

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΠ. ΓΙΩΤΗΣ



ΜΕΛΕΤΕΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Χ. ΜΑΚΡΥΛΑΚΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1993

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΠ. ΓΙΩΤΗΣ



ΜΕΛΕΤΕΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Χ. ΜΑΚΡΥΛΑΚΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1993

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΠ. ΓΙΩΤΗΣ



ΜΕΛΕΤΕΣ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Η/Υ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΛΑΣΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Χ. ΜΑΚΡΥΛΑΚΗΣ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1993

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Απ. Γιώτη για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας και την εν γένει υποστήριξή του καθ'όλη τη διάρκεια της εκπονήσεώς της.

Σημαντική ήταν η βοήθεια που μου παρείχαν επίσης ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Γ. Κανελλαΐδης με τις εύστοχες παρατηρήσεις και παραινήσεις του πάνω στη δομή των κειμένων και ο Επίκουρος Καθηγητής του τμήματος ΑΤΜ του ΕΜΠ κ. Β. Ψαριανός με τις διαφωτιστικές υποδείξεις του πάνω σε τεχνικά ζητήματα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται στον Επιστημονικό Συνεργάτη του ΕΜΠ κ. Γ. Μαλέρδο για την ευγενέστατη παραχώρηση ορισμένων στοιχείων απαραίτητων για την πρόοδο των εργασιών, στους Μηχανικούς του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. κυρίους Μερτζάνη και Ανδριανό για τις διευκολύνσεις που μου παρείχαν στο στάδιο της ψηφιοποίησης, και στο φίλο και συνάδελφο κ. Αν. Χριστοφίδη για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα πληροφορικής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στους γονείς μου για τη συνεχή τους ηθική και υλική υποστήριξη. Σε αυτούς αφιερώνεται και το παρόν πόνημα.

Λ. Μ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ - ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ: ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ - ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ	4
1.1 Ιστορική εξέλιξη	5
1.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογής των συστημάτων CAD	10
1.3 Μειονεκτήματα της εισαγωγής των συστημάτων CAD	15
1.4 Δυσχέρειες κατά την εφαρμογή των συστημάτων CAD	18
1.5 Ανακεφαλαίωση - Σχόλια	25
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	29
2.1 Γενικά	30
2.2 Ψηφιοποίηση	34
2.3 Χάραξη άξονα	41
2.4 Μηκοτομή	45
2.5 Διατομές	50
2.6 Χωματισμοί	55
2.7 Διερεύνηση της ακρίβειας	58
2.8 Συμπεράσματα	65
2.9 Επίλογος	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	79

ΣΥΝΟΨΗ

Η εισαγωγή των συστημάτων CAD στο χώρο της οδοποιίας περιέχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και συνοδεύεται από δυσχέρειες. Σε γενικές γραμμές όμως τα πλεονεκτήματα υπερτερούν σαφώς αρκεί να αντιμετωπισθούν σωστά οι ιδιαιτερότητες που έχει μια τέτοιου είδους επένδυση. Μέσω μιας πρακτικής εφαρμογής συγκρίνεται η κλασική μέθοδος μελέτης με τη μέθοδο του υπολογιστή, και διερευνάται η επίδραση στην ακρίβεια της ογκομέτρησης από τη μεταβολή ορισμένων παραμέτρων.

ABSTRACT

The introduction of the CAD systems in the field of road design includes advantages and disadvantages and is accompanied by impediments. In broad outline though, the advantages are clearly prevailing as long as the peculiarities of such an investment are properly encountered. Through a practical application, the classic method of road design is compared with the computer-based method, and the impact in the accuracy of the calculated earthworks by the alteration of some parameters is scrutinized.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Σχεδίαση με ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδοποιία, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ψηφιοποίηση, λογισμικό μελετών οδοποιίας.

KEY WORDS

Computed aided design, roads/design, computers, digitizing, highway engineering software.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει δύο θεματικές ενότητες οι οποίες κινούνται μέσα στο πλαίσιο της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών στην επιστημονική περιοχή της οδοποιίας.

Στην πρώτη ενότητα εξετάζονται και αναλύονται τα θετικά και τα αρνητικά στοιχεία που επιφέρει η εισαγωγή της πληροφορικής στο χώρο της οδοποιίας. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των συστημάτων πληροφορικής στις μελέτες οδοποιίας και αναφέρονται τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στα πρώτα στάδια της εφαρμογής τους και το πως τελικά ξεπεράσθηκαν. Στη συνέχεια αναλύονται τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής των συστημάτων CAD (Computer-Aided Design), επισημαίνονται τα μειονεκτήματά τους και εντοπίζονται οι δυσχέρειες που θα αντιμετωπισθούν κατά τις πρώτες φάσεις της εισαγωγής τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο της πρώτης ενότητας αναλύονται οι ιδιαιτερότητες που έχει μια επένδυση στα συστήματα CAD και προτείνονται τρόποι για την αντιμετώπισή τους, δίδοντας ιδιαίτερο βάρος στη σωστή εκπαίδευση των ατόμων που θα τα χρησιμοποιήσουν. Μέσα από μια γενικότερη σύγκριση των υπέρ και των κατά που εμφανίζει η χρήση των συστημάτων CAD εξάγεται το συμπέρασμα ότι για μια μακροπρόθεσμη περίοδο σχεδιασμού τα πλεονεκτήματα και τα απορρέοντα οφέλη σαφώς υπερिशύουν.

