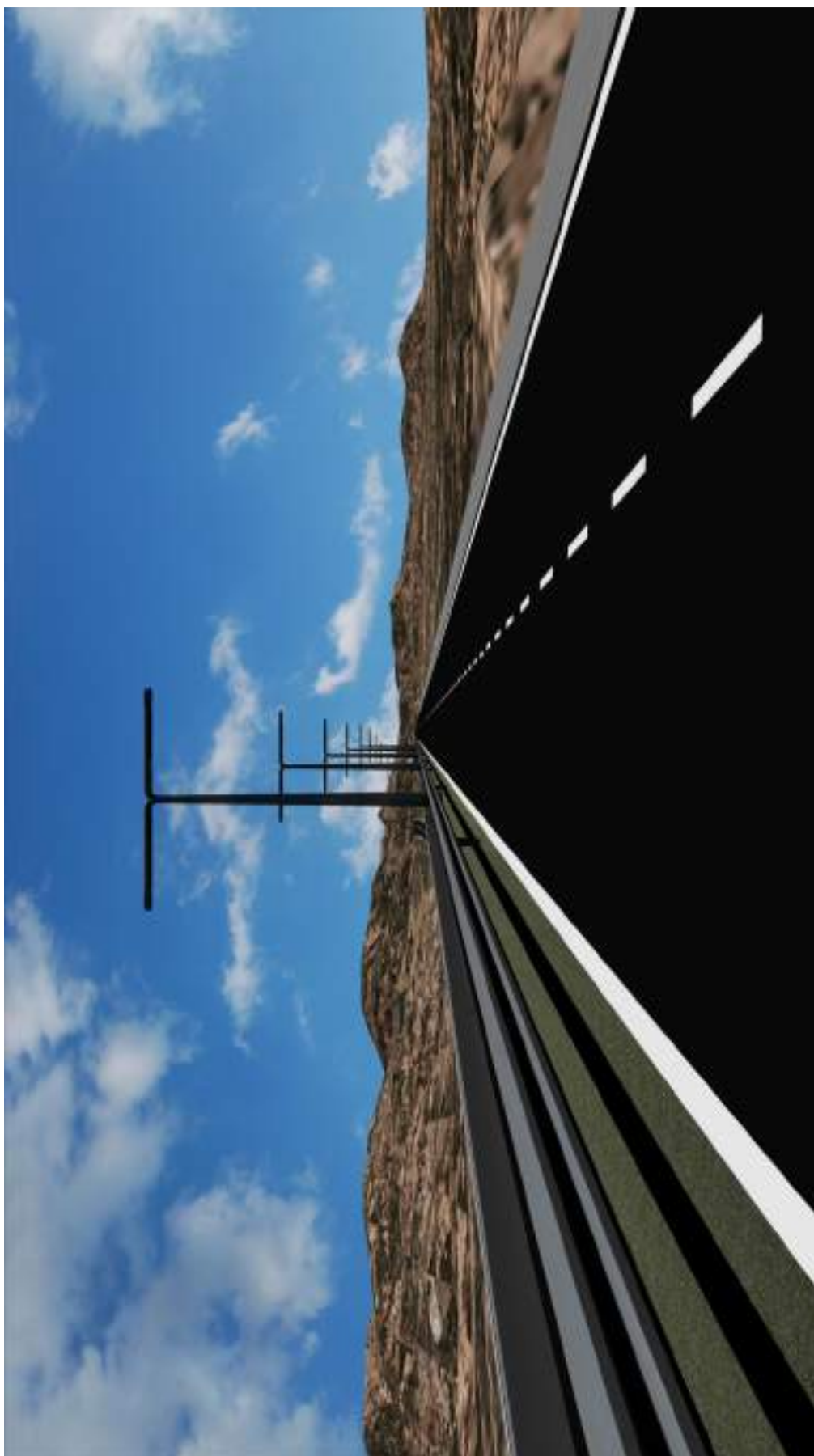


Εικόνα 90 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+500



Εικόνα 91 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+667

Στο φαινόμενο του βυθίσματος η μηκοτομή ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, και υπάρχουν τμήματα της οδού που χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού λόγω της διαμόρφωσης ενός κοιλώματος ανάμεσα σε διαδοχικά κυρτώματα. Στην περίπτωση που το βύθισμα είναι μεγάλο δεν υπάρχει καθόλου ορατότητα σε κάποιο τμήμα της οδού, ενώ στο μικρό βύθισμα ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να προκληθούν ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά φαίνονται έντονα στις παρακάτω **αποδόσεις του παραδείγματος βυθίσματος**. Στην πρώτη εικόνα (Χ.Θ. 0+000) ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί ένα τμήμα του δρόμου στην απέναντι πλευρά του κοιλώματος αλλά η μορφή και η συνέχεια της οδού δεν είναι προφανής. Γίνεται αντιληπτό ότι ένα υπολογίσιμο τμήμα της οδού δεν είναι ορατό. Στις επόμενες δύο εικόνες (Χ.Θ. 0+416 και Χ.Θ. 0+500) στις οποίες ο οδηγός προσεγγίζει την θέση του πρώτου κυρτώματος γίνεται πλέον αισθητό ότι το οδικό τμήμα που φαίνεται στην απέναντι πλευρά του κοιλώματος είναι συνέχεια του συγκεκριμένου δρόμου, και ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί περίπου τη μορφή του δρόμου αλλά γίνεται πλέον ακόμη πιο ορατό το γεγονός ότι το μέγεθος του τμήματος το οποίο δεν είναι ορατό είναι σημαντικό. Στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 0+667) πλέον ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί το συνολικό σχήμα της χάραξης και έχει πλήρη ορατότητα, όμως παρόμοια με την περίπτωση του άλματος έχει πλέον δραστικά μειωμένο χρόνο αντίδρασης και πρέπει να ελιχθεί για να αντιμετωπίσει την στροφή η οποία στην προηγούμενη εικόνα δεν ήταν ορατή.



Εικόνα 92 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+000



Εικόνα 93 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+416

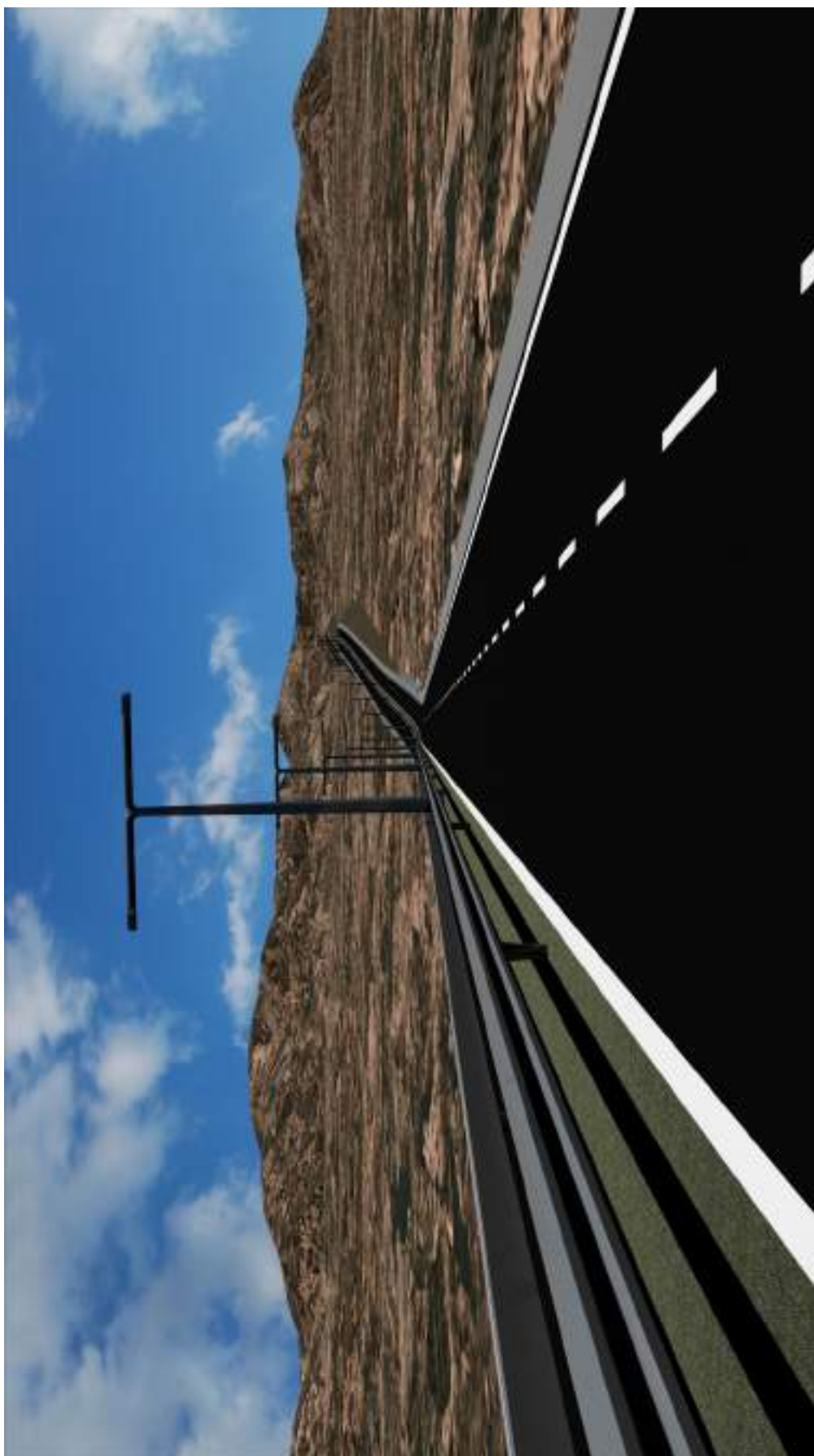


Εικόνα 94 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+500



Εικόνα 95 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+667

Στο παράδειγμα της τοπικής υπερύψωσης η χάραξη επιδιώκει να ακολουθήσει συνεχόμενες βραχείες ανυψώσεις του εδάφους μέσω διαδοχικών κυρτωμάτων και κοιλωμάτων. Η προοπτική εικόνα της χάραξης είναι παρόμοια με αυτήν του βυθίσματος με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε ένα κύρτωμα μεταξύ διαδοχικών κοιλωμάτων και ότι (από τις αρχικές θέσεις τουλάχιστον) κανένα τμήμα της χάραξης δεν χάνεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Στην πρώτη εικόνα (Χ.Θ. 0+167) είναι ορατό το άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα που έχει ως αποτέλεσμα μία τέτοια χάραξη. Είναι επίσης αντιληπτές οι οπτικές παραμορφώσεις που προκαλούνται από την επαλληλία οριζοντιογραφικών καμπυλών με τόξα μηκοτομής (κεφ. 2) καθώς και το γεγονός ότι από αυτή την θέση ο οδηγός έχει πλήρη επίβλεψη του καταστρώματος της οδού. Στις επόμενες δύο εικόνες (Χ.Θ. 0+417 και Χ.Θ. 0+667) βλέπουμε την σταδιακή αλλαγή της προοπτικής εικόνας της χάραξης καθώς κατά την κίνηση του οχήματος κατά μήκος της οδού το πρώτο κύρτωμα αποκρύπτει αρχικά ένα τμήμα της οδού και κατόπιν, όταν το όχημα εισέρχεται στην ανωφέρεια, περιορίζοντας έντονα το μήκος ορατότητας. Κατά τη διάρκεια της κίνησης σε αυτό το τμήμα της οδού, παρόλο που ο οδηγός γνωρίζει το σχήμα της οδού σε μεγάλη απόσταση από τη θέση του επειδή είχε την ευκαιρία να το δει προηγουμένως, δεν υπάρχει ορατότητα πέραν των λίγων μέτρων μπροστά του οχήματος γεγονός το οποίο αυξάνει κατά πολύ την επικινδυνότητα. Στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 1+167) το όχημα βρίσκεται πλέον στην κορυφή του κυρτώματος και δίνεται εκ νέου η δυνατότητα στον οδηγό να έχει ορατότητα στο τμήμα της οδού που ακολουθεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μήκος κίνησης του οχήματος χωρίς ορατότητα σε αυτή την δοκιμαστική χάραξη είναι περίπου ένα χιλιόμετρο, και σε διαφορετικές περιπτώσεις θα μπορούσε να ήταν αισθητά μεγαλύτερο.



Εικόνα 96 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+167



Εικόνα 97 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+417



Εικόνα 98 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+667



Εικόνα 99 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 1+167

Το **φαινόμενο του κυματισμού** προκαλείται όταν εμφανίζονται συνεχόμενες τοπικές υπερυψώσεις και βυθίσματα στην χάραξη. Γίνεται ιδιαιτέρως αισθητό αλλά και πιο επικίνδυνο όταν η οριζοντιογραφία δεν είναι ευθύγραμμη καθώς αποκαλύπτεται ακόμη και η πιο μικρή υπερύψωση. Στην πρώτη εικόνα (Χ.Θ. 0+167) φαίνεται η παραμορφωμένη εικόνα που δίνει η οδός σε οχήματα που κινούνται πριν τη στροφή. Κοιτώντας από την αρχή του οριζοντιογραφικού τόξου το τέλος του, ο δρόμος δίνει την εντύπωση ότι “κυματίζει”. Επίσης, λόγω των παραμορφώσεων που προκαλεί η επαλληλία στροφής με κύρτωμα ή κοίλωμα, δεν είναι εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι πρόκειται για μία ενιαία στροφή καθώς δίνεται η αίσθηση ότι η καμπυλότητα αλλάζει. Λόγω του γεγονότος ότι ο κυματισμός οφείλεται σε συνεχόμενες τοπικές υπερυψώσεις και βυθίσματα, καθώς το όχημα κινείται δια μέσω της περιοχής του κυματισμού έχει να αντιμετωπίσει όλα τα μειονεκτήματα και των δύο προβλημάτων. Στην δεύτερη και τρίτη εικόνα (Χ.Θ. 1+333 και 1+500) φαίνεται η εμφάνιση ενός βυθίσματος στην περιοχή του κυματισμού και αμέσως μετά στην τέταρτη εικόνα (Χ.Θ. 1+750) η εμφάνιση μίας υπερύψωσης χωρίς στο ενδιάμεσο διάστημα να δοθεί η δυνατότητα στον οδηγό να αντιληφθεί εξ ολοκλήρου τη χάραξη της οδού.



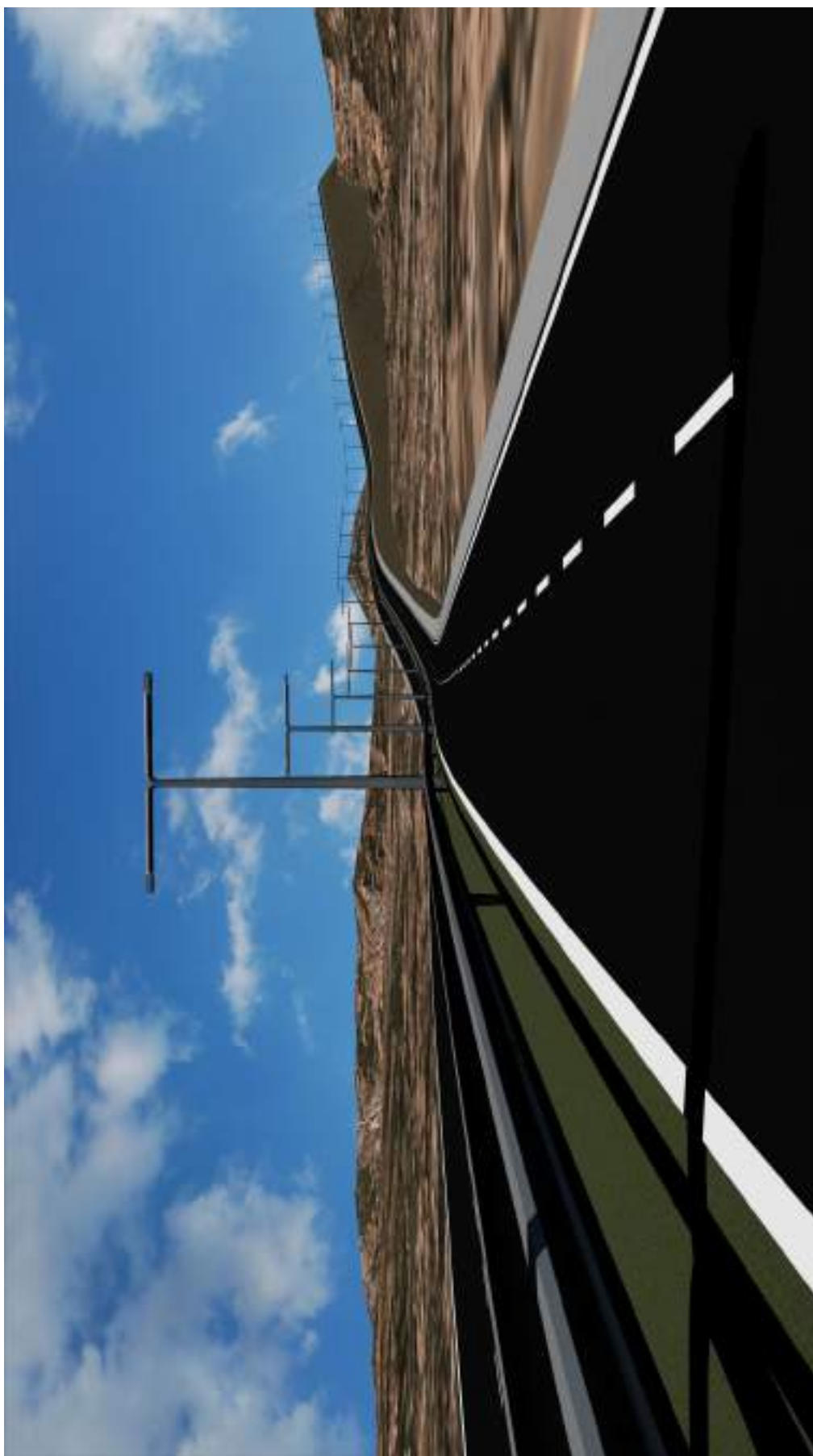
Εικόνα 100 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+166