Στη δεύτερη ενότητα διερευνάται, μέσω μιας πρακτικής εφαρμογής, η πορεία εργασιών μιας μελέτης οδοποιίας με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Εξετάζεται αναλυτικά η διαδικασία της ψηφιοποίησης και ακολουθεί μια λεπτομερής κριτική παρουσίαση και σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες διαδικασίες της κλασικής μεθόδου, των εργασιών για τη χάραξη του άξονα, τη μελέτη της μηκοτομής, τον ορισμό της τυπικής διατομής, τη σχεδίαση των διατομών και τέλος τον υπολογισμό των χωματισμών. Στη συνέχεια της δεύτερης ενότητας, γίνεται χρήση των δυνατοτήτων που προσφέρει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής για την εξέταση σε σύντομο χρονικό διάστημα πολλών

εναλλακτικών λύσεων. Μ' αυτόν τον τρόπο διερευνάται η επίδραση στην ακρίβεια της ογκομέτρησης της μεταβολής της αποστάσεως μεταξύ των διατομών και της μεταβολής των αποστάσεων των σημείων εκατέρωθεν του άξονα που λαμβάνονται για την απεικόνιση του φυσικού εδάφους. Εξετάζοντας 3 κατηγορίες διατομών, μέσω τριών ισομεγέθων δειγμάτων των 12 στοιχείων, εξάγονται συμπεράσματα για τις επιδράσεις των παραπάνω παραμέτρων ενώ συγχρόνως διερευνώνται τα αίτια της απόκλισης των αποτελεσμάτων του υπολογιστή από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μελέτης με τις κλασικές μεθόδους.

SUMMARY

The present thesis consists of two thematic unities which are located within the frame of the application of computers in the scientific field of road design.

At the first unity, an examination and analysis of the pros and cons which are born by the introduction of computer science in road design is taking place. In the beginning there is a historical retrospection of the evolution of the Computer-Aided Design (CAD) systems in road design with a reference on the problems dealt at the very first phases and how they were overcome. Following, the advantages of the application of the CAD systems are analyzed, their disadvantages are pointed out and the difficulties which are bound to appear at the first stage of their implementation are located. At the last chapter of the first unity the peculiarities of an investment in CAD systems are analyzed and approaches for their confrontation are recommended, emphasizing the requirement for a proper education of the personnel assigned to function the system. Through an overall combination of the benefits and drawbacks of the use of CAD systems, we draw the conclusion that for a long-term period of design the advantages and the derived profits are clearly prevailing.

At the second unity, the course of works for the design of a road with a CAD system is scrutinized through a practical application. The process of digitizing is thoroughly examined and afterwards follows a critical presentation and comparison with the respective procedures of the conventional method, of the works for the horizontal alignment, the longitudinal section, the definition of the standard cross section, the drawing of the cross sections, and the calculation of the earthworks. Further to the second unity, the potentials offered by the computer for

examination of many alternative solutions in a very short time are employed. Thus, an investigation is conducted for the impact in the accuracy of the calculated earthworks by the alteration of the distance between cross sections and by the modification of the distances of the points, to the left and to the right of the axis, which are chosen for the depiction of the terrain. By examining 3 types of cross sections through three equally populated samples of 12 elements, conclusions are drawn for the influence of the aforementioned parameters while, simultaneously, the reasons of the divergence between the computer results and the respective results of the classic method are explored.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα κυριώτερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας ώστε να μπορούν να χρησιμεύσουν ως γρήγορη αναφορά για τον αναγνώστη.

— Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι στην πλήρη ανάπτυξη τους τα συστήματα CAD πλεονεκτούν σαφώς έναντι της κλασικής μεθόδου μελέτης, τόσο ποιοτικώς όσο και ποσοτικώς. *(γιατί)*

— Η σύγχρονη τάση στα συστήματα CAD είναι η συνεχής μείωση του κόστους τους συνοδευόμενη από μια διαρκή αύξηση των δυνατοτήτων τους.

— Η επένδυση στα συστήματα CAD έχει 2 ιδιαιτερότητες
α) εμφανίζει γρήγορη τεχνολογική απαξίωση
β) έχει πολύ μικρούς αρχικούς ρυθμούς παραγωγικότητας

Για να αντιμετωπισθούν αυτές οι ιδιαιτερότητες πρέπει

α) να γίνει ακριβής ανάλυση των απαιτήσεων
β) να δοθεί άρτια και εμπεριστατωμένη εκπαίδευση στο προσωπικό.

— Η μέθοδος με υπολογιστή παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια από την κλασική και οι αποκλίσεις που εμφανίζονται οφείλονται σε αναπόφευκτα σφάλματα στα οποία είναι υποκείμενος ο ανθρώπινος παράγοντας και τα οποία εξαλείφονται με τη χρήση του υπολογιστή.

— Υπάρχει μια περιοχή τιμών, μέχρι τα 60 περίπου μέτρα σε επίπεδο προμελέτης, για τις αποστάσεις μεταξύ των διατομών μέσα στην οποία τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης είναι μεγάλης ακρίβειας και η απόκλιση από αυτήν οδηγεί σε ανακρίβειες. *2*

— Η μεταβολή των αποστάσεων στη λήψη των σημείων, αριστερά και δεξιά του άξονα, για την απεικόνιση του φυσικού εδάφους ελάχιστα επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

— Όσο αυξάνεται το μήκος του υπό μελέτη οδικού τμήματος τόσο μειώνεται ο ανά χιλιόμετρο απαιτούμενος χρόνος μελέτης, σε αντίθεση με την κλασική μέθοδο όπου παραμένει σχεδόν σταθερός.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια είναι διάχυτη στον περιβάλλοντα χώρο μας μια τάση εκμηχανίσεως των παραγωγικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Σιγά σιγά όλο και περισσότεροι ιδιώτες και επιχειρήσεις αυτοματοποιούν τον τρόπο εργασίας τους καταφεύγοντας στις λύσεις που προσφέρει η ανάπτυξη της σύγχρονης τεχνολογίας, με αιχμή του δόρατος την ανάπτυξη της πληροφορικής.

Η επιστήμη του πολιτικού μηχανικού ως φορέας, ανέκαθεν, των τεχνολογικών εξελίξεων ανταποκρίθηκε άμεσα στην πρόκληση - πρόσκληση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και επιχείρησε να τους εντάξει μέσα στον κύκλο των δραστηριοτήτων της και να τους χρησιμοποιήσει ως εργαλείο για την αύξηση της παραγωγικότητας και την ελάττωση της απαιτούμενης ανθρώπινης ενέργειας.

Η οδοποιία ως κλάδος της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού είναι ένα πεδίο όπου το έδαφος ήταν γόνιμο για τη συνεργασία ανθρώπου - υπολογιστή. Αν και όμως αυτή η συνεργασία έχει ήδη διεθνώς μια ιστορία μερικών δεκαετιών, εντούτοις η εφαρμογή της στη χώρα μας βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο και υφίσταται μια σχετική άγνοια σε σημαντικό τμήμα του τεχνικού κόσμου ως προς τις δυνατότητες αλλά και τις απαιτήσεις της εφαρμογής του ηλεκτρονικού υπολογιστή στις μελέτες οδοποιίας. Αυτή η άγνοια που προέρχεται από έλλειψη πληροφόρησης και ίδιας αντίληψης οδηγεί συχνά σε υπερεκτίμηση των προσφερόμενων δυνατοτήτων ή υποεκτίμηση των απαιτούμενων γνώσεων του χρήστη και δρα ως τροχοπέδη σε κάθε προσπάθεια εκσυγχρονισμού.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση των πλεονεκτημάτων που προσδίδει η εισαγωγή της πληροφορικής στο χώρο της οδοποιίας, η επισήμανση των μειονεκτημάτων που συνοδεύουν τη χρησιμοποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η διερεύνηση των αναπόφευκτων δυσχερειών που προκαλούνται κατά τις πρώτες φάσεις της συνεργασίας του ανθρώπου με τον υπολογιστή για την επίτευξη ενός παραγωγικού αποτελέσματος.

Παράλληλα, θα πραγματοποιηθεί μια πρακτική εφαρμογή ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή για μελέτες οδοποιίας πάνω σε πραγματικά δεδομένα ώστε να εξαχθούν αξιόπιστα συμπεράσματα για τις δυνατότητες αυτών των προγραμμάτων, απομυθοποιώντας ενδεχομένως ορισμένες αντιλήψεις για τον τρόπο εργασίας τους και τις απαιτούμενες γνώσεις του χρήστη. Συγχρόνως θα γίνει και μια σύγκριση του κλασικού τρόπου προσέγγισης μιας μελέτης οδοποιίας και της προσέγγισής της μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή ώστε να επισημανθούν και να αξιολογηθούν τα σημεία στα οποία υπερτερεί η κάθε μέθοδος.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

**ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ**

1.1 Ιστορική εξέλιξη

Η οδοποιία είναι ένας κλάδος της επιστήμης του Πολιτικού Μηχανικού που κατά την εφαρμογή της απαιτεί από το μελετητή ένα πολύ καλό μαθηματικό-υπολογιστικό αλλά και σχεδιαστικό υπόβαθρο, όπου σχεδιαστικό υπόβαθρο νοείται τόσο η ικανότητα σχεδίασης όσο και σχεδιασμού. Αυτές οι δύο απαιτήσεις είναι αλληλένδετες και αλληλοσυμπληρούμενες ώστε η τελική ακρίβεια και ορθότητα της μελέτης να είναι ευαίσθητη και ευπαθής στις τυχόν ελλείψεις που θα εμφανισθούν σε οποιοδήποτε από τα δύο αυτά μέρη.

Μία χαρακτηριστική περίπτωση του συνδυασμού του υπολογιστικού και σχεδιαστικού (όσον αφορά την ικανότητα σχεδίασης κυρίως) στοιχείου και ενδεικτική της διευκόλυνσης που μπορεί να φέρει η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι ο υπολογισμός του όγκου των χωματουργικών ενός υπό μελέτη αυτοκινητόδρομου, που αποτελεί το πλέον καθοριστικό στοιχείο για το κόστος κατασκευής του έργου. Η διαδικασία που ακολουθείται σε αυτήν την περίπτωση με τις κλασικές - συμβατικές μεθόδους είναι η εξής: Κατά μήκος του άξονα του δρόμου και με βάση την οριζοντιογραφία του άξονα, τη μηκοτομή, το τοπογραφικό υπόβαθρο και την τυπική διατομή της οδού σχεδιάζονται ανά 20 περίπου μέτρα (σε επίπεδο οριστικής μελέτης) οι εγκάρσιες διατομές που καλύπτουν μία ζώνη εκατέρωθεν του άξονα, εύρους ίσου με το πλάτος απαλλοτριώσεως της οδού. Με βάση, λοιπόν, τις σχεδιασθείσες διατομές γίνεται ο υπολογισμός του όγκου των ορυγμάτων και επιχωμάτων, αφού πρώτα εμβαδομετρηθούν οι διατομές, και στο τέλος συντάσσεται η προμέτρηση και ο προϋπολογισμός του έργου.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό αυτή είναι μία αρκετά επίπονη, χρονοβόρα και κάπως ανιαρή διαδικασία αν φαντασθεί κανείς ότι για 5 μόνο χιλιόμετρα μελέτης θα πρέπει να επαναληφθεί τουλάχιστον για 250 φορές. Αν λοιπόν αυτή η διαδικασία γίνεται με το χέρι κάθε προσπάθεια διερεύνησης εναλλακτικών λύσεων θα είχε

τρομακτικές επιπτώσεις στο τελικό κόστος της μελέτης τόσο από πλευράς χρόνου όσο και ανθρώπινης ενέργειας.

Αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν, γύρω στα τέλη της δεκαετίας του 1950^[6], τους πρωτεργάτες της εισαγωγής της πληροφορικής στο χώρο της οδοποιίας στο να κάνουν χρήση των μεγάλων δυνατοτήτων που έχει ένας υπολογιστής στη διενέργεια επαναληπτικών υπολογιστικών λειτουργιών, δυνατοτήτων εμφανώς ανεκτίμητων σε υπολογιστικές διαδικασίες όπως αυτή που αναφέρθηκε. Τα προγράμματα αυτά ήταν γραμμένα σε γλώσσα FORTRAN με την εισαγωγή των δεδομένων να γίνεται με χρήση διάτρητων καρτών και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων να γίνεται με τη μορφή καταλόγων δεδομένων μέσω εκτυπωτή.