Εικόνα 101 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+333



Εικόνα 102 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+500

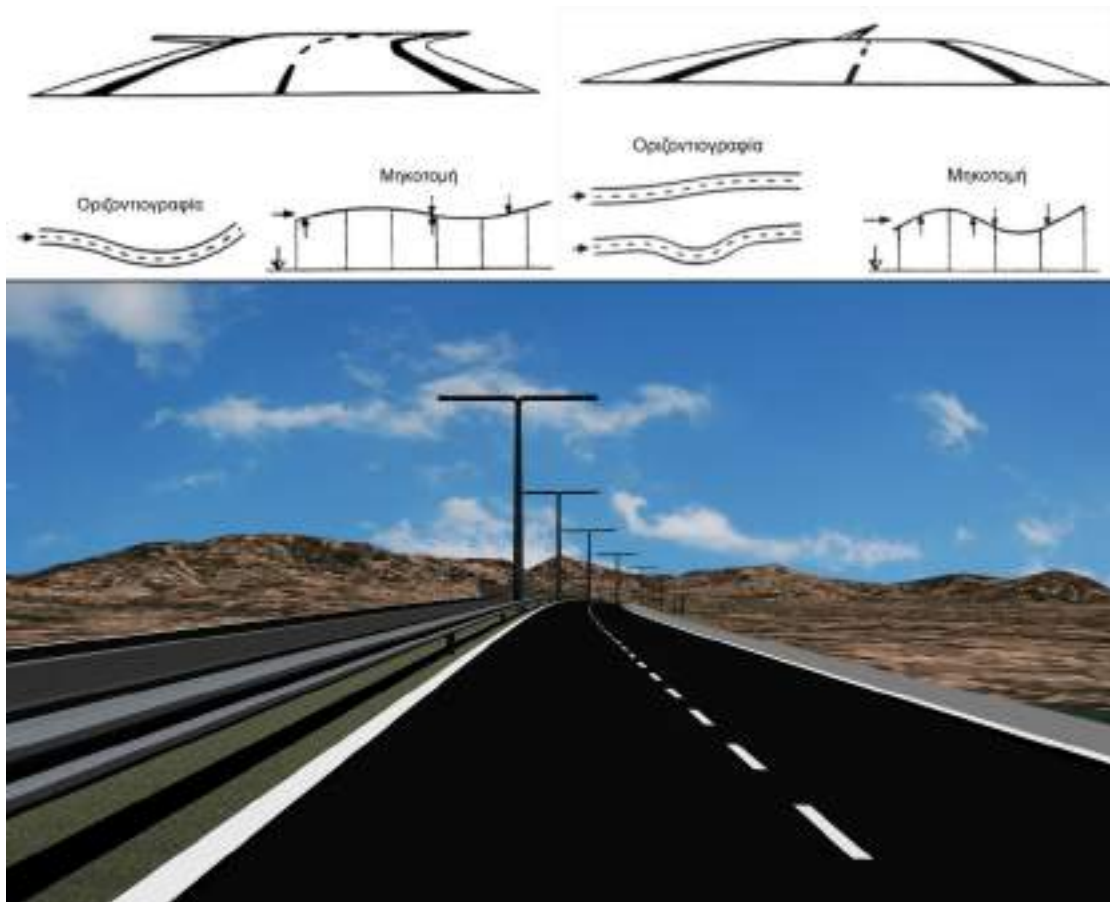


Εικόνα 103 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+750

5.2 Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης

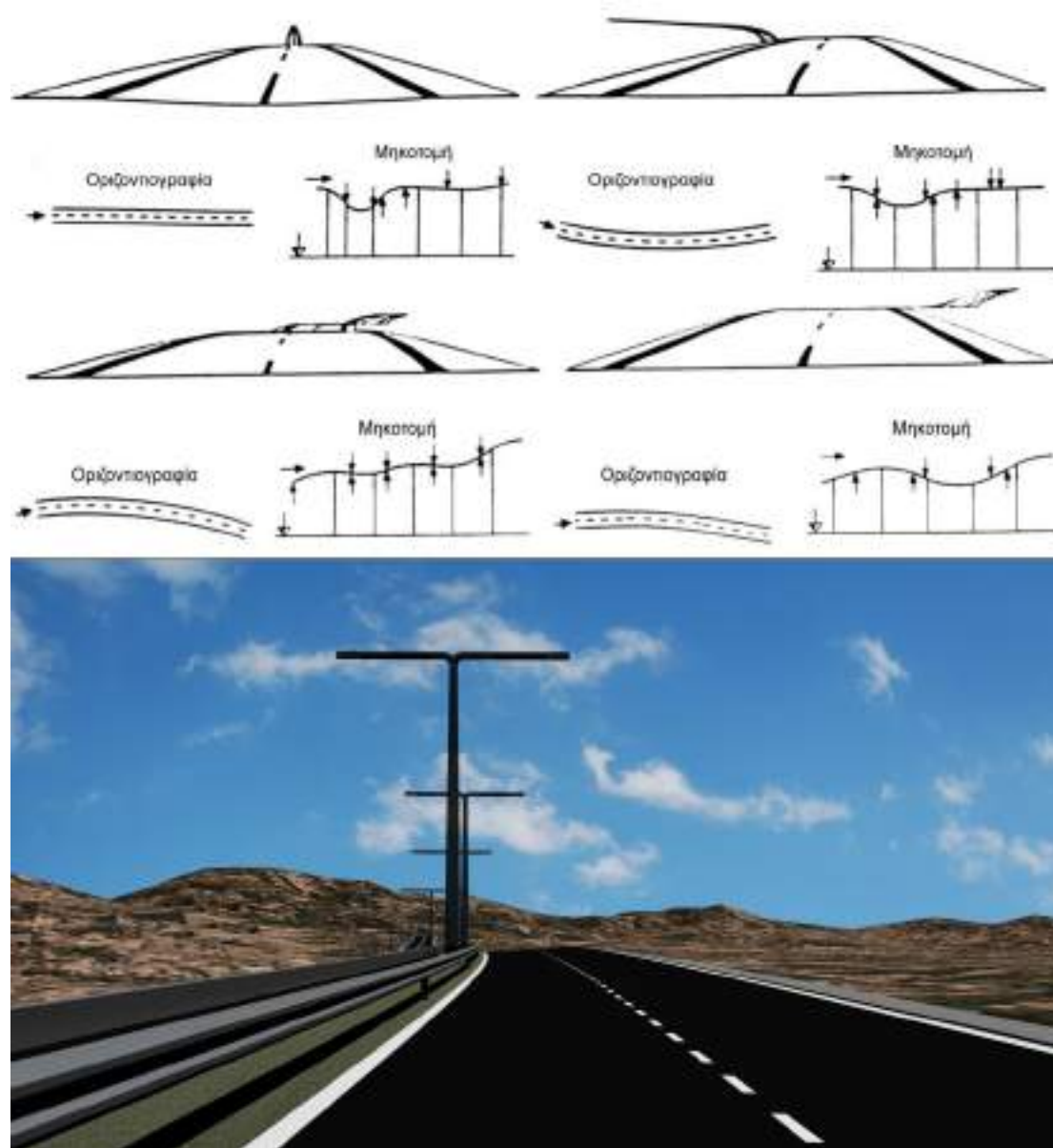
Στο παρόν υποκεφάλαιο θα επιχειρηθεί μία **σύγκριση των μεθόδων απεικόνισης** παραθέτοντας τις προοπτικές εικόνες που δημιουργήθηκαν στην πορεία της εργασίας μαζί με αποτυπώσεις των προβληματικών συνδυασμών μέσω παλαιότερων μεθόδων, όπως για παράδειγμα προοπτικά σχέδια με το χέρι, τη μία δίπλα στην άλλη με παράλληλο σχολιασμό των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου.

Καταρχάς αξίζει να σχολιαστεί το γεγονός ότι **η αποτύπωση των περιπτώσεων που μελετήθηκαν μέσω βίντεο** αποτελεί κατά τη γνώμη του γράφοντος την καλύτερη επιλογή καθώς διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την αντιληπτότητα του εκάστοτε προβλήματος και δίνει μία πολύ καλή αίσθηση της εντύπωσης που θα λάβει ο τελικός χρήστης του οδικού έργου. Ακόμη, η παρουσίαση με βίντεο διευκολύνει το μελετητή να καταλάβει τους λόγους για τους οποίους τα συγκεκριμένα προβλήματα γίνονται επικίνδυνα και καθιστά πιο εύκολη την επεξήγηση και τη μετάδοση των συγκεκριμένων θεμάτων σε νέους μηχανικούς. Ο σπουδαστής μπορεί να δει απευθείας τη διαμόρφωση της οδού και τα προοπτικά προβλήματα τα οποία δημιουργούνται αντί να χρειάζεται να φανταστεί τους τρόπους με τους οποίους οι συνδυασμοί των σχεδίων επηρεάζουν το τελικό έργο το οποίο δεν είναι πάντοτε εύκολο.



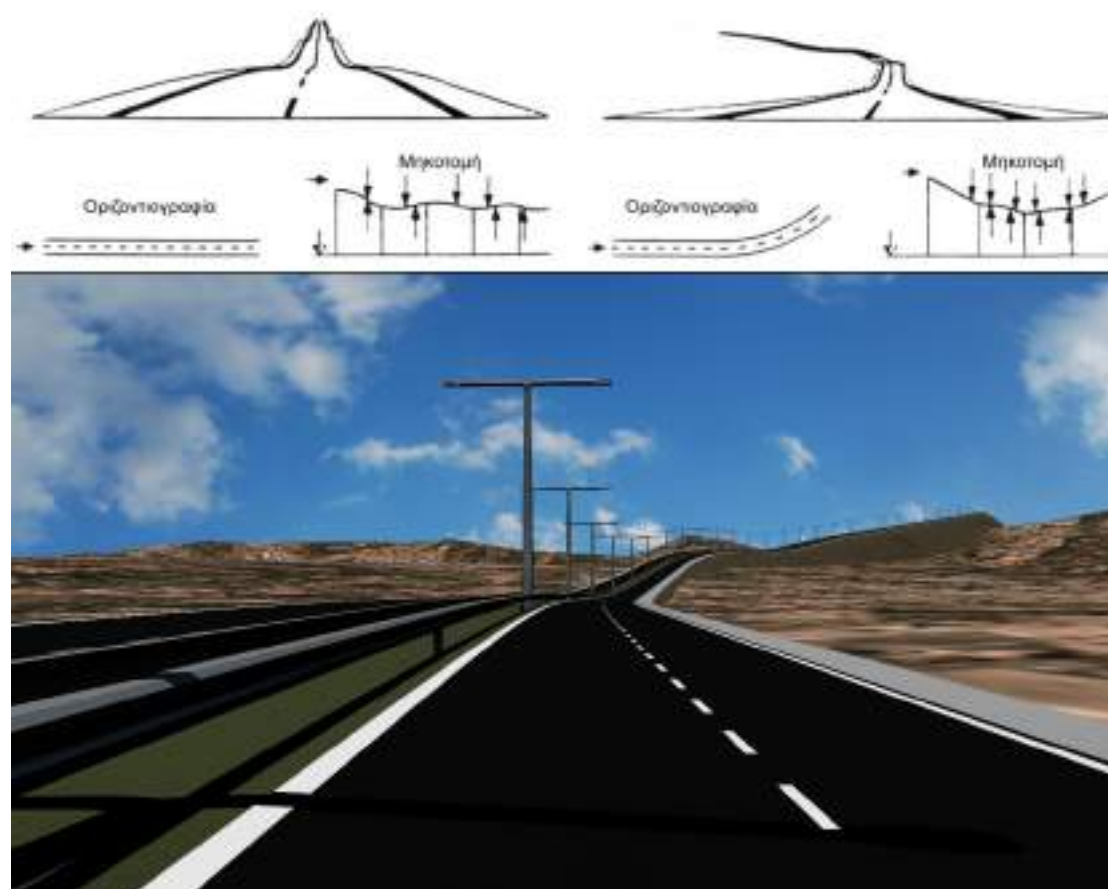
Εικόνα 104 Άλμα - Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης

Στις περιπτώσεις και των τεσσάρων προβλημάτων έγινε προσπάθεια να αναπαρασταθούν όσο το δυνατόν πιστότερα οι αναπαραστάσεις που εντοπίζονται στην βιβλιογραφία. Από τη σύγκριση μεταξύ των εικόνων γίνεται φανερή **η ευκολία εντοπισμού των προβληματικών περιοχών** όταν ο μηχανικός γνωρίζει τι ακριβώς προσπαθεί να εντοπίσει. Οι προοπτικές εικόνες οι οποίες δημιουργήθηκαν αποτελούν σχεδόν αυτούσιες αναπαραγωγές των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας οπότε ακολουθώντας την πορεία του δρόμου ο μελετητής μπορεί πολύ γρήγορα να εντοπίσει τα σημεία στα οποία χρειάζεται να διορθωθεί η χάραξη. Η ταχύτητα και η ευκολία με την οποία μπορούν να δημιουργηθούν τα τρισδιάστατα μοντέλα και οι αποδόσεις τους βάσει της μεθόδου η οποία αναλύθηκε στην παρούσα εργασία συνεισφέρουν προς αυτήν την κατεύθυνση.



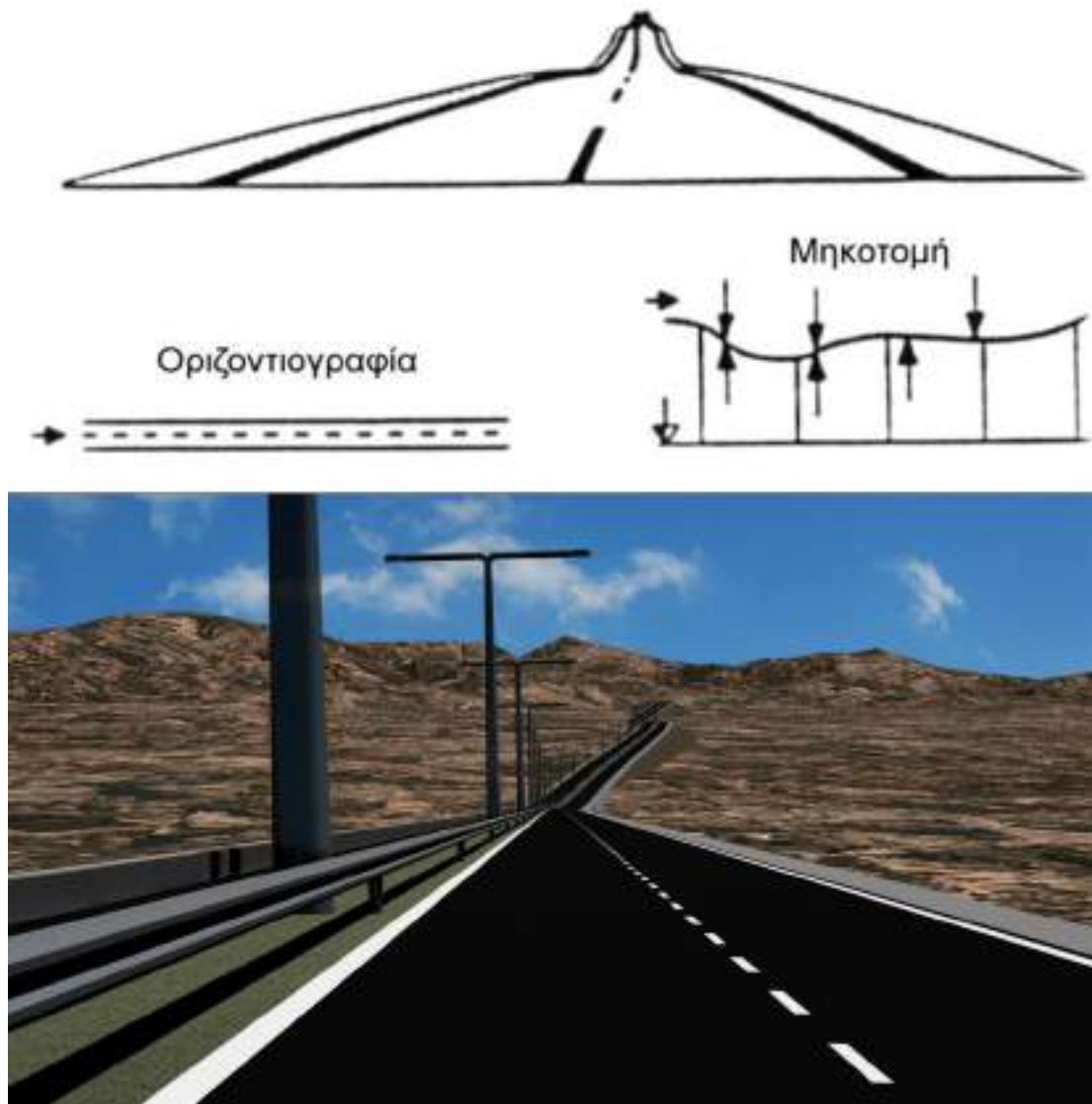
Εικόνα 105 Βύθισμα - Σύγκριση Μεθόδων Απεικόνισης

Γίνεται επίσης αντιληπτό ότι οι συγκεκριμένες περιπτώσεις **δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν μόνο από την μελέτη της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής**. Τα σχέδια των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας παρατίθενται εδώ και τα σχέδια των δοκιμαστικών χαράξεων της παρούσης εργασίας βρίσκονται συγκεντρωμένα στο πρώτο παράρτημα. Από μία σύντομη σύγκριση των χαράξεων των παραδειγμάτων της βιβλιογραφίας και της εργασίας προκύπτει το συμπέρασμα ότι με διαφορετικές οριζοντιογραφικές και υψομετρικές διαμορφώσεις μπορούν να προκύψουν τα ίδια προβλήματα. Η παρουσία ή μη των συγκεκριμένων προβλημάτων δεν εξαρτάται μόνο από την ύπαρξη κυρτωμάτων ή και κοιλωμάτων αλλά κυρίως από το μέγεθος των ακτινών που χρησιμοποιούνται και την αλληλουχία τους. Τα κυρτώματα και τα κοιλώματα εμφανίζονται στην συντριπτική πλειοψηφία των οδικών έργων και είναι γεγονός ότι η ύπαρξη κυρτωμάτων περιορίζει σημαντικά το μήκος ορατότητας, όμως δεν είναι απαραίτητο ότι όποτε εμφανίζεται κοίλωμα μετά από κύρτωμα θα υπάρχει μεγάλου μήκους επικίνδυνο βύθισμα. Το γεγονός αυτό καθιστά απαραίτητη την μελέτη της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά καθώς, τροποποιώντας κατάλληλα τα στοιχεία της χάραξης και με τη χρήση μεγαλύτερων ακτινών από τις ελάχιστες προτεινόμενες, υπάρχει η δυνατότητα σε χαράξεις οι οποίες φαινομενικά θα οδηγούσαν σε κάποιο από τα προβλήματα που αναλύονται στην παρούσα εργασία να εξασφαλίζεται σε όλο το μήκος της ικανοποιητικό μήκος ορατότητας και να αποφεύγονται οι οπτικές παραμορφώσεις.



Εικόνα 106 Κυματισμός - Σύγκριση Μεθόδων απεικόνισης

Ένα ακόμη αξιοσημείωτο στοιχείο της ανάλυσης με τρισδιάστατα μοντέλα προκύπτει από την ευκολία της κατασκευής τους με τα σημερινά προγράμματα λογισμικού. Η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου είναι πλέον τόσο ευχερής ώστε να επιτρέπει η συγκεκριμένη διαδικασία να πραγματοποιείται στη φάση της προμελέτης. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει μία **προκαταρκτική εκτίμηση του μήκους ορατότητας** στα διάφορα σημεία της οδού, η οποία μπορεί να μην έχει την ακρίβεια αποτελεσμάτων που θα είχε μία πλήρης μελέτη, βοηθάει όμως τον μελετητή μηχανικό να εντοπίσει τα σημεία τα οποία θα πρέπει να εξεταστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια στα επόμενα στάδια της μελέτης.



Εικόνα 107 Τοπική Υπερύψωση - Σύγκριση Μεθόδων απεικόνισης

5.3 Συμπεράσματα

Από την παράθεση των προοπτικών απεικονίσεων οι οποίες δημιουργήθηκαν για τους σκοπούς της εργασίας και την σύγκρισή τους με παλαιότερες μεθόδους απεικόνισης στα προηγούμενα δύο υποκεφάλαια προκύπτουν κάποιες **ενδιαφέρουσες χρήσεις της μεθόδου αυτής** για τον μελετητή μηχανικό.

Καταρχάς, το σύντομο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη δημιουργία του μοντέλου της οδού καθιστά δυνατή την επανάληψη της μεθόδου σε διάφορα στάδια της μελέτης. Με αυτό τον τρόπο **διευκολύνεται η πραγματοποίηση δοκιμών με στόχο την επίλυση των οπτικών προβλημάτων**. Καθίσταται εφικτή η χρησιμοποίηση πολλών διαφορετικών συνδυασμών των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής και ο έλεγχος κάθε φορά της πραγματοποιούμενης χάραξης για την ύπαρξη προβλημάτων στην οπτική καθοδήγηση της οδού. Αναλόγως την σοβαρότητα και το βαθμό του προβλήματος σε κάποιες περιπτώσεις είναι δυνατό να χρειαστούν πολυάριθμες δοκιμές με αποτέλεσμα η εξέτασή τους με παλαιότερες μεθόδους (δημιουργία προοπτικών σχεδίων με το χέρι, ανάλυση μήκους ορατότητας, κ.α.) να απαιτεί πολύ χρόνο.

Εκτός από την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούνται οι απαιτούμενες δοκιμές, ακόμη ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου ανάλυσης είναι το γεγονός πως **όλα τα ενδεχόμενα προβλήματα της χάραξης γίνονται πιο ορατά**. Παρόλο που υπάρχουν αναλυτικές μαθηματικές μέθοδοι εντοπισμού προβλημάτων, αυτές απαιτούν χρόνο και είναι πολύπλοκες ενώ με την προοπτική απεικόνιση του οδικού έργου το παραμικρό πρόβλημα στο σχεδιασμό γίνεται ιδιαίτερος αισθητό είτε πρόκειται για δυσαρμονία με τους κανονισμούς, οπτικές παραμορφώσεις ή για εσφαλμένα μηνύματα προς τον οδηγό/προβλήματα στην οπτική καθοδήγηση. Με τον τρόπο αυτόν γίνεται δυνατή η εξαρχής απόρριψη κάποιων εσφαλμένων χαράξεων ώστε να αφιερωθεί χρόνος για περαιτέρω ανάλυση μόνο των σωστότερων συνδυασμών.