Μέχρι όμως τις αρχές της δεκαετίας του 1970 οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές δεν είχαν χρησιμοποιηθεί παρά μόνο στο υπολογιστικό μέρος μίας μελέτης οδοποιίας αφήνοντας το σχεδιαστικό μέρος παραγνωρισμένο. Με την εξέλιξη όμως των αυτόματων σχεδιογράφων (plotters), η χρήση τους άρχισε σταδιακά να επεκτείνεται και σε αυτόν τον τομέα. Η αρχή, όπως κάθε αρχή, ήταν δύσκολη καθότι ο χρήστης μπορούσε να εποπτεύσει το σχέδιο από τα δεδομένα που εισήγαγε μόνο εκ των υστέρων, αφού του είχε σχεδιασθεί στο σχεδιογράφο, οπότε σε περίπτωση κάποιας παράλειψης ή λάθους στην εισαγωγή των δεδομένων, ή μεταβολής της αρχικής χάραξης, το σχέδιο έπρεπε να επανασχεδιασθεί και έτσι απαιτούνταν αρκετές επαναλήψεις έως ότου παραχθεί η τελική λύση. Αυτή η δυσχέρεια συνεχίσθηκε, παρά το ότι είχαν αναπτυχθεί τα "video display terminals", έως τα μέσα της ίδιας δεκαετίας, οπότε πλέον το σχέδιο μπορούσε να γίνει θεατό από το χρήστη πάνω στην οθόνη του υπολογιστή, προτού παραχθεί από το σχεδιογράφο.

Παρά τη σημαντική πρόοδο που παρατηρήθηκε, ένα σοβαρό μειονέκτημα εξακολουθούσε να υφίσταται: Η αδυναμία επικοινωνίας ανάμεσα στο υπολογιστικό και το γραφικό τμήμα των προγραμμάτων που είχαν εν τω μεταξύ αναπτυχθεί έθετε σοβαρούς περιορισμούς στο χρήστη.

Ήταν, λοιπόν, πρόδηλη η ανάγκη δημιουργίας ενός διαλογικού (interactive) προγράμματος που θα χρησιμοποιούσε τα αποτελέσματα του υπολογιστικού τμήματος ως δεδομένα εισαγωγής για το γραφικό τμήμα και αντιστρόφως.

Δύο επιτεύγματα στον τομέα της πληροφορικής έδρασαν καταλυτικά προς αυτήν την κατεύθυνση, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για τη μετεξέλιξη του τρόπου εργασίας:

- ♦ η δυνατότητα να παρουσιάζονται πάνω στην οθόνη οι συντεταγμένες των στοιχείων ως προς ένα ορισμένο σύστημα αναφοράς
- ♦ η δυνατότητα του χρήστη να δείχνει και να επιλέγει όποια στοιχεία ήθελε πάνω στην οθόνη με την βοήθεια κάποιας συσκευής (όπως ποντίκι, ψηφιοποιητής)

Έχοντας πλέον ξεπεράσει αυτούς τους περιορισμούς έμεναν τρεις παράμετροι που έπρεπε να διαφοροποιηθούν για να μπορέσει να γίνει μαζική η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο στις μελέτες οδοποιίας όσο και στις υπόλοιπες εφαρμογές του μηχανικού που απαιτούν υπολογισμούς και σχέδια. Αυτές ήσαν:

- α. Το κόστος αγοράς του εξοπλισμού (hardware) και του λογισμικού (software)
- β. Η ταχύτητα επεξεργασίας των στοιχείων από τον υπολογιστή
- γ. Η χωρητικότητα του υπολογιστή, δηλαδή η ικανότητά του να επεξεργασθεί μεγάλα και περίπλοκα σχέδια.

Μέχρι το 1985 αυτού του είδους οι μελέτες πραγματοποιούνταν μόνο σε σταθμούς εργασίας (work stations) των οποίων το κόστος αγοράς είναι πολύ μεγάλο¹, οπότε μόνο οι κρατικές υπηρεσίες ή οι πολύ

¹Σε τιμές 1993 ένας 486 προσωπικός υπολογιστής έχει κόστος γύρω στο μισό εκατομμύριο δραχμές ενώ το κόστος ενός σταθμού εργασίας κυμαίνεται από 2 έως 30 εκατομμύρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του.

μεγάλες ιδιωτικές εταιρίες ήσαν σε θέση να τους αποκτήσουν. Με το πέρασμα του χρόνου όμως αυτό το κόστος μειωνόταν και όπως έδειξε μία μελέτη του Transportation Research Board^[6] μεταξύ των ετών 1982 και 1988 παρατηρήθηκε μία ετήσια μείωση του κόστους της τάξης του 10%. Μετά το 1985 όμως έγινε δυνατή η χρήση αυτών των προγραμμάτων και σε προσωπικούς υπολογιστές (personal computers) των οποίων το κόστος ήταν σημαντικά μικρότερο, με επακόλουθο αυτά τα προγράμματα να γίνουν προσιτά σε ευρύτερο κοινό.

Οι προσωπικοί υπολογιστές όμως είχαν και ένα άλλο σοβαρό μειονέκτημα εκείνα τα χρόνια της δεκαετίας του 1980. Ήταν απελπιστικά αργοί, ιδιαίτερα όταν υπήρχε ανάγκη για περίπλοκες αριθμητικές πράξεις ή για σχεδίαση γραφικών στην οθόνη, γεγονός που τους καθιστούσε αντιπαραγωγικούς και τους έθετε σε μειονεκτική θέση όταν συγκρίνονταν με τον κλασικό τρόπο εργασίας. Χάρης όμως στην έλευση της νέας γενιάς των επεξεργαστών 80386 και πρόσφατα των 80486, και οι προσωπικοί υπολογιστές έγιναν γρήγοροι, ευέλικτοι και αποτελεσματικοί σ'αυτού του είδους τις εργασίες και σταδιακά υπερσχύουν και εκτοπίζουν τον κλασικό τρόπο εργασίας.

Το τρίτο σημείο στο οποίο υστερούσαν οι προσωπικοί υπολογιστές έναντι των σταθμών εργασίας ήταν και αυτό που αντιμετωπίσθηκε τελευταίο. Μέχρι ακόμα και τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η χωρητικότητα του σκληρού δίσκου ενός προσωπικού υπολογιστή κυμαινόταν μεταξύ 20-60 MB ενώ η αντίστοιχη ενός σταθμού εργασίας ήταν 300-1200 MB. Σήμερα όμως είναι συνηθισμένο φαινόμενο οι σκληροί δίσκοι να έχουν χωρητικότητα άνω των 200 MB, καθιστώντας και τους προσωπικούς υπολογιστές ικανούς να διαχειρίζονται, σε εύλογο χρονικό διάστημα, μεγάλα σε έκταση προγράμματα, αλλά και να μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλα σε έκταση αρχεία, όπως αυτά που δημιουργούνται κατά την μελέτη ενός αυτοκινητοδρόμου για παράδειγμα.

Εξετάζοντας λοιπόν την πορεία της εξέλιξης και εφαρμογής της πληροφορορικής στο πεδίο δράσης του μηχανικού παρατηρείται ότι η τάση είναι να μειώνεται συνεχώς το κόστος κτήσης του μηχανικού εξοπλισμού και παράλληλα αυτό να συνοδεύεται από μία διαρκή αύξηση των δυνατοτήτων που αυτά προσφέρουν, καθιστώντας έτσι ευχερέστερη τη χρήση τους αφ' ενός μεν από περισσότερους μελετητές και αφ' ετέρου δε σε περισσότερες και περιπλοκότερες εφαρμογές.

1.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογής των συστημάτων CAD

Τα συστήματα σχεδιασμού με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, εφεξής αναφερόμενα ως συστήματα CAD (Computer-Aided Design), αναπτύχθηκαν, όπως προαναφέρθηκε, με κύριο στόχο να απαλλάξουν το μελετητή από ορισμένες εργασίες ρουτίνας. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξής τους, βέβαια, νέες δυνατότητες ανακαλύφθηκαν και νέες εφαρμογές επινοήθηκαν που έκαναν τη χρήση τους πλεονεκτικότερη έναντι της κλασικής χειρωνακτικής μεθόδου. Τα κυριότερα σημεία υπεροχής τους, αρκετά εκ των οποίων, όπως και άλλα στοιχεία θετικά και αρνητικά που θα αναφερθούν σε επόμενα κεφάλαια, δεν είναι γνώρισμα αποκλειστικά της εφαρμογής τους στην οδοποιία, είναι τα εξής:

♦ Ταχύτητα - Αυξημένη παραγωγικότητα

Η δυνατότητα εκπονήσεως παρόμοιων επαναληπτικών εργασιών, όπως το παράδειγμα των χωματοουργικών που προαναφέρθηκε, σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα και με μεγάλη ακρίβεια υπολογισμού είναι το κύριο χαρακτηριστικό που αρχικά καθιέρωσε τα συστήματα CAD. Ορισμένες μελέτες έδειξαν ότι η μέση παραγωγικότητα της χρήσης συστημάτων CAD κυμαινόταν από 2.8:1^[6] έως 3.6:1^[7] σε σχέση με την παραγωγικότητα προ της εισαγωγής των CAD συστημάτων. Ειδικά για τα χωματοουργικά αναφέρεται^[5] μία αύξηση της παραγωγικότητας κατά 8:1 έως 10:1.

♦ Ευχέρεια συγκρίσεως εναλλακτικών λύσεων

Η δυνατότητα της γρήγορης εξέτασης και σύγκρισης των εναλλακτικών λύσεων είναι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα της νέας μεθόδου^[12]. Άν για παράδειγμα επιθυμείται να ερευνηθεί τι επιδράσεις θα έχει στα προκύπτοντα χωματοουργικά μία παράλληλη μεταπόπιση του άξονα του δρόμου ή μία τελείως διαφορετική χάραξη της οριζοντιογραφίας, η διαδικασία είναι σχετικά απλή. Έχοντας καθορίσει την

τυπική διατομή του έργου το μόνο που απαιτείται πλέον είναι να καθορισθούν τα σημεία διέλευσης της μηκοτομής του νέου άξονα και εν συνεχεία το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα τις νέες διατομές δεδομένου ότι ούτε το τοπογραφικό υπόβαθρο μεταβάλλεται ούτε η μορφή της διατομής.

Μία άλλη παρόμοια περίπτωση που αναφέρεται^[8] είναι αυτή όπου ένας μηχανικός είχε την ευχέρεια μέσα σε τρεις ώρες να εξετάσει 50 εναλλακτικές λύσεις διάταξης μίας διασταύρωσης με σκοπό να ελαχιστοποιήσει τις επιδράσεις που θα είχε η ανακατασκευή της. Χωρίς τα συστήματα CAD, λόγω των χρονικών περιορισμών, ο μέγιστος αριθμός εναλλακτικών που θα είχαν ελεχθεί θα ήταν τρεις με τέσσερις.

Αυτή η ευχέρεια προέρχεται επίσης από το γεγονός ότι τα σχέδια τώρα βρίσκονται σε δυναμική μορφή, δηλαδή μεταβάλλεται στιγμιαία η μορφή τους έπειτα από κάποια αλλαγή των δεδομένων, προσδίδοντας έτσι μεγαλύτερη ταχύτητα στην επεξεργασία των εναλλακτικών λύσεων.

Επακόλουθο αυτών είναι ότι τώρα ορισμένες τροποποιήσεις στη χάραξη του έργου μπορούν να γίνουν ακόμα και σε προχωρημένο στάδιο μελέτης και να ενσωματωθούν στο σχέδιο δίχως αυτό να επιφέρει μεγάλη αναστάτωση σε διάφορες "δευτερεύουσες" και εξαρτώμενες μελέτες όπως είναι οι μελέτες αποχέτευσης, φωτισμού και σήμανσης^[11].

♦ Μεγαλύτερη εποπτεία και μειωμένη πιθανότητα σύγχυσης

Με τα συστήματα CAD υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε κλίμακα σχεδίου απαιτείται^[1]. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να εργασθεί στο ίδιο σχέδιο είτε σε πολύ μικρή κλίμακα (1:100.000) είτε σε πολύ μεγάλη (1:1) ανάλογα με το αν βρίσκεται σε αρχικό στάδιο αναγνωριστικής μελέτης ή σε τελικό στάδιο καθορισμού λεπτομερειών στην οριστική μελέτη αντίστοιχα. Αυτό, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα που παρέχει το πρόγραμμα να απομονώνονται από το επίκαιρο σχέδιο οι άσχετες με το τρέχον αντικείμενο σχεδιασμού

πληροφορίες, δίδει στον χρήστη μια πληρέστερη εποπτεία και μειώνει τις πιθανότητες σύγχυσης.