Σε παρόμοια κατεύθυνση η ανάλυση με αυτή τη μέθοδο μπορεί να χρησιμεύσει και σε τελικά στάδια της μελέτης προκειμένου να προσδιοριστούν **λεπτομέρειες της τελικής διαμόρφωσης** όπως η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων με την προσομοίωση των συνθηκών φωτισμού ή η διερεύνηση των καταλληλότερων σημείων για την τοποθέτηση κατακόρυφης και οριζόντιας σήμανσης. Με παρόμοιο τρόπο με αυτόν με τον οποίο δημιουργήθηκε το μοντέλο των στοιχείων της οδού μπορεί να διαμορφωθεί και ο περιβάλλον χώρος της ώστε να μελετηθεί η επίδρασή του στη λειτουργία και την ορατότητα της οδού.

Ακόμη η δημιουργία προοπτικών εικόνων και βίντεο με λογισμικό υπολογιστή εμφανίζει **πολλαπλά εκπαιδευτικά και επικοινωνιακά πλεονεκτήματα** καθώς διευκολύνει την ανταλλαγή περισσότερων πληροφοριών σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Καθίσταται ευχερέστερη η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ μηχανικών αλλά και μεταξύ μηχανικού και πελάτη ή κυρίου του έργου ώστε να καταλήξουν γρηγορότερα στο επιθυμητό αποτέλεσμα και να αποφευχθούν οι παρερμηνείες. Ακόμη αποτελεί ευκολότερο τρόπο να εξηγηθούν τα συγκεκριμένα προβλήματα αλλά και όλες οι επιρροές που έχουν τα διάφορα στοιχεία της χάραξης στην τελική εικόνα

της οδού σε νέους σπουδαστές. Τα σχέδια που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα αφενός δεν είναι ιδιαίτερος επεξηγηματικά και αγνοούν την επιρροή του περιβάλλοντος χώρου στην χάραξη, αφετέρου είναι δυσκολότερο να δημιουργηθούν με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένος ο αριθμός τους στην βιβλιογραφία και να ξαναχρησιμοποιούνται τα ίδια σχέδια. Η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή επιτρέπει τη γρήγορη δημιουργία πολλαπλών απεικονίσεων ώστε να υπάρχει ποικιλία αποτυπώσεων, μεγαλύτερη σαφήνεια και να δημιουργηθούν παραδείγματα για όλες τις περιπτώσεις και όχι μόνο για τις σοβαρότερες περιπτώσεις. Επιτρέπει ακόμη την παραστατικότερη ανάλυση των μελετών τις οποίες δημιουργούν οι σπουδαστές στην πορεία των μαθημάτων τους.

Όλα όσα αναλύθηκαν παραπάνω τονίζουν **την αναγκαιότητα χρησιμοποίησης των σύγχρονων τεχνολογιών και δυνατοτήτων οπτικοποίησης των μελετών** όχι μόνο στο στάδιο της προμελέτης και της μελέτης ενός νέου οδικού έργου αλλά και έξω από την μελέτη όπως για παράδειγμα στην επικοινωνία του μηχανικού με τον εκάστοτε πελάτη του ή και στην εκπαίδευση. Οι πολλαπλές χρήσεις της απόδοσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη προσιτότητά του στον μέσο μηχανικό όπως αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο καθιστούν τον φωτορεαλισμό αναπόσπαστο και αναντικατάστατο εργαλείο για τον σημερινό μηχανικό.

5.4 Σύνοψη Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η πρωταρχική παρατήρηση είναι ότι οι προβληματικοί συνδυασμοί οι οποίοι επιλέχθηκαν για να μελετηθούν δεν μπορούν να αναπαρασταθούν αποτελεσματικά μέσω μίας μόνο εικόνας αλλά θα ήταν αποτελεσματικότερη η αναπαράστασή τους με τη χρήση βίντεο καθώς ούτε δημιουργούνται ούτε επηρεάζουν ένα μονάχα σημείο αλλά την συνολική χάραξη της οδού και αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επικινδυνότητά τους το μήκος των κρυμμένων τμημάτων της οδού και ο χρόνος για τον οποίον αυτά παραμένουν κρυφά.

Στην έντυπη μορφή της εργασίας παρουσιάζονται τα παραδείγματα του άλματος (ασυνέχειας), του βυθίσματος, της τοπικής υπερύψωσης και του κυματισμού με χρήση συνεχόμενων φωτογραφιών από διαδοχικές χιλιομετρικές θέσεις. Στη συνέχεια επιχειρείται μία σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεθόδων απεικόνισης, της απεικόνισης μέσω των σχεδίων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής, τη χρήση προοπτικών σκαριφημάτων με το χέρι και των τρισδιάστατων αποδόσεων με ηλεκτρονικό υπολογιστή προκειμένου να μελετηθεί και να τονιστεί περαιτέρω η χρησιμότητα της ανάλυσης των οδικών έργων με χρήση προοπτικών αποδόσεων μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Είναι εμφανής η αναγκαιότητα της μελέτης της προοπτικής εικόνας της οδού καθώς η πλειοψηφία των προβλημάτων στο σχεδιασμό δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν μόνο από την διερεύνηση των σχεδίων της μελέτης. Με την δημιουργία των προοπτικών εικόνων όλα τα ενδεχόμενα προβλήματα της χάραξης γίνονται πιο ορατά με αποτέλεσμα να διευκολύνεται ο εντοπισμός των προβληματικών περιοχών οι οποίες απαιτούν περαιτέρω μελέτη. Η ταχύτητα με την οποία είναι εφικτή σήμερα η δημιουργία των προοπτικών εικόνων διευκολύνει την πραγματοποίηση δοκιμών με στόχο την επίλυση των οπτικών προβλημάτων. Ακόμη η προοπτική απεικόνιση της χάραξης καθιστά δυνατή την προκαταρκτική εκτίμηση του μήκους ορατότητας σε διάφορα σημεία της οδού στο στάδιο της προμελέτης ή τον προσδιορισμό των τελευταίων λεπτομερειών της τελικής διαμόρφωσης όπως η τοποθέτηση της σήμανσης σε αργότερα στάδια της μελέτης. Η ανάλυση μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου εμφανίζει επίσης πολλαπλά εκπαιδευτικά και επικοινωνιακά πλεονεκτήματα καθώς διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματική και γρήγορη ανταλλαγή πληροφοριών και την περιγραφή οπτικών φαινομένων.

6. Προτάσεις

6.1 Σχετικά με την Μελέτη Οδικών Έργων

Σύμφωνα και με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο από την μελέτη των προοπτικών απεικονίσεων της παρούσης εργασίας, παρατηρείται ότι η δημιουργία προοπτικών αποδόσεων της οδού από ηλεκτρονικό υπολογιστή βοηθάει στην εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων σε όλα τα στάδια της μελέτης του οδικού έργου. Είναι επίσης πολύτιμη η συνεισφορά του στην επικοινωνία των στοιχείων του έργου προς άτομα τα οποία δεν είναι μηχανικοί κατά τη φάση της δημοπράτησης του έργου, κατά τη διάρκεια συναντήσεων ή συζητήσεων με τον κύριο του έργου, ή ως τμήμα της επικοινωνιακής πολιτικής του έργου.

Ως εκ τούτου, συνιστάται η δημιουργία τρισδιάστατων προοπτικών αποδόσεων από τον μελετητή μηχανικό σε όλες τις φάσεις της μελέτης, αλλά κυρίως στις φάσεις της προμελέτης και της διαμόρφωσης των τελικών λεπτομερειών. Στη φάση της προμελέτης οι προοπτικές αποδόσεις θα καθιστούσαν δυνατή την εξαρχής απόρριψη κάποιων εσφαλμένων λύσεων όπως αναφέρθηκε νωρίτερα χωρίς περαιτέρω σπατάλη πόρων ή χρόνου. Η επικοινωνιακή πολιτική είναι ιδιαιτέρως σημαντική στα νωρίτερα στάδια της μελέτης οπότε οι αποδόσεις της προμελέτης μπορούν να χρησιμεύσουν και προς αυτόν τον σκοπό. Στα τελευταία στάδια της μελέτης ο μηχανικός πρέπει να προσδιορίσει λεπτομέρειες όπως η θέση της οριζόντιας και της κατακόρυφης σήμανσης, η τοποθέτηση του φωτισμού, κ.α.. Στην διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη η μελέτη του οπτικού πεδίου σε κάθε θέση της οδού, η οποία διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση των προοπτικών αποδόσεων της οδού.

6.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Κατά τη δημιουργία των δοκιμαστικών χαράξεων της παρούσης εργασίας παρατηρήθηκε από τον γράφοντα το γεγονός ότι η τήρηση των ελαχίστων ακτινών των τόξων στρογγύλευσης της μηκοτομής οι οποίες αναφέρονται στις Ο.Μ.Ο.Ε. δεν επαρκεί από μόνη της για τη δημιουργία μίας ομαλής μηκοτομής με επαρκές μήκος ορατότητας. Σε περιπτώσεις στις οποίες η αλλαγή στην κατά μήκος κλίση ήταν μικρή (μικρότερη από 3%) οι ελάχιστες προτεινόμενες ακτίνες ήταν ήδη σημαντικά μεγαλύτερες από την μικρότερη αναγκαία, και σε περιπτώσεις στις οποίες η αλλαγή της κατά μήκος κλίσης ήταν μεγάλη (μεγαλύτερη από 8%) οι χρησιμοποιούμενες ακτίνες έπρεπε να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις προτεινόμενες προκειμένου να επιτευχθεί ομαλή εικόνα της οδού. Για τον λόγο αυτό προτείνεται η περαιτέρω μελέτη των ελάχιστων ακτινών των τόξων στρογγύλευσης της μηκοτομής και η ενδεχόμενη συσχέτισή τους και με άλλα μεγέθη εκτός της ταχύτητας μελέτης όπως η διαφορά μεταξύ διαδοχικών κατά μήκους κλίσεων. Συνιστάται επίσης η μελέτη της αλληλουχίας των ακτινών των τόξων της μηκοτομής καθώς όλα τα προβλήματα τα οποία αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία εντείνονται όταν υπάρχουν δυσαρμονίες ή διαφορές στην τάξη μεγέθους των ακτινών διαδοχικών τόξων της μηκοτομής. Προτείνεται η διαμόρφωση κάποιου συσχετισμού στην αλληλουχία τους όπως συμβαίνει με τις ακτίνες των κυκλικών τόξων της οριζοντιογραφίας.

Ένα ακόμη ενδιαφέρον πεδίο για περαιτέρω μελέτη θα ήταν η ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου αλγόριθμου για τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων, πιθανόν ως επέκταση στις λειτουργίες του προγράμματος οδοποιίας FM17. Αξιοποιώντας τα δεδομένα τα οποία ούτως η άλλως εξάγει το πρόγραμμα, ένας αλγόριθμος θα μπορούσε να παράγει τις τρισδιάστατες επιφάνειες με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που παράγει τα σχέδια του το πρόγραμμα αυτή τη στιγμή απλοποιώντας περισσότερο την όλη διαδικασία και ανοίγοντας νέες προοπτικές και δυνατότητες στο πρόγραμμα FM17 καθώς και στον τρόπο με τον οποίο διδάσκεται το μάθημα της οδοποιίας σήμερα.

Λογική συνέχεια της προηγούμενης πρότασης για περαιτέρω μελέτη θα ήταν η δημιουργία ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης οδήγησης για οδικά έργα τα οποία σχεδιάζονται με χρήση του προγράμματος FM17 διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο ακόμη περισσότερο την δοκιμή της οδού σε διαφορετικές συνθήκες οδήγησης, αλλά και την μετάδοση στους σπουδαστές πολιτικούς μηχανικούς της επιρροής που έχουν στην τελική μορφή της οδού οι διάφορες αποφάσεις οι οποίες λαμβάνονται στη φάση της μελέτης.

7. Βιβλιογραφία

Πίνακας Βιβλιογραφίας

1. Κανελλαΐδης, Γ., και συν. *Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2017.
2. Κανελλαΐδης, Γ., Μαλέρδος, Γ. και Γλαρός, Γ. *Σημειώσεις για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό των Οδών*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2004.
3. Συνοπτική Περιγραφή του Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών. *en.wikipedia.org*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 22 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_design_of_roads.
4. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ - Χ)*. Αθήνα : ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ, 2001.
5. Road and Transportation Research Association. *Guidelines for the Design of Motorways (RAA)*. Cologne, Germany : FGSV Verlag GmbH, 2008.
6. AASHTO. *A Policy on Design Standards - Interstate System*. Washington D.C., U.S.A. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2005.
7. —. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington D.C., U.S.A. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
8. Lamm, Ruediger, Psarianos, Basil and Mailaender, Theodor. *Highway Design And Traffic Safety Engineering Handbook*. New York, U.S.A. : McGraw-Hill, 1999.
9. Σύνοψη Αμερικάνικων Προδιαγραφών για Αυτοκινητόδρομους. *en.wikipedia.org*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 22 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Interstate_Highway_standards.
10. TAC - ATC. *Geometric Design Guide for Canadian Roads*. Ottawa, Canada : Transportation Association of Canada, 2017.
11. Άρθρο για τα Πλεονεκτήματα της Οπτικοποίησης σε Συγκοινωνιακά Έργα. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 22 11 2017.] <http://www.civilfx.com/50ways/>.
12. Κανελλαΐδης, Γ., και συν. *Σημειώσεις Οδοποιίας II*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2017.
13. Κανελλαΐδης, Γ., και συν. *Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2013.
14. *Ιστοσελίδα Μαθήματος Γεωμετρικού Σχεδιασμού Οδών Ε.Μ.Π.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 22 11 2017.] http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=CIVIL1184.
15. *Ιστοσελίδα Μαθήματος Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας Ε.Μ.Π.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 22 11 2017.] http://mycourses.ntua.gr/course_description/index.php?cidReq=CIVIL1083.

16. AUSTROADS. *Rural Road Design: A Guide to the Geometric Design of Rural Roads*. Sydney, Australia : Austroads Inc., 2003.
17. *Ορισμός και Περιγραφή της Οπτικοποίησης*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] [https://en.wikipedia.org/wiki/Visualization_\(graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Visualization_(graphics)).
18. *Ορισμός Τεχνικής Απεικόνισης*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Technical_illustration.
19. *Μέθοδοι και Διαφοροποίηση Τεχνικού Σχεδίου*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Technical_drawing#Methods, https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering_drawing#Relationship_to_artistic_drawing.
20. *Περιγραφή του Ρεύματος του Φωτορεαλισμού*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Photorealism>.
21. *Περιγραφή της Διαδικασίας Δημιουργίας 3διάστατων Γραφικών*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics, https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling.
22. *Αρχές Υπολογισμού Φωτισμού στην 3διάστατη Απόδοση Η/Υ*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/Unbiased_rendering, https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_equation, https://en.wikipedia.org/wiki/Photon_mapping, [https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)).
23. *Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας της Φωτογραφίας*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Photograph>.
24. *Αρχές Λειτουργίας 3διάστατης Απόδοσης Η/Υ*. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 26 11 2017.] https://en.wikipedia.org/wiki/3D_rendering, [https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_\(computer_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_(computer_graphics)), <https://en.wikipedia.org/wiki/Pre-rendering>, https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_computer_graphics.
25. Μερτζάνης, Φώτης, και συν. *Οδηγίες Χρήσης Λογισμικού Οδοποιίας FM17*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2017.
26. Γιαννής, Γιώργος. *Οδηγίες Για την Ετοιμασία Της Διπλωματικής Εργασίας*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 2010.
27. Τράκος, Νικόλαος Β. *Προοπτική Απεικόνιση της Χάραξης Οδών με Χρήση Προγραμμάτων Η/Υ (Διπλωματική Εργασία)*. Αθήνα : Ε.Μ.Π., 1995.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1
Περιγραφή και Σχέδια Δοκιμαστικών Χαράξεων

Πίνακας Πινάκων Παραρτήματος 1

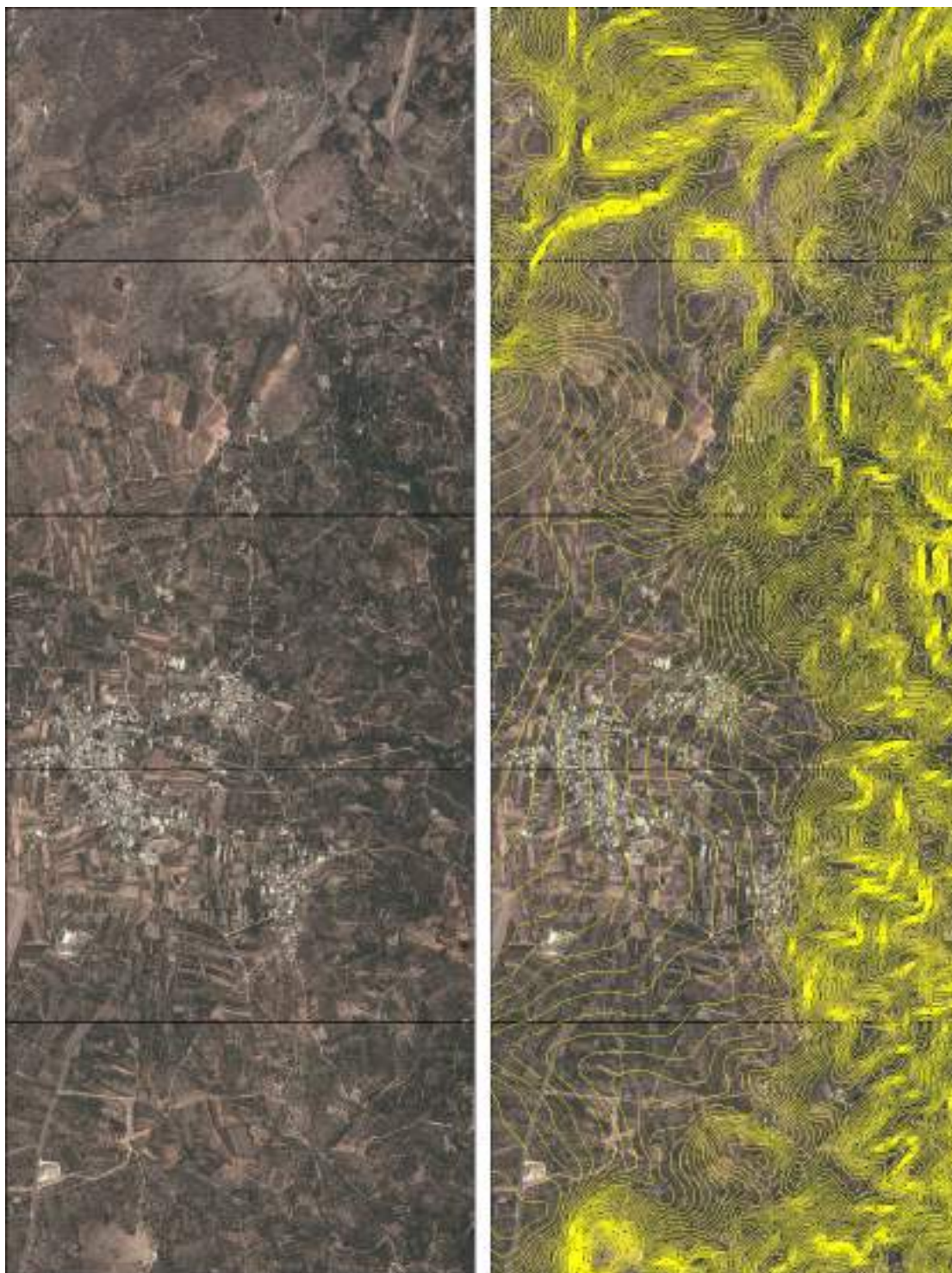
Πίνακας 1 Δεδομένα Φύλλου "Πλάτη", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις	- 14 -
Πίνακας 2 Δεδομένα Φύλλου "Οδογραμμές", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις	- 14 -
Πίνακας 3 Δεδομένα Φύλλου "Διαμορφώσεις - Γεωμετρία", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις ..	- 14 -
Πίνακας 4 Δεδομένα Φύλλου "Διαμορφώσεις - Ιδιότητες", Κοινά σε όλες τις Χαράξεις ..	- 15 -
Πίνακας 5 Δεδομένα Φύλλου "Κλίσεις/Διαμορφώσεις - Αριστερά/Δεξιά", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις	- 15 -
Πίνακας 6 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Άλματος.....	- 15 -
Πίνακας 7 Δεδομένα Φύλλου "Σημαίες" Παραδείγματος Άλματος	- 15 -
Πίνακας 8 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Άλματος	- 17 -
Πίνακας 9 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Βυθίσματος	- 21 -
Πίνακας 10 Δεδομένα Φύλλου "Σημαίες" Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 21 -
Πίνακας 11 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 23 -
Πίνακας 12 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Κυματισμού.....	- 27 -
Πίνακας 13 Δεδομένα Φύλλου "Σημαίες" Παραδείγματος Κυματισμού	- 27 -
Πίνακας 14 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Κυματισμού	- 29 -
Πίνακας 15 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 33 -
Πίνακας 16 Δεδομένα Φύλλου "Σημαίες" Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 33 -
Πίνακας 17 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης-	35 -