Αυτό συνεπικουρείται ακόμα από την παρουσίαση των διαφορετικών στοιχείων του σχεδίου με διαφορετικά χρώματα^{[1],[2]} και από την ευχέρεια που έχουν ορισμένα σχεδιαστικά προγράμματα να απεικονίζουν το σχέδιο σε τρισδιάστατη μορφή.

Αναφέρεται^[4] η εμπειρία μίας ομάδας μελετητών όπου κατά το σχεδιασμό ενός ανισόπεδου κόμβου, ενώ στη δισδιάστατη απεικόνιση οι ράμπες φαίνονταν να είναι σωστά χωροθετημένες με τις πρέπουσες συναρμογές, κλίσεις και επικλίσεις, στην τρισδιάστατη απεικόνιση αποκαλύφθηκε ότι υπήρχε κάποιο πρόβλημα με το πρυνές μίας εξ'αυτών διότι το πόδι του κατέληγε στο έρεισμα του κύριου δρόμου. Βέβαια αυτό το πρόβλημα θα εντοπιζόταν και αν η μελέτη γινόταν με την κλασική μέθοδο όταν θα σχεδιάζονταν οι διατομές της ράμπας αλλά τότε η μελέτη θα είχε φθάσει σε προχωρημένο στάδιο και θα είχε απωλεσθεί πολύς χρόνος, ενώ στο συγκεκριμένο παράδειγμα απαιτήθηκαν 20 λεπτά για να παραχθεί το τρισδιάστατο μοντέλο και άλλα 30 λεπτά για να διορθωθεί το πρόβλημα.

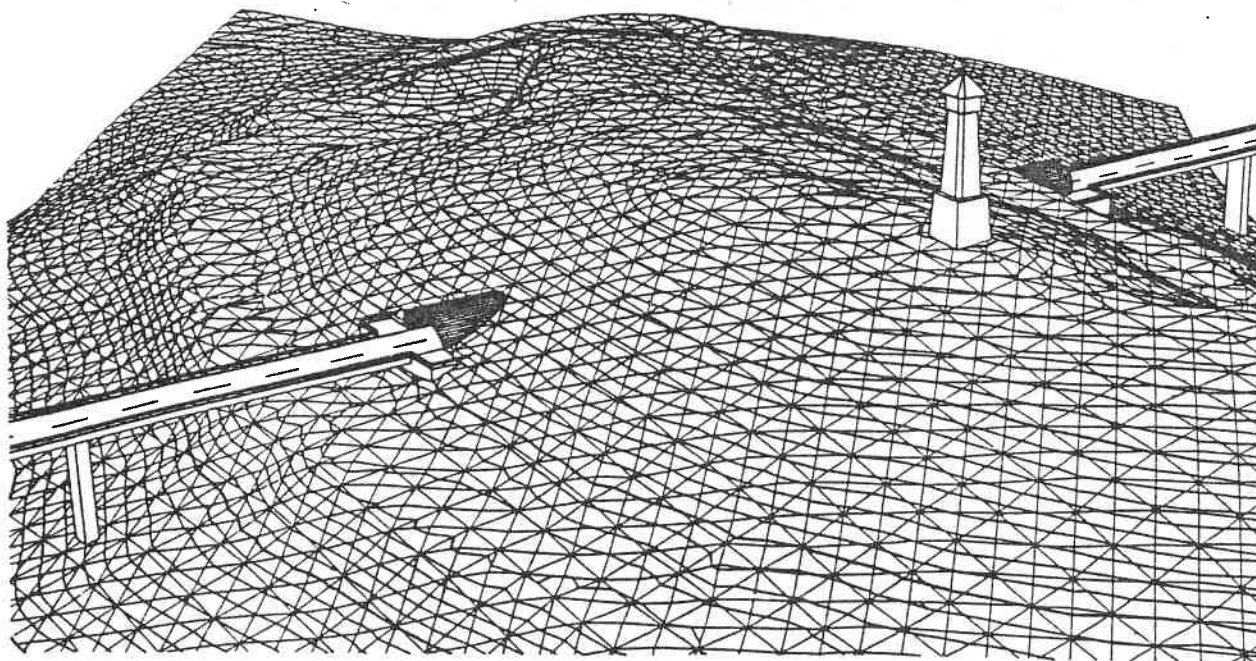
♦ Οπτική παρουσίαση προτάσεων στο ευρύ κοινό

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ορισμένες τεχνικές δημιουργίας εικόνων όπως η επιβολή προοπτικών σχεδίων πάνω σε υπάρχουσες φωτογραφίες ή το "video animation" οι οποίες επιτρέπουν την παρουσίαση σε τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφής που θα έχει το έργο έπειτα από την ολοκλήρωσή του. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στις ακόλουθες δύο περιπτώσεις (Σχ. 1).

— Κατά τις συζητήσεις-διαπραγματεύσεις που γίνονται στο στάδιο της μελέτης μεταξύ των μελετητών και διάφορων ενδιαφερόμενων όπως η τοπική αυτοδιοίκηση, οι ιδιοκτήτες των υπό απαλλοτρίωση εκτάσεων και οι ένοικοι ή χρήστες παραπλεύρως προς την περιοχή κατασκευής του έργου

κτισμάτων^[9], κάθε εναλλακτική πρόταση ή τροποποίηση μίας άλλης μπορεί εύκολα να οπτικοποιηθεί και να εκτιμηθεί, δυνατότητα πολύτιμη όταν μεταξύ των συμμετεχόντων βρίσκονται άτομα που στερούνται τεχνικών γνώσεων και δυσκολεύονται να κατανοήσουν, με την ανάγνωση ορισμένων τεχνικών σχεδίων μόνο, την ακριβή μορφή που θα έχει το έργο^[12].

— Έχοντας αναπαραγάγει το σχέδιο σε τρισδιάστατη μορφή μπορούν πλέον να εκτιμηθούν με μεγαλύτερη άνεση και ακρίβεια, αφήνοντας μικρά περιθώρια στη φαντασία του θεατή, οι αισθητικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει η κατασκευή του έργου και να παρθούν ανάλογα μέτρα για την αντιμετώπισή τους^[10]. Για παράδειγμα η πρόταση κατασκευής ενός αυτοκινητοδρόμου στην περιοχή των Δελφών θα μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί ως προς τις αισθητικές της επιπτώσεις στο Δελφικό τοπίο, τοποθετώντας το έργο μέσα στο τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής.