Πίνακας Σχεδίων Παραρτήματος 1

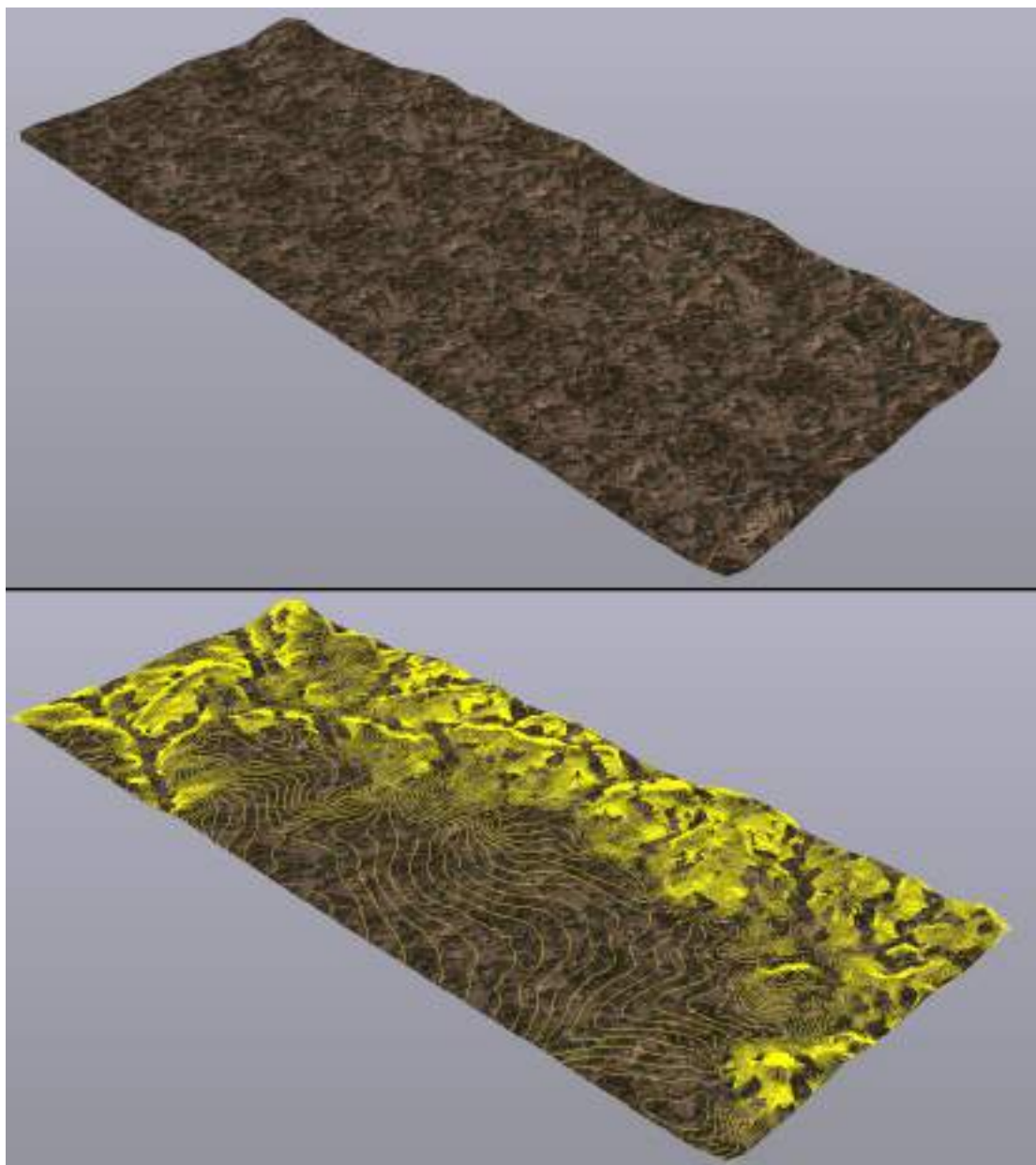
Σχέδιο 1 Περιοχή Καστελίου Ηρακλείου Κρήτης. Ορθοφωτοχάρτης Με και Χωρίς Ισοϋψείς Καμπύλες.....	- 10 -
Σχέδιο 2 Το Τρισδιάστατο Μοντέλο Εδάφους το οποίο Χρησιμοποιήθηκε στις Δοκιμαστικές Χαράξεις, ΝοτιοΔυτική Άποψη	- 11 -
Σχέδιο 3 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Άλματος.....	- 16 -
Σχέδιο 4 Παραγόμενη Μηκοτομή –Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Άλματος	- 18 -
Σχέδιο 5 Έλεγχοι Κλίσεων Παραδείγματος Άλματος.....	- 19 -
Σχέδιο 6 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Άλματος Άποψη από α)Ανατολικά β) Βόρεια-20 -	
Σχέδιο 7 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Βυθίσματος	- 22 -
Σχέδιο 8 Παραγόμενη Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Βυθίσματος -	- 24 -
Σχέδιο 9 Έλεγχοι Κλίσεων Παραδείγματος Βυθίσματος	- 25 -
Σχέδιο 10 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Βυθίσματος Άποψη από α)Ανατολικά β) Βόρεια	- 26 -
Σχέδιο 11 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Κυματισμού	- 28 -
Σχέδιο 12 Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Κυματισμού	- 30 -
Σχέδιο 13 Έλεγχοι Κλίσεων Παραδείγματος Κυματισμού.....	- 31 -
Σχέδιο 14 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Κυματισμού Άποψη από α)Ανατολικά β)Νότια	- 32 -
Σχέδιο 15 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 34 -
Σχέδιο 16 Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης ...	- 36 -
Σχέδιο 17 Έλεγχος Κλίσεων Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 37 -
Σχέδιο 18 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης Άποψη από α)Ανατολικά β)Βόρεια.....	- 38 -

Π 1.1 Στοιχεία Μοντέλου Εδάφους

Οι πειραματικές χαράξεις δημιουργήθηκαν στο Καστέλι Ηρακλείου Κρήτης, στην περιοχή της κατασκευής του νέου αεροδρομίου. Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται ως ορεινή και αποτελείται από μια ισόπεδη και ομαλή κατοικημένη περιοχή στην νοτιοδυτική πλευρά και διάφορα χαμηλά όρη στην βόρεια, την ανατολική και τη νότια πλευρά του χάρτη. Είναι αντιπροσωπευτικό ανάγλυφο πολλών περιοχών στη νήσο της Κρήτης και ταυτόχρονα εμφανίζει ποικιλία χαρακτηριστικών που θα χρησιμεύσουν στις διάφορες χαράξεις. Στα σχέδια των επόμενων σελίδων παρουσιάζονται ο ορθοφωτοχάρτης της περιοχής με και χωρίς ισοϋψείς καμπύλες και στη συνέχεια παρατίθεται το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της εργασίας.



Σχέδιο 1 Περιοχή Καστελίου Ηρακλείου Κρήτης. Ορθοφωτοχάρτης Με και Χωρίς Ισοϋψείς Καμπύλες



Σχέδιο 2 Το Τρισδιάστατο Μοντέλο Εδάφους το οποίο Χρησιμοποιήθηκε στις Δοκιμαστικές Χαράξεις,
ΝοτιοΔυτική Άποψη

Π 1.2 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Άλματος

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των δοκιμαστικών χαράξεων κάποια από τα δεδομένα εισαγωγής του προγράμματος οδοποιίας FM17 διατηρήθηκαν σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Τα στοιχεία αυτά ανήκουν στα φύλλα “Πλάτη”, “Οδογραμμές”, “Διαμορφώσεις”, και “Κλίσεις/Διαμορφώσεις” και παρουσιάζονται στους πίνακες των επόμενων σελίδων.

Για τη δημιουργία της κάθε μίας από τις δοκιμαστικές χαράξεις ήταν απαραίτητο να προσδιοριστούν τα συστατικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν το κάθε ένα από τα υπό μελέτη προβλήματα. Το φαινόμενο του άλματος ή ασυνέχειας της οδού παρατηρείται όταν έχουμε αλλαγή κατεύθυνσης της οδού μέσα σε βύθισμα με αποτέλεσμα να υπάρχει ο κίνδυνος η αλλαγή κατεύθυνσης της οδού να μην γίνεται εγκαίρως αντιληπτή από τους οδηγούς. Όταν δηλαδή η αρχή οριζοντιογραφικής καμπύλης κρύβεται από τον οδηγό από παρεμβαλλόμενο κύρτωμα ενώ η συνέχεια της καμπύλης είναι ορατή στο βάθος της προοπτικής εικόνας, τότε παρατηρείται ασυνέχεια της οδού.

Για την αναπαράσταση μιας χάραξης αυτού του είδους δημιουργήθηκαν δύο σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία τα οποία συμπίπτουν με δύο σημεία καμπής στην μηκοτομή, ένα κύρτωμα και αμέσως μετά ένα κοίλωμα. Με αυτό τον τρόπο η αρχή της δεύτερης καμπύλης αποκρύπτεται από τον οδηγό λόγω του αρχικού κυρτώματος και γίνεται αντιληπτή μόνο την τελευταία στιγμή. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός είναι ιδιαίτερος επικίνδυνος και για αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι η συγκεκριμένη χάραξη είναι εντός των κανονισμών οπότε η απλή εφαρμογή των κανόνων δεν προστατεύει έναντι του προβλήματος αυτού.

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα οδοποιίας FM17 για τη σχεδίαση της συγκεκριμένης χάραξης και στη συνέχεια τα παραγόμενα σχέδια της εν λόγω μελέτης. Η τελική δοκιμαστική χάραξη έχει συνολικό μήκος 2461,88 μέτρα και κατεύθυνση χλιομέτρησης από Βορά προς Νότο.

Παραρτήματα

Οδογραμμή	ΧΘ	Πλάτος	Ακτίνα	Απόσταση	Οδοστρωσία	Στράγγιση	Έδραση
-1	0	1,375	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
-1	999999	1,375	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
1	0	1,375	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
1	999999	1,375	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
-2	0	7,750	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
-2	999999	7,750	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
2	0	7,750	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
2	999999	7,750	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0

Πίνακας 1 Δεδομένα Φύλλου "Πλάτη", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις

Οδογραμμή	Τύπος Επίκλισης
-1	1
1	1
-2	2
2	2

Πίνακας 2 Δεδομένα Φύλλου "Οδογραμμές", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις

Διαμόρφωση	ΔΧ	ΔΥ	ΔΥ/ΔΧ [%]	ΔΖ	Κωδικός	Κλίση %
ΕΡΕΙΣΜΑ	1,50	0,00	12,00	0,00	-1	0,000
ΕΡΕΙΣΜΑ	1,25	0,00	12,00	0,00	2	0,000
ΤΑΦΡΟΣ	2,90	0,00	2,50	0,00	2	0,000
ΤΑΦΡΟΣ	0,05	0,35	0,00	0,00	0	700,000
ΤΑΦΡΟΣ	0,50	0,00	0,00	0,00	0	0,000
ΤΑΦΡΟΣ	0,05	-0,35	0,00	0,00	0	-700,000
ΤΑΦΡΟΣ	2,00	0,00	-6,00	0,00	2	0,000
ΤΑΦΡΟΣ	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-100,000

Πίνακας 3 Δεδομένα Φύλλου "Διαμορφώσεις - Γεωμετρία", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις

Διαμόρφωση	Τομή Οδοστρώσις	Τομή Στράγγισης	Τομή Έδρασης	Έναρξη ή Τέλος Πρανών Οριζοντιογραφίας	Χαρακτηριστικό Υψόμετρο Διαμόρφωσης
ΤΑΦΡΟΣ ΕΡΕΙΣΜΑ	6 0	6 0	6 0	6 1	2 1

Πίνακας 4 Δεδομένα Φύλλου "Διαμορφώσεις - Ιδιότητες", Κοινά σε όλες τις Χαράξεις

Από ΧΘ	Έως ΧΘ	Από ΔΗ	Έως ΔΗ	Από Επίκλιση	Έως Επίκλιση	Διαμόρφωση Δρόμου	Κλίση Πρανούς	Διαμόρφωση Εδάφους
0	10000	-50	0,6	-10	10	ΤΑΦΡΟΣ	-1,00	0
0	10000	-1	0,6	-10	10	ΤΑΦΡΟΣ	0,67	0
0	10000	0	40,0	-10	10	ΕΡΕΙΣΜΑ	0,67	0
0	10000	-100	100,0	-10	10	0	9999,00	0
0	10000	-100	100,0	-10	10	0	-9999,00	0

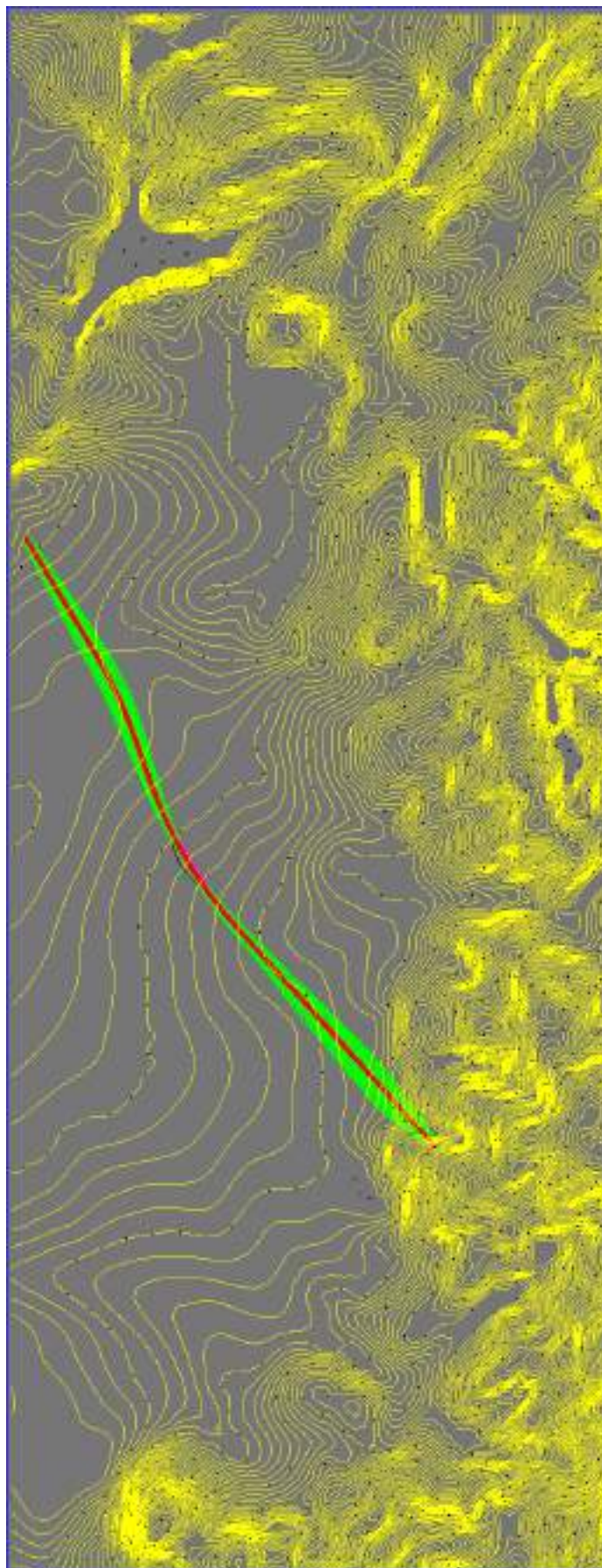
Πίνακας 5 Δεδομένα Φύλλου "Κλίσεις/Διαμορφώσεις - Αριστερά/Δεξιά", Κοινά σε Όλες τις Χαράξεις

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμογής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμογής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621261,8362	3898038,4057	0	0	0	0	0	0
102	621571,3469	3897523,7705	160	1400	160	7	0	0
103	621774,4243	3896951,4679	160	1400	160	7	0	0
104	622621,4446	3896014,9913	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Άλματος

Σημεία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	Διατομή
F101	0,000	343,588	0	0
F102	599,998	352,650	3500	0
F103	1190,869	339,972	1900	0
F104	2461,880	396,120	0	0

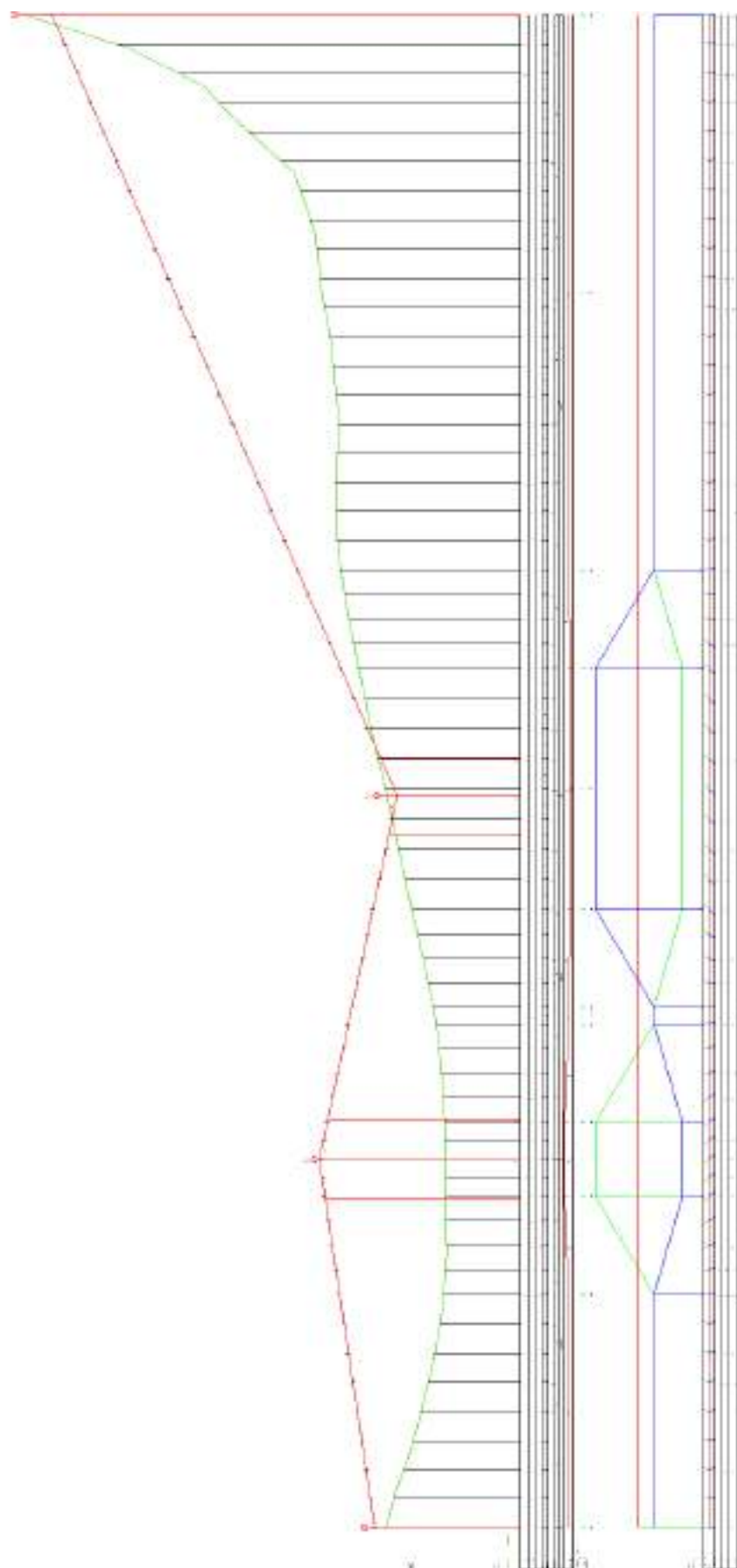
Πίνακας 7 Δεδομένα Φύλλου "Σημείες" Παραδείγματος Άλματος



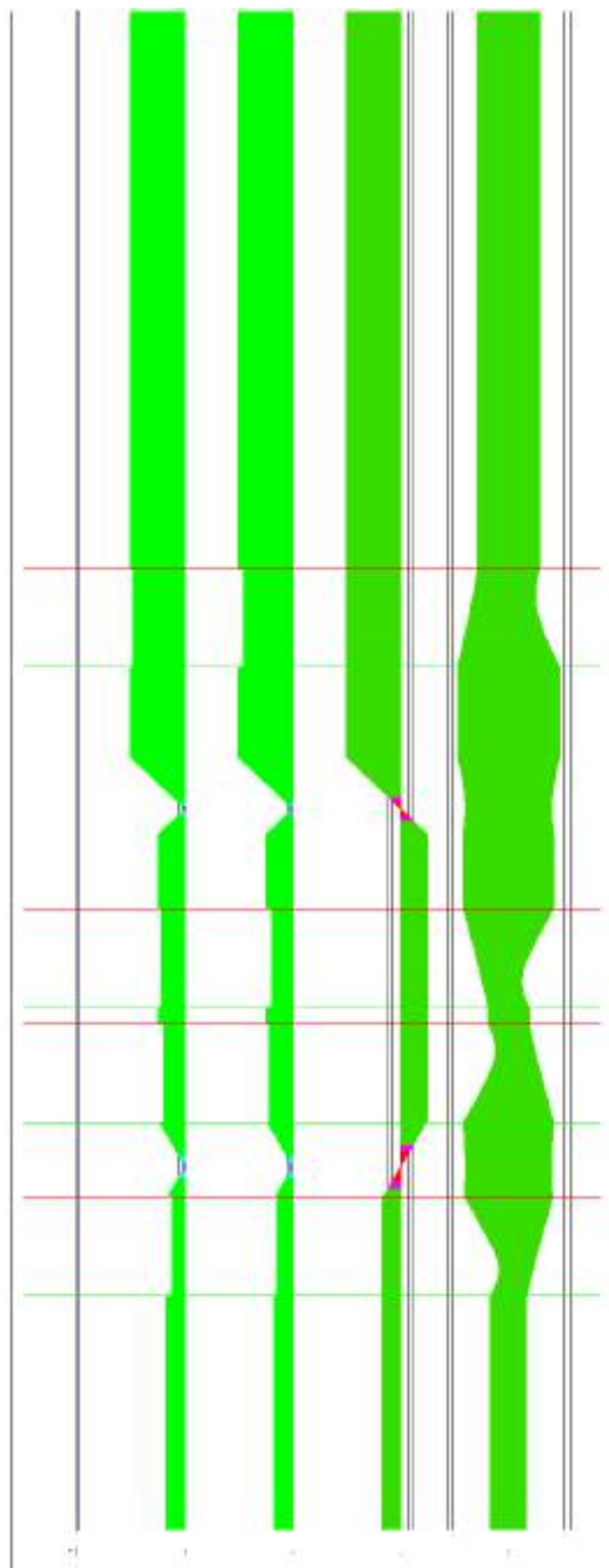
Σχέδιο 3 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Άλματος

K101	K102	K103	K104
$X_K=621261.8362$ $Y_K=3898038.4057$	$X_K=621571.3469$ $Y_K=3897523.7706$ $\beta=187.2371 \text{ grad}$ $\gamma=12.7629 \text{ grad}$ $R=1400.000$ $A=473.286$ $L=160.000$ $T=0571 \text{ grad}$ $X=159.948$ $Y=3.047$ $X_m=79.991$ $\Delta R=.762$ $T=220.875$ $\delta=7.829$ $\Omega\Omega^*=120.670$ $A\Omega\Omega^*A^*=440.670$	$X_K=621774.4243$ $Y_K=3896951.4679$ $\beta=174.8981 \text{ grad}$ $\gamma=25.1019 \text{ grad}$ $R=1400.000$ $A=473.286$ $L=160.000$ $T=0571 \text{ grad}$ $X=159.948$ $Y=3.047$ $X_m=79.991$ $\Delta R=.762$ $T=359.786$ $\delta=28.432$ $\Omega\Omega^*=392.020$ $A\Omega\Omega^*A^*=712.020$	$X_K=622621.4446$ $Y_K=3896014.9913$

Πίνακας 8 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Άλματος



Σχέδιο 4 Παραγόμενη Μηκοτομή –Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Άλματος



Σχέδιο 5 Έλεγχοι Κλίσεων Παραδείγματος Άλματος



Σχέδιο 6 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Άλματος Άποψη από α) Ανατολικά β) Βόρεια

Π 1.3 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Βυθίσματος

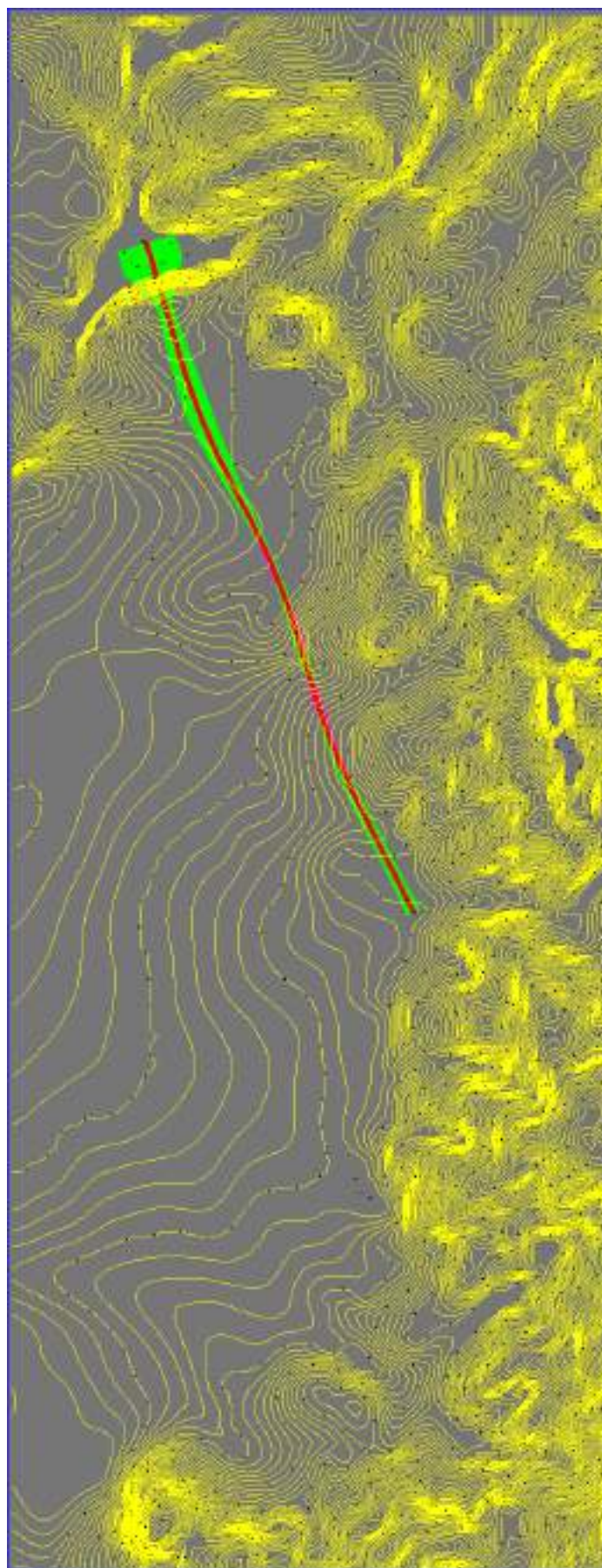
Στο φαινόμενο του βυθίσματος της οδού η μηκοτομή ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους με τμήματα της οδού να χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Στην περίπτωση που το βύθισμα είναι μεγάλο δεν υπάρχει καθόλου ορατότητα σε κάποιο τμήμα της οδού, ενώ στο μικρό βύθισμα ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να προκληθούν ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Για την αναπαράσταση του βυθίσματος θα δημιουργηθούν τρία σημεία καμπής στην μηκοτομή, ένα κοίλωμα μεταξύ δύο κυρτωμάτων το οποίο να αποκρύβει μέρος του οδοστρώματος από τον οδηγό. Αυτά θα συνδυαστούν με τρία σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία στις ίδιες χιλιομετρικές θέσεις ώστε το τόξο της μηκοτομής να εμπεριέχεται στο τόξο της οριζοντιογραφίας. Τα στοιχεία της χάραξης καθώς και τα παραγόμενα σχέδια παρατίθενται παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη χάραξη μεγάλο μέρος του οδοστρώματος αποκρύπτεται από τον οδηγό παρόλο που ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές. Η τελική δοκιμαστική χάραξη έχει συνολικό μήκος 2403,275 μέτρα και κατεύθυνση χιλιομέτρησης από το Βορρά προς το Νότο.

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολόγης Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολόγης Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621660,9547	3899019,3205	0	0	0	0	0	0
102	621831,5452	3898442,2744	225	2000	225	7	0	0
103	622105,0492	3897906,2904	225	2000	225	7	0	0
104	622275,6397	3897329,2444	225	2000	225	7	0	0
105	622549,1437	3896793,2604	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 9 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Βυθίσματος

Σημεία	XΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	Διατομή
F101	0,000	332,000	0	0
F102	601,124	341,217	3000	0
F103	1201,637	316,996	1900	0
F104	1806,269	359,094	3000	0
F105	2403,275	368,049	0	0

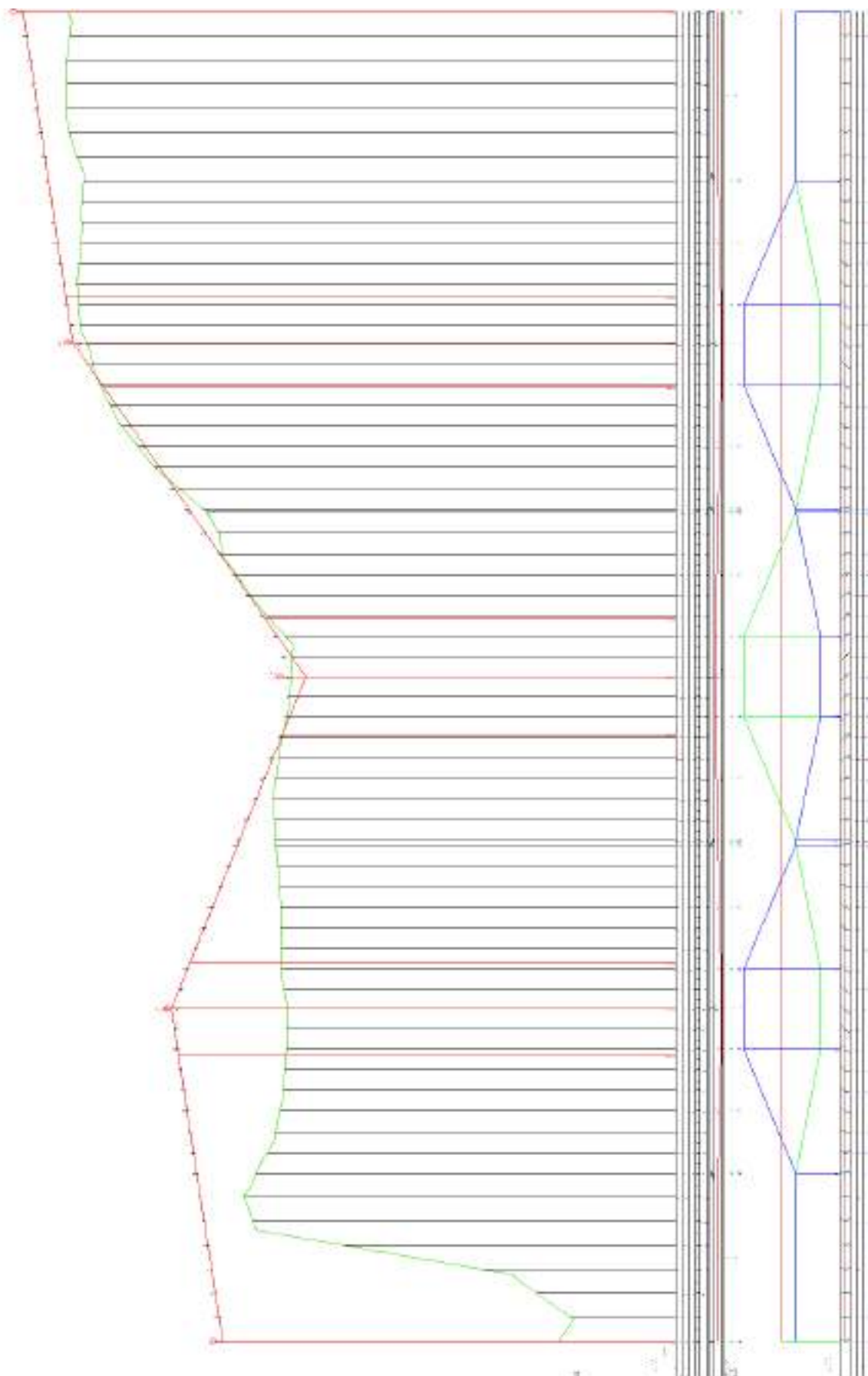
Πίνακας 10 Δεδομένα Φύλλου "Σημείες" Παραδείγματος Βυθίσματος



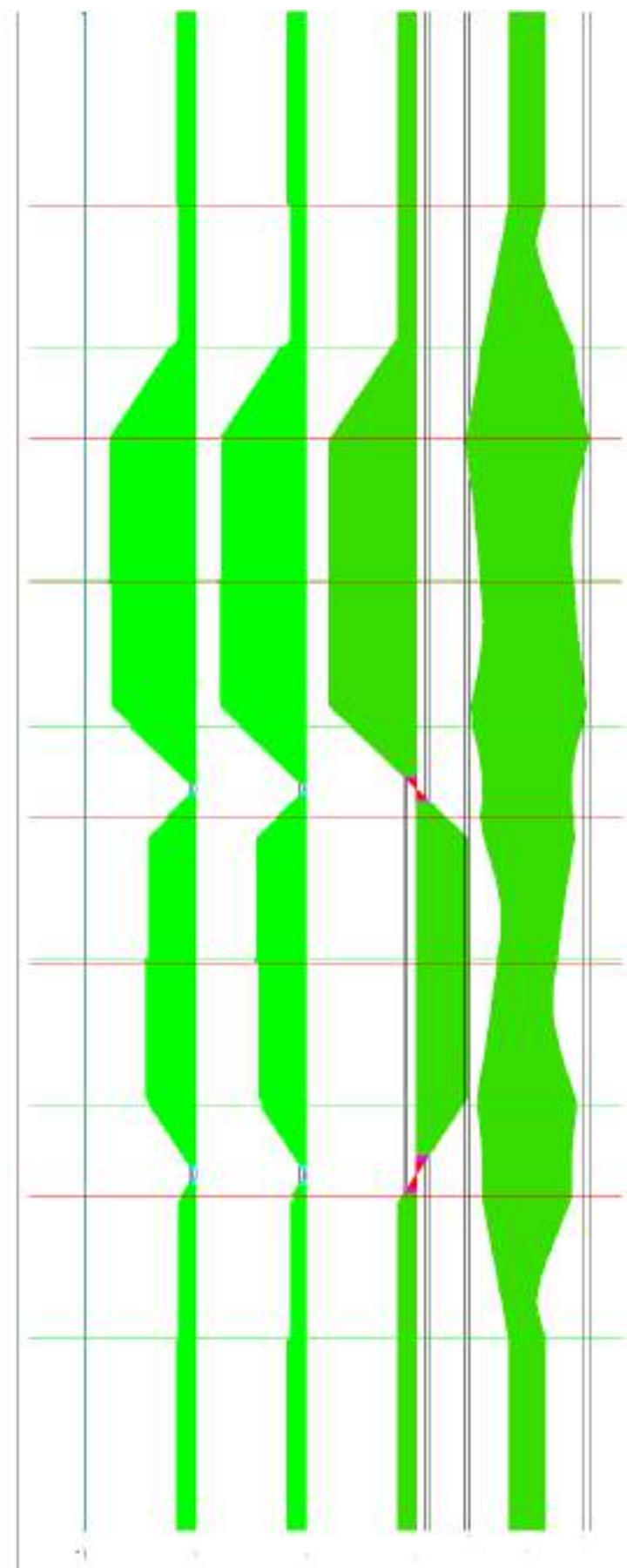
Σχέδιο 7 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Βυθίσματος

K101	X _k =621660.9547 Y _k =3899019.3205				
K102	X _k =621831.5452 Y _k =3898442.2744 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ=.0562 grad X=224.929 Y=4.218 X _m =112.488 ΔR=1.055 T=297.511 δ=9.590 ΩΩ*=143.801 AQQ*A*=593.801	K103	X _k =622105.0492 Y _k =3897906.2904 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ=.0562 grad X=224.929 Y=4.218 X _m =112.488 ΔR=1.055 T=297.511 δ=9.590 ΩΩ*=143.801 AQQ*A*=593.801	K104	X _k =622275.6397 Y _k =3897329.2444 β=188.2607 grad γ=11.7393 grad R=2000.000 A=670.820 L=225.000 τ=.0562 grad X=224.929 Y=4.218 X _m =112.488 ΔR=1.055 T=297.511 δ=9.590 ΩΩ*=143.801 AQQ*A*=593.801
K105	X _k =622549.1437 Y _k =3896793.2604				

Πίνακας 11 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Βυθίσματος



Σχέδιο 8 Παραγόμενη Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Βυθίσματος



Σχέδιο 9 Έλεγχος Κλίσεων Παραδείγματος Βυθίσματος



Σχέδιο 10 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Βυθίσματος Άποψη από α) Ανατολικά β) Βόρεια

Π 1.4 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Κυματισμού

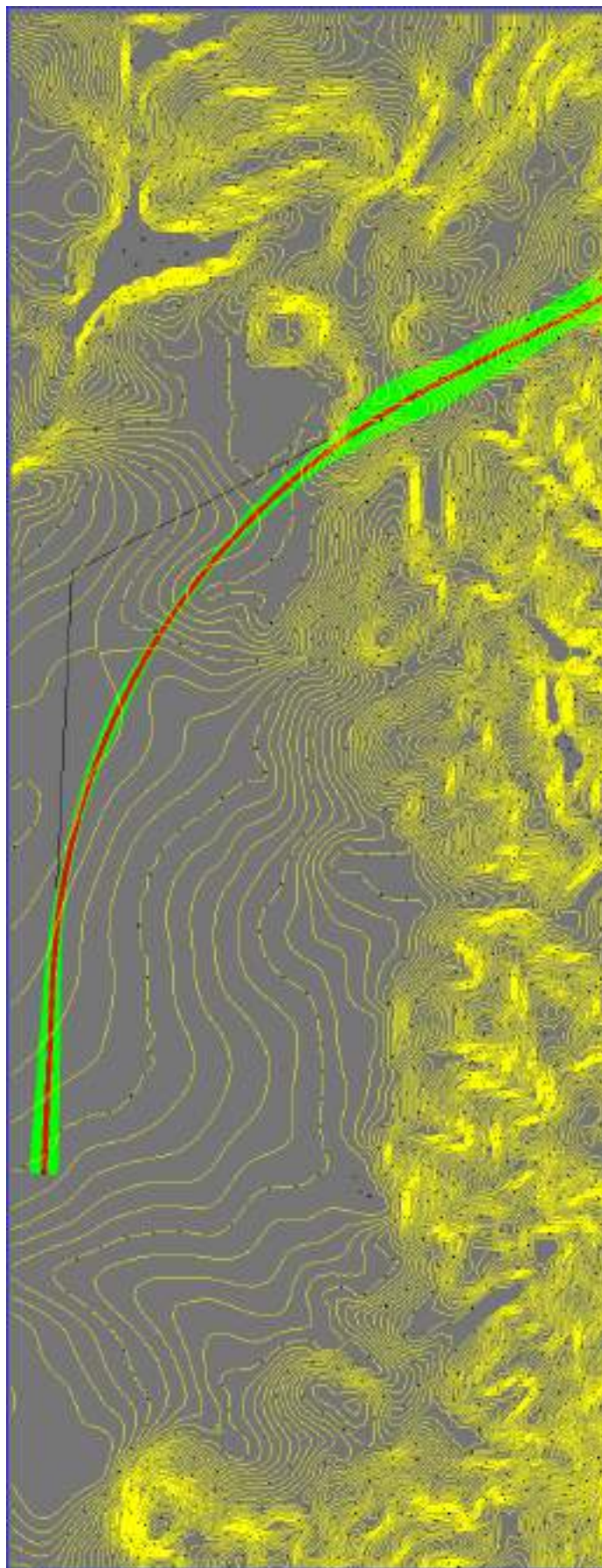
Το φαινόμενο του κυματισμού ορίζεται ως η εμφάνιση πολλαπλών διαδοχικών τοπικών υπερυψώσεων και βυθισμάτων της οδού. Τονίζεται ότι όταν η οριζοντιογραφία είναι καμπυλόγραμμη και το οπτικό πεδίο ελεύθερο, ο οδηγός μπορεί να διακρίνει την πλευρική όψη της περιοχής όπου εμφανίζεται ο κυματισμός, με αποτέλεσμα το φαινόμενο να γίνεται πιο έντονο, καθώς αποκαλύπτεται και η πιο μικρή υπερύψωση. Σε αυτή την περίπτωση το φαινόμενο γίνεται επίσης πιο επικίνδυνο καθώς δυσχεραίνει την εκτίμηση των αποστάσεων κατά μήκος της καμπύλης καθώς και της καμπυλότητας της στροφής. Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε το παράδειγμα της περίπτωσης του κυματισμού να δημιουργηθεί κατά μήκος μίας οριζοντιογραφικής καμπύλης. Παρακάτω δίνονται τα στοιχεία σχεδίασης της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής του παραδείγματος καθώς και τα παραγόμενα σχέδια που προκύπτουν. Η τελική δοκιμαστική χάραξη έχει συνολικό μήκος 3751,357 μέτρα και κατεύθυνση χιλιομέτρησης από τα Νοτιοδυτικά προς τα Βορειοανατολικά.