Σχ. 1. Οπτική παρουσίαση ενός προτεινόμενου οδικού άξονα με τη βοήθεια των συστημάτων CAD.

♦ Αυτοματοποίηση σχεδίασης

Τα συστήματα CAD παρέχουν εύχρηστα σχεδιαστικά εργαλεία τα οποία επιτρέπουν την άνετη και εύκολη εισαγωγή στο σχέδιο τυποποιημένων μορφών αντικειμένων που επαναλαμβάνονται συχνά όπως είναι τα υπομνήματα ή η απεικόνιση δένδρων, στύλων φωτισμού, περιφράξεων και γενικά παρόμοιων απαντούμενων στο φυσικό ανάγλυφο στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μία τυποποίηση των σχεδίων συνδυαζόμενη με μία καλύτερη ποιότητα εμφάνισης.

Επιπροσθέτως ορισμένα προγράμματα προσφέρουν έτοιμη στο χρήστη την τυπική διατομή μέσα από μία βιβλιοθήκη συχνά χρησιμοποιούμενων, για τις διάφορες κατηγορίες οδών, τυπικών διατομών παρέχοντας στο χρήστη τη δυνατότητα της λιγότερης εργασίας και εκπληρώνοντας έτσι την απαίτηση της απλής εφαρμογής καθώς δεν απαιτούν από το χρήστη τη γνώση της γλώσσας εντολών για τον προγραμματισμό της τυπικής διατομής^[14].

♦ Ευελιξία στις διορθώσεις

Αρκετές φορές όταν διορθώνουμε ένα σχέδιο με τις συμβατικές μεθόδους εμφανίζονται τόσες πολλές μουντζούρες και κοκκινάδια πάνω στο αρχικό σχέδιο ώστε να καθίσταται πλέον δυσανάγνωστο. Αυτό συνεπάγεται χάσιμο χρόνου καθότι για ένα τμήμα του σχεδίου όπου υπάρχει ασάφεια πιθανώς να απαιτείται να επανασχεδιασθεί ολόκληρο το σχέδιο, κάτι που δεν είναι και τόσο απλό όταν πραγματοποιείται με το χέρι. Με τα συστήματα CAD όμως ένα σχέδιο που υπάρχει υπό μορφή αρχείου μπορεί εύκολα και γρήγορα να ανακληθεί, να τροποποιηθεί όπου χρειάζεται και στη συνέχεια να αποθηκευθεί ξανά με διαφορετικό όνομα αρχείου αυτή τη φορά, αποφεύγοντας ενίστε τη νέα σχεδίασή του από το σχεδιογράφο. Το αποτέλεσμα είναι ότι θα υπάρχουν διαθέσιμες όλες οι εκδόσεις του σχεδίου, δηλαδή τόσο η αρχική του μορφή όσο και όλες οι τροποποιήσεις του^[18].

1.3 Μειονεκτήματα της εισαγωγής των συστημάτων CAD

Έως τώρα έχουν εξετασθεί οι θετικές επιπτώσεις που έχει η αντικατάσταση των κλασικών μεθόδων υπολογισμού και σχεδιασμού των έργων οδοποιίας από τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αναμφίβολα όμως αυτή η μεταβολή στον τρόπο εργασίας είναι δύσκολο να μη συνοδευθεί και από ορισμένες παρενέργειες, οι κυριότερες από τις οποίες, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία αλλά και από τις παρατηρήσεις του γράφοντος, είναι οι εξής:

♦ Έλλειψη πρακτικής εμπειρίας των χρηστών

Είναι διαπιστωμένο ότι αυτές οι νέες εφαρμογές της σύγχρονης τεχνολογίας στην επιστήμη του πολιτικού μηχανικού έλκουν περισσότερο τους νεαρότερους σε ηλικία μηχανικούς απ'ότι τους κάπως μεγαλύτερους στα χρόνια αλλά με περισσότερη εμπειρία συναδέλφους τους. Έτσι είναι αναμενόμενο ότι με τα συστήματα CAD θα ασχοληθούν, ως επί το πλείστον, μηχανικοί άριστα μεν καταρτισμένοι πάνω σε ζητήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών αλλά με ελάχιστη πρακτική και σχεδιαστική εμπειρία πάνω στο καθ'εαυτό αντικείμενο της εργασίας τους. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι τα προγράμματα οδοποιίας απαιτούν από το χρήστη μια βαθειά γνώση του αντικειμένου της οδοποιίας, διότι όταν αυτή η γνώση είναι ατελής μπορεί η προκύπτουσα τελική ποιότητα της εργασίας να είναι, ενδεχομένως, υποβαθμισμένη, όχι τόσο από πλευράς παρουσίασης όσο από πλευράς ουσίας.

♦ Αίσθηση αποξένωσης του χρήστη από το σχέδιο

Παλαιότερα ο έλεγχος των σχεδίων μπορούσε να γίνει ανά πάσα στιγμή όταν αυτά ήταν ακόμα εν εξελίξει. Τα σχέδια είχαν μια υλική υπόσταση, ήταν κάτι το χειροπιαστό. Σήμερα αυτή η άμεση επαφή που υπήρχε χάνεται και το αποτέλεσμα δεν είναι άμεσα αντιληπτό καθόσον η θέαση των σχεδίων γίνεται αρχικά μέσω της οθόνης. Έτσι αναγκαστικά οι έλεγχοι και

οι διορθώσεις γίνονται περιοδικά καθώς η παραγωγή ενός σχεδίου στον αυτόματο σχεδιογράφο είναι μία διαδικασία χρονοβόρα και δαπανηρή, δημιουργώντας έτσι μια δυσφορία στα άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Επίσης με την όλη διαδικασία αυτοματοποίησης της σχεδίασης κάπου χάνεται η "προσωπικότητα" του σχεδίου. Όλα τα σχέδια μοιάζουν πλέον ίδια, ενώ στο παρελθόν ήταν διακριτή η προσωπική γραμμή του κάθε σχεδιαστή που δημιουργούσε μία σχέση επικοινωνίας του ανθρώπου με το σχέδιο.