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολογής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολογής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621323,6390	3895920,7747	0	0	0	0	0	0
102	621415,4071	3897918,6682	260	2300	260	7	0	0
103	623191,5178	3898838,1414	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 12 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Κυματισμού

Σημεία	XΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	Διατομή
F101	0,000	364,100	0	0
F102	1070,000	332,000	6000	0
F103	1670,000	341,000	5200	0
F104	2070,000	321,000	3100	0
F105	2370,000	333,000	4800	0
F106	2670,000	327,000	3300	0
F107	3751,357	385,054	0	0

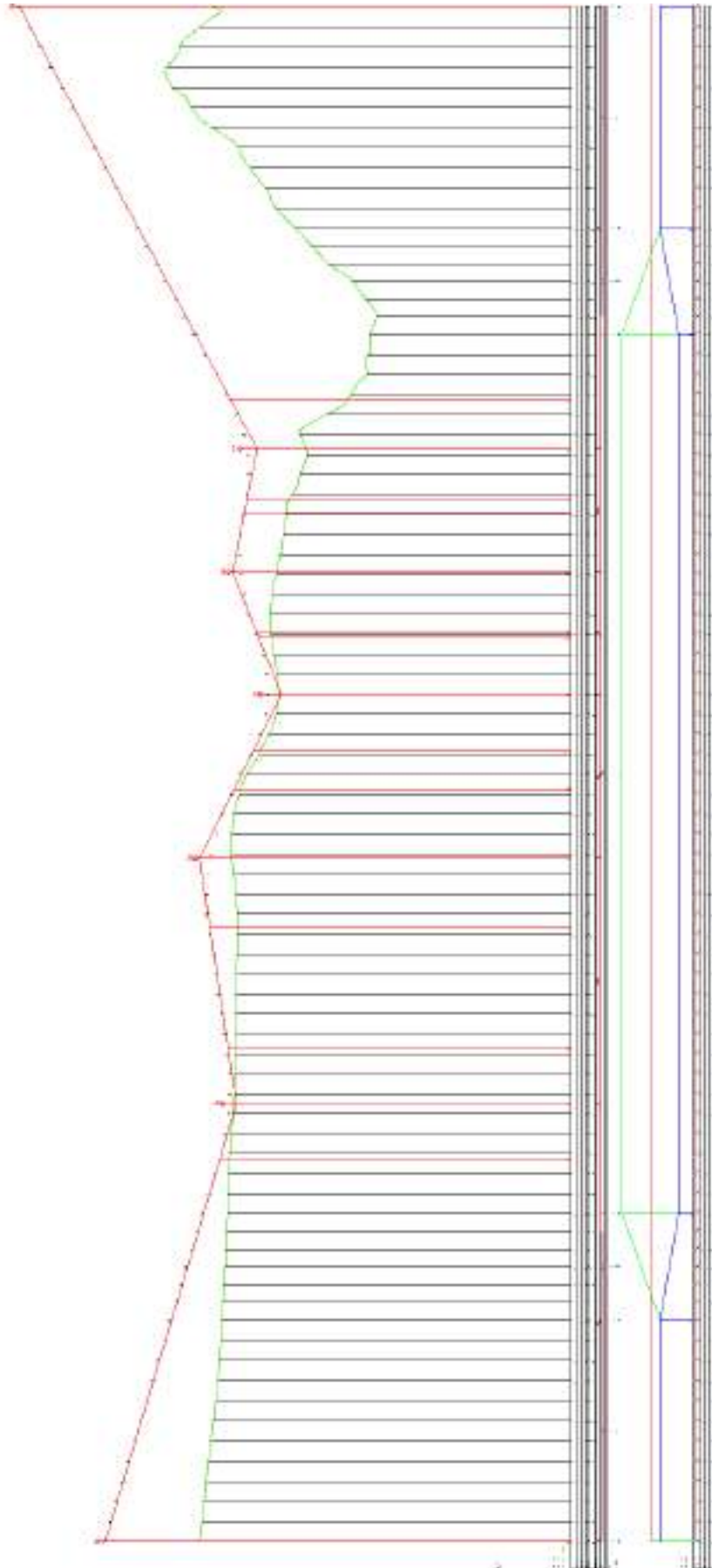
Πίνακας 13 Δεδομένα Φύλλου "Σημείες" Παραδείγματος Κυματισμού



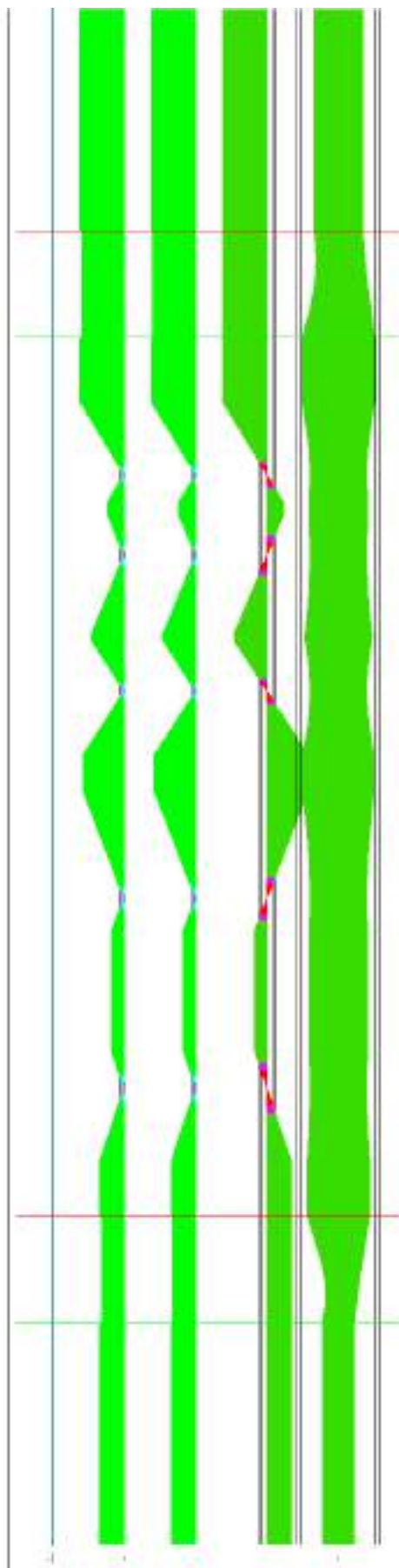
Σχέδιο 11 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Κυματισμού

K101 X_K=621323.6390 Y_K=3895920.7747	K102 X_K=621415.4071 Y_K=3897918.6682 β=133.3333 grad γ=66.6667 grad R=2300.000 A=773.305 L=260.000 τ= .0565 grad X=259.917 Y=4.897 X_m=129.986 ΔR=1.224 T=1458.599 δ=357.226 ΩΩ*=2148.555 AΩΩ*A*=2668.555	K103 X_K=623191.5178 Y_K=3898838.1414
--	---	--

Πίνακας 14 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Κυματισμού



Σχέδιο 12 Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Κυματισμού



Σχέδιο 13 Έλεγχοι Κλίσεων Παραδείγματος Κυματισμού



Σχέδιο 14 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Κυματισμού Άποψη από α)Ανατολικά β)Νότια

Π 1.5 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

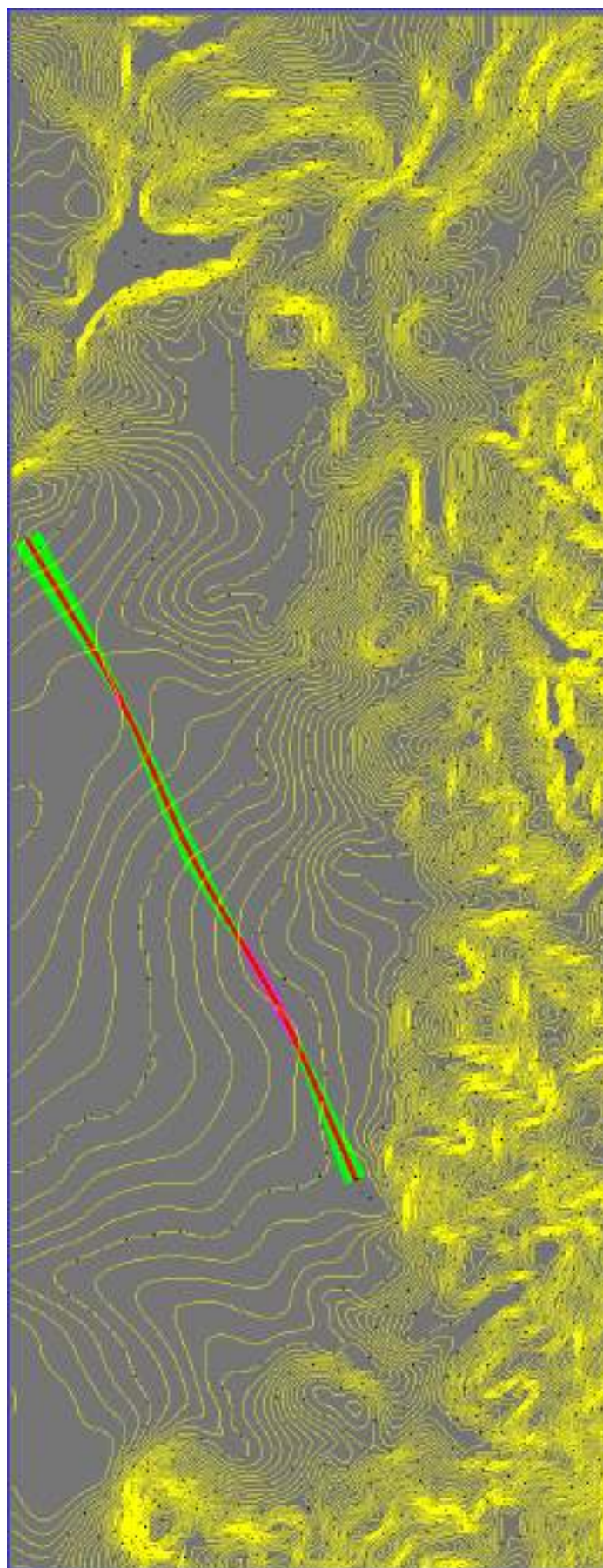
Το φαινόμενο της τοπικής υπερύψωσης δημιουργείται όταν η χάραξη ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, χωρίς κάποιο τμήμα της να αποκρύπτεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Για να αναπαρασταθεί απαιτούνται τουλάχιστον τρία σημεία καμπής στην μηκοτομή. Παρακάτω παρατίθενται τα δεδομένα που εισήχθησαν στα φύλλα “Κορυφές” και “Σημαίες” του προγράμματος FM17 για τη χάραξη του παραδείγματος της τοπικής υπερύψωσης καθώς και τα παραγόμενα σχέδια. Στόχος ήταν η δημιουργία τριών σημείων καμπής τα οποία να ακολουθούν βραχείες ανυψώσεις του εδάφους δημιουργώντας ένα κύρτωμα ανάμεσα σε δύο κοιλάματα χωρίς όμως να αποκρύπτεται κάποιο τμήμα της οδού από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Η τελική δοκιμαστική χάραξη η οποία χρησιμοποιήθηκε έχει συνολικό μήκος 2400,334 μέτρα και κατεύθυνση χιλιομέτρησης από τα Βορειοδυτικά προς τα Νοτιοανατολικά.

Κορυφή	X	Y	Μήκος Συναρμολογής Εισόδου	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου	Μήκος Συναρμολογής Εξόδου	Επίκλιση %	Ποσοστό απόσβεσης στον κύκλο	Διαπλάτυνση
101	621261,8362	3898038,4057	0	0	0	0	0	0
102	621571,3469	3897523,7705	260	2300	260	7	0	0
103	621808,9680	3896972,2431	260	2300	260	7	0	0
104	622118,4786	3896457,6079	260	2300	260	7	0	0
105	622356,0997	3895906,0805	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 15 Δεδομένα Φύλλου "Κορυφές" Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

Σημαία	ΧΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	Διατομή
F101	0,000	366,000	0	0
F102	600,235	329,972	1900	0
F103	1190,869	353,588	2000	0
F104	1806,269	344,357	1900	0
F105	2400,334	368,120	0	0

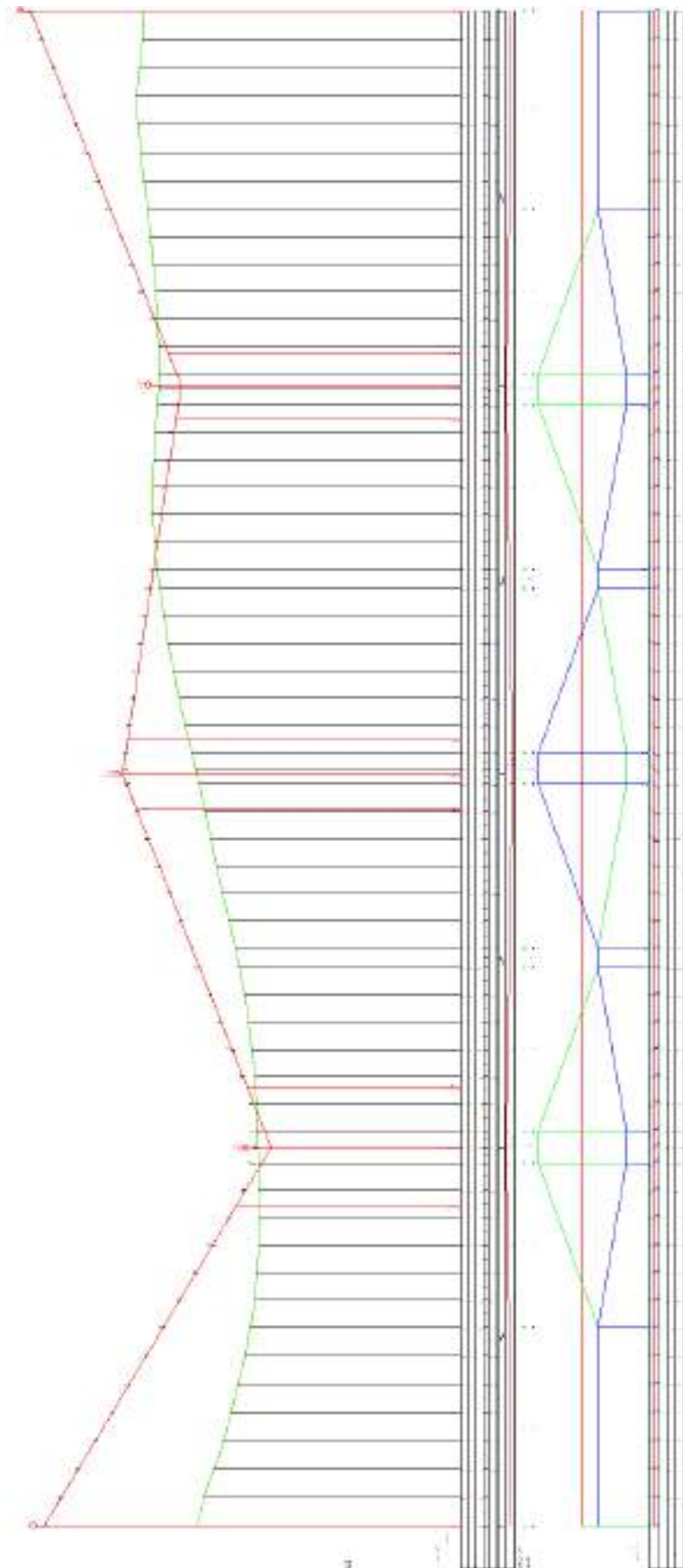
Πίνακας 16 Δεδομένα Φύλλου "Σημαίες" Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



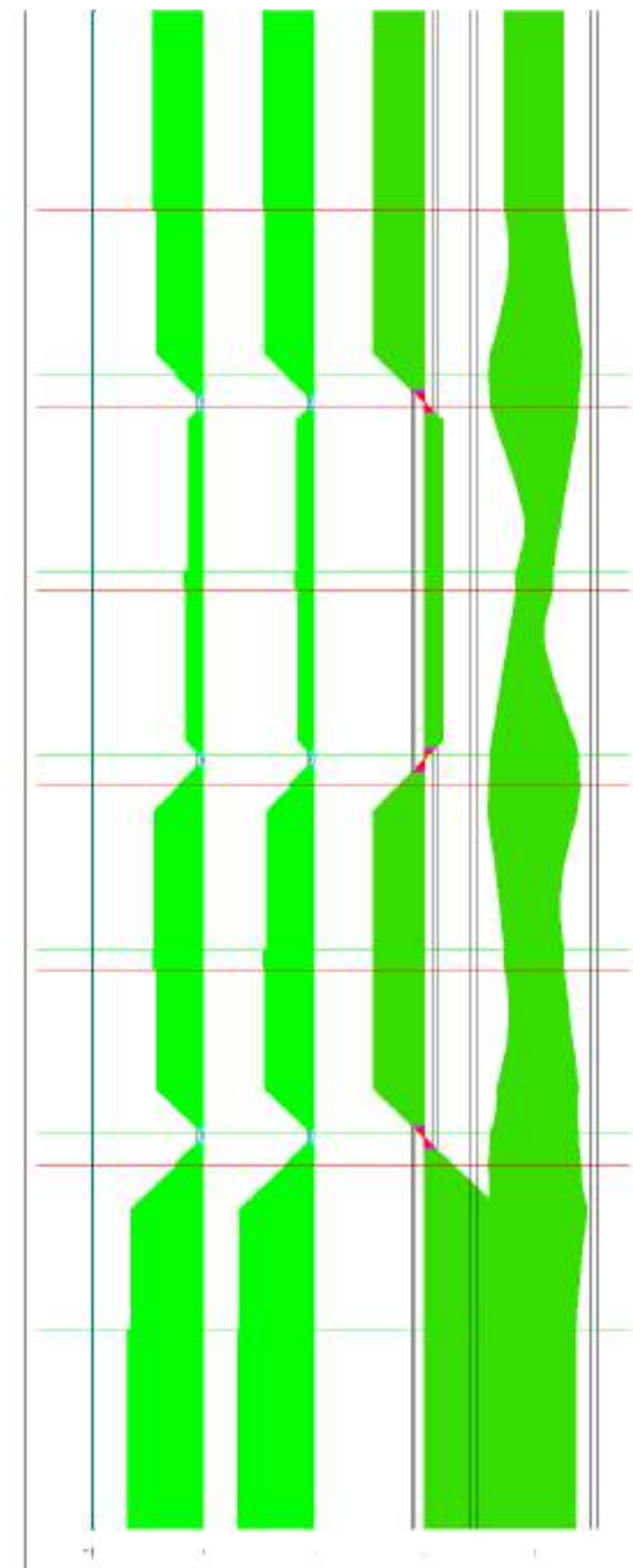
Σχέδιο 15 Οριζοντιογραφία με Πρανή Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

K101	Xκ=621261.8362 Υκ=3898038.4057	K102	Xκ=621571.3469 Υκ=3897523.7705 β=191.4277 grad γ=8.5723 grad R=2300.000 A=773.305 L=260.000 t=.0565 grad X=259.917 Y=4.897 Xm=129.986 ΔR=1.224 T=285.154 δ=6.450 ΩΩ'=49.702 ΔΩΩ'·A'=569.702	K103	Xκ=621808.9880 Υκ=3896972.2431 β=191.4277 grad γ=8.5723 grad R=2300.000 A=773.305 L=260.000 t=.0565 grad X=259.917 Y=4.897 Xm=129.986 ΔR=1.224 T=285.154 δ=6.450 ΩΩ'=49.702 ΔΩΩ'·A'=569.702	K104	Xκ=622118.4786 Υκ=3896457.6079 β=191.4277 grad γ=8.5723 grad R=2300.000 A=773.305 L=260.000 t=.0585 grad X=259.917 Y=4.897 Xm=129.986 ΔR=1.224 T=285.154 δ=6.450 ΩΩ'=49.702 ΔΩΩ'·A'=569.702	K105	Xκ=622356.0597 Υκ=3895906.0805
------	-----------------------------------	------	--	------	--	------	--	------	-----------------------------------

Πίνακας 17 Στοιχεία Παραγόμενης Οριζοντιογραφίας Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Σχέδιο 16 Μηκοτομή - Διάγραμμα Επικλίσεων Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Σχέδιο 17 Έλεγχος Κλίσεων Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Σχέδιο 18 Τρισδιάστατο Πλέγμα Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης Άποψη από α)Ανατολικά β)Βόρεια

Παράρτημα 2
Προοπτικές Αποδόσεις Δοκιμαστικών Χαράξεων

Πίνακας Εικόνων Παραρτήματος 2

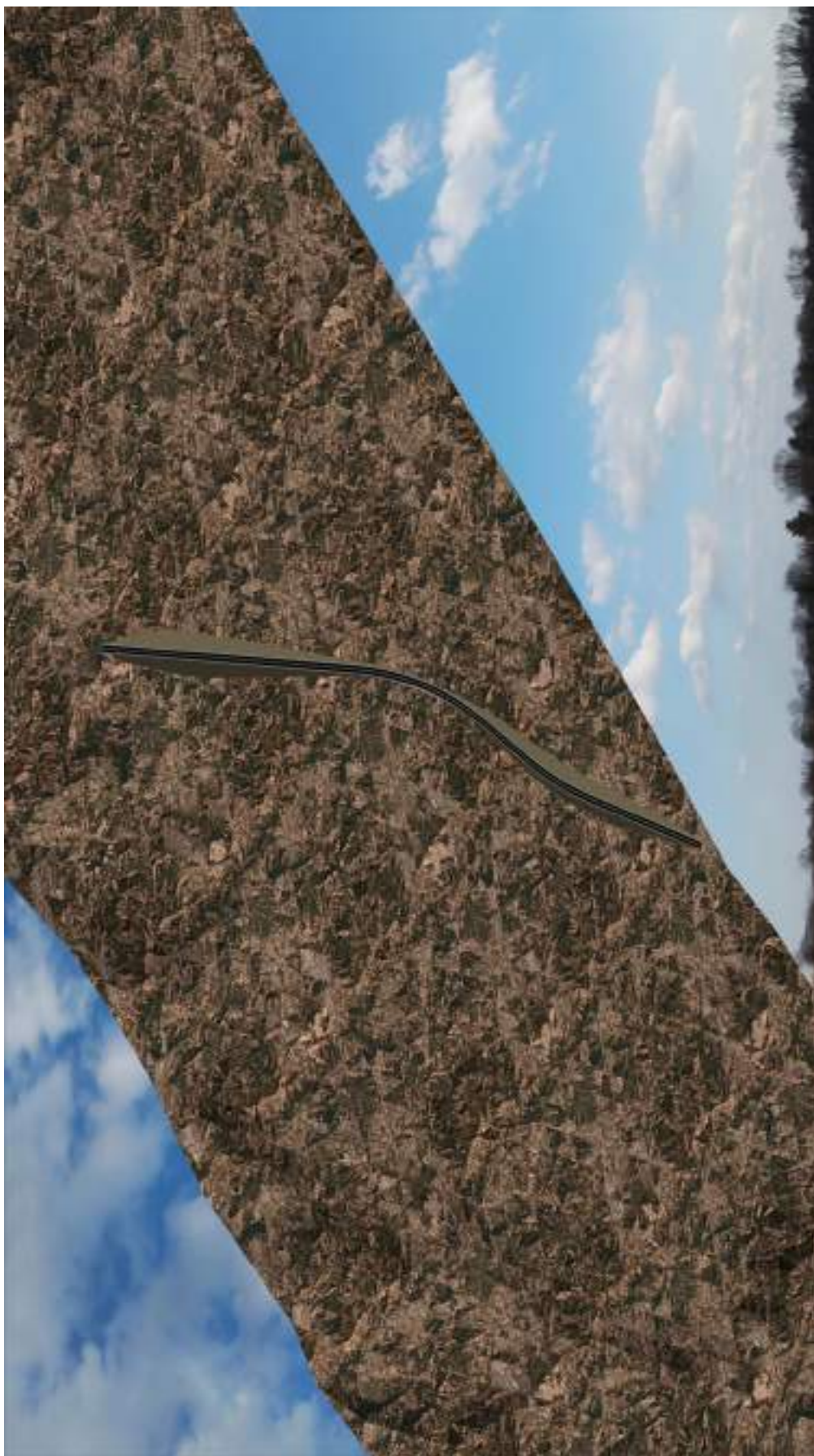
Εικόνα 1 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Άλματος	- 44 -
Εικόνα 2 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Άλματος	- 45 -
Εικόνα 3 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Άλματος	- 46 -
Εικόνα 4 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Άλματος	- 47 -
Εικόνα 5 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+000.....	- 48 -
Εικόνα 6 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+333.....	- 49 -
Εικόνα 7 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+417.....	- 50 -
Εικόνα 8 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+500.....	- 51 -
Εικόνα 9 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+667.....	- 52 -
Εικόνα 10 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 54 -
Εικόνα 11 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 55 -
Εικόνα 12 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 56 -
Εικόνα 13 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος.....	- 57 -
Εικόνα 14 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+000	- 58 -
Εικόνα 15 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+250	- 59 -
Εικόνα 16 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+333	- 60 -
Εικόνα 17 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+416	- 61 -
Εικόνα 18 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+500	- 62 -
Εικόνα 19 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+583	- 63 -
Εικόνα 20 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+667	- 64 -
Εικόνα 21 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Κυματισμού	- 66 -
Εικόνα 22 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Κυματισμού	- 67 -
Εικόνα 23 ΝοτιοΑνατολική Άποψη	- 68 -
Εικόνα 24 ΝοτιοΔυτική Άποψη	- 69 -
Εικόνα 25 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ 0+000.....	- 70 -
Εικόνα 26 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+167.....	- 71 -
Εικόνα 27 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+333.....	- 72 -
Εικόνα 28 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+750.....	- 73 -
Εικόνα 29 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+333.....	- 74 -
Εικόνα 30 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+500.....	- 75 -
Εικόνα 31 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+750.....	- 76 -
Εικόνα 32 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	- 78 -
Εικόνα 33 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	- 79 -
Εικόνα 34 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης.....	- 80 -
Εικόνα 35 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης	- 81 -
Εικόνα 36 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+000	- 82 -
Εικόνα 37 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+167	- 83 -
Εικόνα 38 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+333	- 84 -
Εικόνα 39 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+417	- 85 -
Εικόνα 40 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+667	- 86 -
Εικόνα 41 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 1+167	- 87 -

Π 2.1 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Άλματος

Στο δεύτερο μέρος των παραρτημάτων πρόκειται να παρουσιαστούν αναλυτικά όλες οι τρισδιάστατες αποδόσεις οι οποίες δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τα μοντέλα του τέταρτου κεφαλαίου. Στις πρώτες τέσσερις εικόνες φαίνονται αξονομετρικές αποτυπώσεις του μοντέλου από διαφορετικούς προσανατολισμούς ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητό το συνολικό σχήμα της χάραξης. Πρόκειται για ένα οδικό έργο μήκους περίπου δυόμισι χιλιομέτρων με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο το οποίο οριζοντιογραφικά έχει δύο αλλαγές κατεύθυνσης αρχικά προς τα δεξιά και στη συνέχεια προς τα αριστερά. Υψομετρικά υπάρχουν δύο αλλαγές κατά μήκος κλίσης, ένα κύρτωμα και στη συνέχεια ένα κοίλωμα. Η δεύτερη αλλαγή κατεύθυνσης στην οριζοντιογραφία συμπίπτει με το κοίλωμα της μηκοτομής και η πρώτη αλλαγή κατεύθυνσης αποκρύπτεται λόγω του κυρτώματος με αποτέλεσμα να γίνεται αντιληπτή (τουλάχιστον αρχικά) μόνο η δεύτερη αλλαγή κατεύθυνσης και κατά μήκος κλίσης. Στις προοπτικές εικόνες από το ύψος των ματιών ενός οδηγού ο οποίος κινείται κατά μήκος της οδού παρατηρείται μία έντονη αλλαγή στην προοπτική εικόνα καθώς ο οδηγός προσεγγίζει το σημείο του άλματος. Από απόσταση (Χ.Θ. 0+000) φαίνεται στο βάθος μία αλλαγή της κατεύθυνσης της οδού προς τα αριστερά μαζί με αλλαγή της κατά μήκος κλίσης σε εντονότερη ανωφέρεια χωρίς κάποιον άλλο ενδιάμεσο ελιγμό οπότε ο οδηγός ετοιμάζεται να αντιμετωπίσει την αλλαγή κατεύθυνσης που αντιλαμβάνεται. Στις επόμενες τρεις εικόνες (Χ.Θ. 0+333, Χ.Θ. 0+417 και Χ.Θ. 0+500) ο οδηγός αντιλαμβάνεται ότι πριν την αλλαγή κατεύθυνσης που είχε αντιληφθεί μεσολαβεί μία στροφή προς τα δεξιά με αλλαγή της κατά μήκος κλίσης σε κατωφέρεια. Από την οπτική πλευρά του οδηγού φαίνεται να χάνεται η συνέχεια της οδού. Στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 0+667) ο οδηγός πλέον μπορεί να αντιληφθεί το συνολικό σχήμα της χάραξης της οδού. Το πρόβλημα είναι διπλό επειδή αφενός ο οδηγός κινούνταν επί 667 ή και περισσότερα μέτρα χωρίς να γνωρίζει την αλλαγή κατεύθυνσης που θα κληθεί να αντιμετωπίσει, και αφετέρου όταν πλέον εντοπίσει την αριστερή στροφή του απομένει ελάχιστος χρόνος αντίδρασης. Ο συγκεκριμένος τύπος προβλήματος εξομαλύνεται αποτελεσματικά με τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ακτινών στα τόξα της μηκοτομής ώστε να μειωθεί ο περιορισμός του μήκους ορατότητας λόγω του κυρτώματος όμως για την ουσιαστική αντιμετώπισή του προτείνεται συνολική αλλαγή της χάραξης και η αντικατάσταση των καμπυλών τύπου S με μία ενιαία καμπύλη τόσο στην οριζοντιογραφία όσο και στη μηκοτομή.



Εικόνα 1 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Άλματος



Εικόνα 2 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Άλματος



Εικόνα 3 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Άλματος



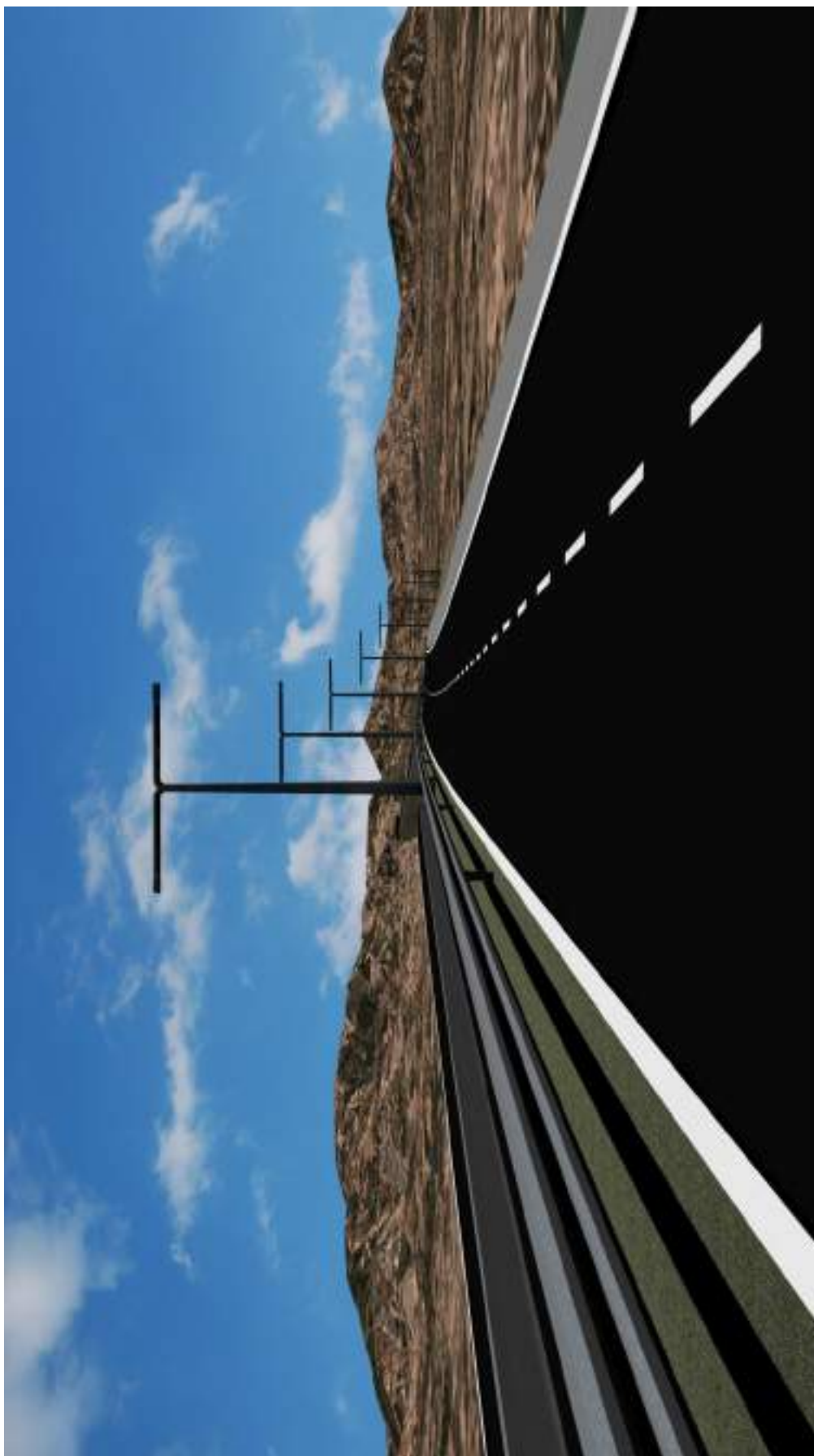
Εικόνα 4 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Αλματος



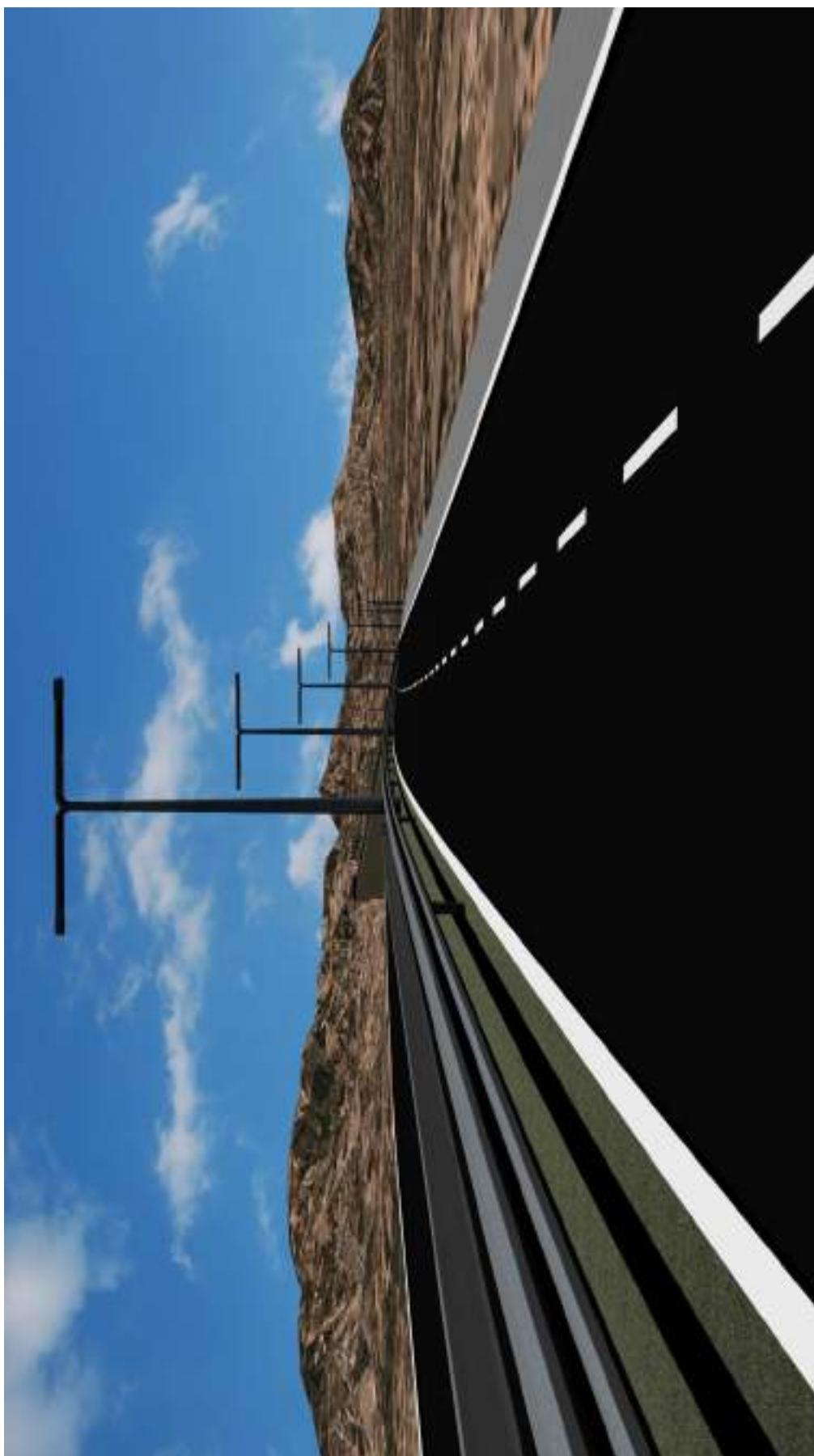
Εικόνα 5 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+000



Εικόνα 6 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+333



Εικόνα 7 Παράδειγμα Αλματος Χ.Θ. 0+417



Εικόνα 8 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+500



Εικόνα 9 Παράδειγμα Άλματος Χ.Θ. 0+667

Π 2.2 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Βυθίσματος

Όπως και στην περίπτωση του παραδείγματος άλματος, στις πρώτες τέσσερις εικόνες φαίνονται αξονομετρικές αποτυπώσεις της χάραξης από διαφορετικούς προσανατολισμούς με στόχο να αποσαφηνιστεί το σχήμα της χάραξης στο χώρο. Το συνολικό μήκος είναι περίπου δυόμιση χιλιόμετρα και η κατεύθυνση από το Βορρά προς το Νότο. Η χάραξη είναι παρόμοια με το παράδειγμα του άλματος με την έννοια ότι υπάρχουν ξανά τρεις αλλαγές της κατά μήκος κλίσης με τη διαμόρφωση ενός κοιλώματος μεταξύ δύο διαδοχικών κυρτωμάτων. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτή την χάραξη υπάρχουν τρεις αλλαγές κατεύθυνσης στην οριζοντιογραφία με την κάθε μία να συμπίπτει με μία αλλαγή κλίσης στη μηκοτομή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δεύτερη αλλαγή κατεύθυνσης να μην γίνεται αντιληπτή και να δίνεται η εντύπωση ότι η οδός διατηρεί σταθερή κατεύθυνση. Δηλαδή, ενώ στην περίπτωση του άλματος ο οδηγός αντιλαμβάνεται νωρίτερα μία αλλαγή κατεύθυνσης η οποία θα ακολουθήσει αργότερα δίνοντας την εντύπωση της ασυνέχειας, στην περίπτωση του βυθίσματος ο οδηγός δεν αντιλαμβάνεται μία αλλαγή κατεύθυνσης η οποία ακολουθεί δίνοντας την εντύπωση της συνέχειας του δρόμου τη στιγμή που δεν υπάρχει. Στο φαινόμενο του βυθίσματος η μηκοτομή ακολουθεί βραχείες ανυψώσεις του εδάφους, και υπάρχουν τμήματα της οδού που χάνονται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Στην περίπτωση που το βύθισμα είναι μεγάλο δεν υπάρχει καθόλου ορατότητα σε κάποιο τμήμα της οδού, ενώ στο μικρό βύθισμα ο οδηγός δυσκολεύεται να εκτιμήσει σωστά την απόσταση. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να προκληθούν ατυχήματα κατά τη διάρκεια ελιγμών προσπέρασης. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά φαίνονται έντονα στις αποδόσεις του παραδείγματος βυθίσματος από το ύψος του οδηγού οι οποίες παρουσιάζονται μετά τις αξονομετρικές αποτυπώσεις του μοντέλου. Στις πρώτες τρεις εικόνες (Χ.Θ. 0+000, Χ.Θ. 0+250 και Χ.Θ. 0+333) ο οδηγός προσεγγίζει το πρώτο κύρτωμα και μπορεί να αντιληφθεί ένα τμήμα του δρόμου στην απέναντι πλευρά του κοιλώματος αλλά η μορφή και η συνέχεια της οδού δεν είναι προφανής. Γίνεται αντιληπτό ότι ένα υπολογίσιμο τμήμα της οδού δεν είναι ορατό. Στις επόμενες δύο εικόνες (Χ.Θ. 0+416 και Χ.Θ. 0+500) στις οποίες ο οδηγός βρίσκεται στην θέση του πρώτου κυρτώματος και γίνεται πλέον αισθητό ότι το οδικό τμήμα που φαίνεται στην απέναντι πλευρά του κοιλώματος είναι συνέχεια του συγκεκριμένου δρόμου, και ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί περίπου τη μορφή του δρόμου αλλά γίνεται πλέον ακόμη πιο ορατό το γεγονός ότι το μέγεθος του τμήματος το οποίο δεν είναι ορατό είναι σημαντικό. Ακόμη δίνεται η εντύπωση πως η οδός συνεχίζει ευθύγραμμα μέχρι το τμήμα το οποίο είναι ορατό στην απέναντι πλευρά. Στις δύο τελευταίες εικόνες (Χ.Θ. 0+583 και Χ.Θ. 0+667) πλέον ο οδηγός μπορεί να αντιληφθεί το συνολικό σχήμα της χάραξης και έχει πλήρη ορατότητα, όμως παρόμοια με την περίπτωση του άλματος έχει πλέον δραστικά μειωμένο χρόνο αντίδρασης και πρέπει να ελιχθεί για να αντιμετωπίσει την στροφή η οποία στις προηγούμενες εικόνες δεν ήταν ορατή.



Εικόνα 10 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος



Εικόνα 11 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος



Εικόνα 12 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος



Εικόνα 13 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Βυθίσματος



Εικόνα 14 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+000



Εικόνα 15 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+250



Εικόνα 16 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+333



Εικόνα 17 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+416



Εικόνα 18 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+500



Εικόνα 19 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+583



Εικόνα 20 Παράδειγμα Βυθίσματος Χ.Θ. 0+667

Π 2.3 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Κυματισμού

Το φαινόμενο του κυματισμού προκαλείται όταν εμφανίζονται συνεχόμενες τοπικές υπερυψώσεις και βυθίσματα στην χάραξη. Γίνεται ιδιαίτερος αισθητό αλλά και πιο επικίνδυνο όταν η οριζοντιογραφία δεν είναι ευθύγραμμη καθώς αποκαλύπτεται ακόμη και η πιο μικρή υπερύψωση και δυσχεραίνεται η εκτίμηση των αποστάσεων και της καμπυλότητας της στροφής. Στις τέσσερις αξονομετρικές αποτυπώσεις παρουσιάζεται το συνολικό σχήμα της χάραξης στον χώρο. Αποτελείται από δύο μικρού μήκους ευθύγραμμα τμήματα στην αρχή και στο τέλος ενωμένα με μία μεγάλου μήκους και ακτίνας καμπύλη σταθερής καμπυλότητας. Υψομετρικά διαμορφώνονται πολλές διαδοχικές βραχείες ανυψώσεις και βυθίσματα της οδού καθώς αυτή προσπαθεί να προσαρμοστεί στο ανάγλυφο του εδάφους και προς το τέλος της οδού υπάρχει μία ανωφέρεια σταθερής κατά μήκος κλίσης. Η οδός έχει συνολικό μήκος περίπου τέσσερα χιλιόμετρα και κατεύθυνση από τα Νοτιοδυτικά προς τα Βορειοανατολικά. Στις πρώτες τέσσερις εικόνες (Χ.Θ. 0+000, Χ.Θ. 0+167, Χ.Θ. 0+333 και Χ.Θ. 0+750) φαίνεται η παραμορφωμένη εικόνα που δίνει η οδός σε οχήματα που κινούνται πριν τη στροφή προσεγγίζοντας την περιοχή του κυματισμού. Κοιτώντας από την αρχή του οριζοντιογραφικού τόξου το τέλος του, ο δρόμος δίνει την εντύπωση ότι “κυματίζει”. Επίσης, λόγω των παραμορφώσεων που προκαλεί η επαλληλία στροφής με κύρτωμα ή κοίλωμα, δεν είναι εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι πρόκειται για μία ενιαία στροφή καθώς δίνεται η αίσθηση ότι η καμπυλότητα αλλάζει. Λόγω του γεγονότος ότι ο κυματισμός οφείλεται σε συνεχόμενες τοπικές υπερυψώσεις και βυθίσματα, καθώς το όχημα κινείται δια μέσω της περιοχής του κυματισμού έχει να αντιμετωπίσει όλα τα μειονεκτήματα και των δύο προβλημάτων. Στις επόμενες δύο εικόνες (Χ.Θ. 1+333 και 1+500) φαίνεται η εμφάνιση ενός βυθίσματος στην περιοχή του κυματισμού και στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 1+750) η εμφάνιση μίας υπερύψωσης χωρίς στο ενδιάμεσο διάστημα να δοθεί η δυνατότητα στον οδηγό να αντιληφθεί εξ ολοκλήρου τη χάραξη της οδού.



Εικόνα 21 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Κυματισμού



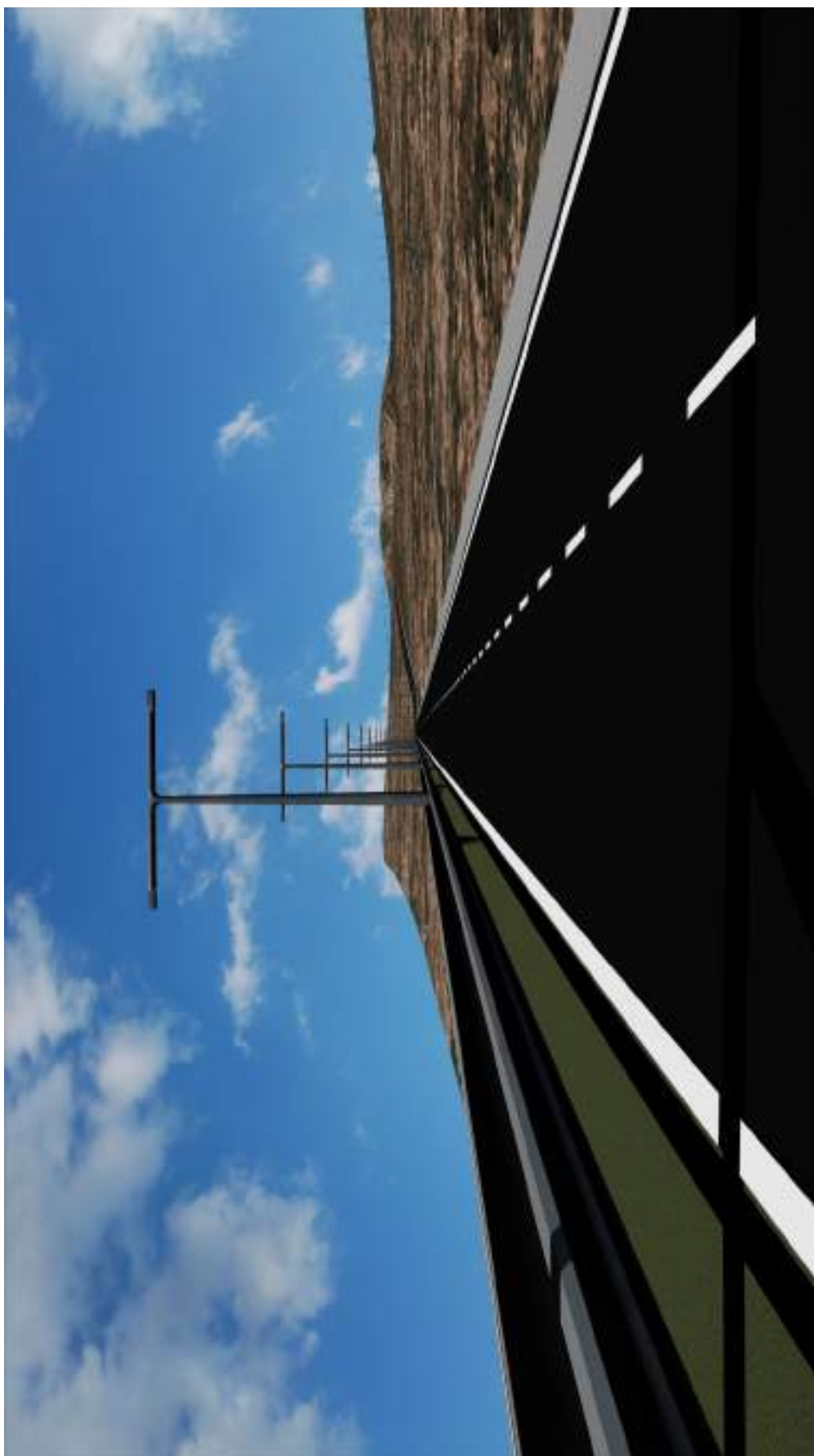
Εικόνα 22 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Κυματισμού



Εικόνα 23 ΝοτιοΑνατολική Άποψη



Εικόνα 24 Νοτιοδυτική Άποψη



Εικόνα 25 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ 0+000



Εικόνα 26 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+167



Εικόνα 27 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+333



Εικόνα 28 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 0+750



Εικόνα 29 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+333



Εικόνα 30 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+500



Εικόνα 31 Παράδειγμα Κυματισμού Χ.Θ. 1+750

Π 2.4 Δοκιμαστική Χάραξη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης

Όπως φαίνεται και από τις αξονομετρικές αποτυπώσεις, στο παράδειγμα της τοπικής υπερύψωσης η χάραξη επιδιώκει να ακολουθήσει συνεχόμενες βραχείες ανυψώσεις του εδάφους μέσω διαδοχικών κυρτώματων και κοιλωμάτων. Η Χάραξη έχει συνολικό μήκος περίπου δυόμιση χιλιόμετρα και κατεύθυνση από τα Βορειοδυτικά προς τα Νοτιοανατολικά. Οριζοντιογραφικά διαμορφώνονται τρεις αλλαγές κατεύθυνσης οι οποίες συνδυάζονται με τρεις αλλαγές κατά μήκους κλίσης στην μηκοτομή. Η προοπτική εικόνα της χάραξης είναι παρόμοια με αυτήν του βυθίσματος με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση έχουμε ένα κύρτωμα μεταξύ διαδοχικών κοιλωμάτων και ότι (από τις αρχικές θέσεις τουλάχιστον) κανένα τμήμα της χάραξης δεν χάνεται από το οπτικό πεδίο του οδηγού. Στις πρώτες δύο εικόνες (Χ.Θ. 0+000 και Χ.Θ. 0+167) είναι ορατό το άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα που έχει ως αποτέλεσμα μία τέτοια χάραξη. Είναι επίσης αντιληπτές οι οπτικές παραμορφώσεις που προκαλούνται από την επαλληλία οριζοντιογραφικών καμπυλών με τόξα μηκοτομής (κεφ. 2) καθώς και το γεγονός ότι από αυτή την θέση ο οδηγός έχει πλήρη επίβλεψη του καταστρώματος της οδού. Στις επόμενες τρεις εικόνες (Χ.Θ. 0+333, Χ.Θ. 0+417 και Χ.Θ. 0+667) βλέπουμε την σταδιακή αλλαγή της προοπτικής εικόνας της χάραξης καθώς κατά την κίνηση του οχήματος κατά μήκος της οδού το κύρτωμα αποκρύπτει αρχικά ένα τμήμα της οδού και κατόπιν, όταν το όχημα εισέρχεται στην ανωφέρεια, περιορίζει έντονα το μήκος ορατότητας. Κατά τη διάρκεια της κίνησης σε αυτό το τμήμα της οδού, παρόλο που ο οδηγός γνωρίζει το σχήμα της οδού σε μεγάλη απόσταση από τη θέση του επειδή είχε την ευκαιρία να το δει προηγουμένως, δεν υπάρχει ορατότητα πέραν των λίγων μέτρων μπροστά του οχήματος γεγονός το οποίο αυξάνει κατά πολύ την επικινδυνότητα. Στην τελευταία εικόνα (Χ.Θ. 1+167) το όχημα βρίσκεται πλέον στην κορυφή του κυρτώματος και δίνεται εκ νέου η δυνατότητα στον οδηγό να έχει ορατότητα στο τμήμα της οδού που ακολουθεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι το μήκος κίνησης του οχήματος χωρίς ορατότητα σε αυτή την δοκιμαστική χάραξη είναι περίπου ένα χιλιόμετρο, και σε διαφορετικές περιπτώσεις θα μπορούσε να ήταν αισθητά μεγαλύτερο.



Εικόνα 32 ΒορειοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Εικόνα 33 ΒορειοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



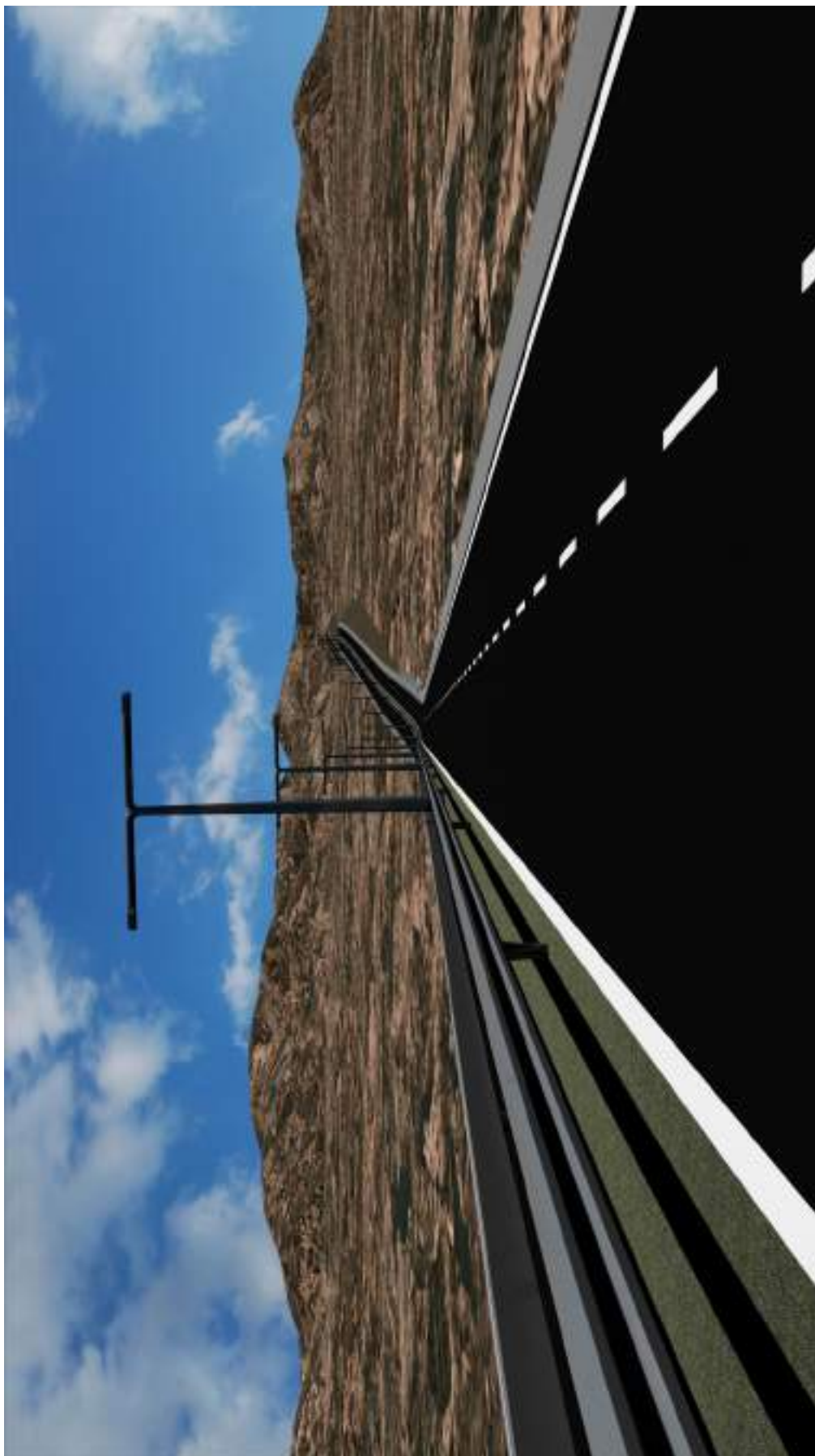
Εικόνα 34 ΝοτιοΑνατολική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Εικόνα 35 ΝοτιοΔυτική Άποψη Παραδείγματος Τοπικής Υπερύψωσης



Εικόνα 36 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+000



Εικόνα 37 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+167



Εικόνα 38 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+333



Εικόνα 39 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+417



Εικόνα 40 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 0+667



Εικόνα 41 Παράδειγμα Τοπικής Υπερύψωσης Χ.Θ. 1+167