♦ Ταχύτατη απαξίωση

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της πληροφορικής έχει παρατηρηθεί ότι μέχρι σήμερα όλα τα συστήματα CAD καθίστανται πάρα πολύ γρήγορα, συχνά ακόμα και κατά την ώρα της αγοράς τους, τεχνολογικά απηρχαιωμένα. Εντούτοις αυτά τα συστήματα δεν καθίστανται, θεωρητικά τουλάχιστον, ποτέ λειτουργικά απηρχαιωμένα υπό τον όρο βέβαια ότι θα υπάρχει συνεχής συντήρηση και αντικατάσταση του εξοπλισμού που απαιτείται. Πάντως όπως έχει δείξει η μέχρι σήμερα εμπειρία τα συστήματα CAD έχουν μία περίοδο σχεδιασμού που με δυσκολία υπερβαίνει τα 3 χρόνια^[3].

♦ Ενδεχόμενη αλλαγή των εργασιακών σχέσεων

Έως τώρα η διαδικασία ήταν ότι ο παλαιότερος, ο κάτοχος της τέχνης ή της επιστήμης μάθαινε στο νεώτερο, το μαθητευόμενο, τα μυστικά του επαγγέλματος. Με την έλευση των συστημάτων CAD όμως οι ρόλοι έχουν αντιστραφεί και θα μπορούσε να λεχθεί ότι ο "μαθητευόμενος", ο φορέας των τεχνολογικών εξελίξεων, είναι αυτός που σε ορισμένες περιπτώσεις καθοδηγεί τον παλαιότερό του συνάδελφο. Ουσιαστικά δημιουργείται ένα παραεπάγγελμα, αυτό του χειριστή συστημάτων CAD^[3], η δημιουργία του οποίου πιθανώς να προκαλεί δυσχέρειες στην εύρυθμη λειτουργία μιας επιχείρησης.

♦ Παρενέργειες στην ανθρώπινη συμπεριφορά και υγεία

Η πολύωρη απασχόληση μπροστά από την οθόνη του υπολογιστή είναι μια επίπονη εργασία που σε πολλά άτομα προκαλεί πονοκέφαλο, τσούξιμο στα μάτια και άλλες παρενέργειες λόγω της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η τοποθέτηση ειδικών φίλτρων μπροστά από την οθόνη κάπως περιορίζει τα παρατηρούμενα συμπτώματα αλλά οπωσδήποτε η απόδοση του χρήστη έπειτα από παρατεταμένη εργασία πάνω στον υπολογιστή είναι αναμενόμενο να εμφανίζει πτωτικές τάσεις.

Σχετικό με αυτά είναι και η άποψη αρκετών ανθρώπων, κοινωνιολόγων και όχι μόνο, ότι η εργασία που σχετίζεται αποκλειστικά με υπολογιστές απομονώνει τα άτομα, περιορίζει την κοινωνικότητά τους και υποβαθμίζει την ποιότητα ζωής τους.

1.4 Δυσχέρειες κατά την εφαρμογή των συστημάτων CAD

Όπως για κάθε καινοτομία έτσι και για τα συστήματα CAD είναι αναμενόμενο ότι κατά τις πρώτες φάσεις της εισαγωγής τους θα πρέπει να αντιμετωπισθούν ορισμένες δυσκολίες και ενδεχομένως αντιξοότητες έως ότου γίνει αυτονόητη η χρήση τους στις μελέτες. Οι κυριώτερες δυσχέρειες που συναντώνται, όπως προκύπτουν από βιβλιογραφικές παρατηρήσεις αλλά και από την ίδια αντίληψη του γράφοντος είναι οι εξής:

♦ Αντίδραση και απροθυμία από το υπάρχον προσωπικό

Οι μελετητές και οι σχεδιαστές οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι με τη σύγχρονη τεχνολογία πιθανώς θα θεωρούν τα καινούργια συστήματα ως επικίνδυνα για το μέλλον της επαγγελματικής τους απασχόλησης. Αυτού του είδους οι φόβοι, που είναι μερικώς δικαιολογημένοι από την αίσθηση που θα νιώθουν πως ό,τι μάθαιναν και εφαρμόζαν σε όλη τους τη ζωή φαίνεται πλέον άχρηστο, είναι δυνατόν, όταν υιοθετηθούν από ένα ισχυρό επαγγελματικό συνδικάτο κάποιας μεγάλης εταιρίας ή κρατικής υπηρεσίας, να καθυστερήσουν ή ακόμα και να αποτρέψουν την εφαρμογή τέτοιου είδους συστημάτων.

♦ Αδυναμία να εξασφαλισθεί διοικητική υποστήριξη - Ανεπαρκής εκπαίδευση του προσωπικού

Συνήθως η απόφαση για την εφαρμογή των συστημάτων CAD δεν είναι αυστηρά τεχνική αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική τους ανταποδοτικότητα. Έτσι είναι αναμενόμενο να παρατηρηθεί μία επιφυλακτικότητα από τους οικονομικά υπευθύνους της επιχείρησης διότι τα συστήματα CAD απαιτούν μία αρκετά σημαντική επένδυση κεφαλαίων, χρόνου και ανθρώπινης ενέργειας, και συγχρόνως παρουσιάζουν πολύ αργούς αρχικούς ρυθμούς απόδοσης. Ο λόγος γι αυτήν τη χαμηλή τους βραχυπρόθεσμη απόδοση έγκειται στο γεγονός ότι

χρειάζεται μία αρχική περίοδος (σε έρευνα^[6] που διεξήχθη στις Η.Π.Α. βρέθηκε ότι η μέση διάρκειά της ήταν 4,8 μήνες) για να φθάσουν οι καινούργιοι χρήστες, έπειτα από συνεχή και ολοκληρωμένη εκπαίδευση, σε ικανοποιητικά επίπεδα παραγωγικότητας. Δυστυχώς αρκετές φορές δεν δίδεται η απαιτούμενη βαρύτητα στην εκπαίδευση του προσωπικού η οποία, όταν είναι ατελής, εκ των πραγμάτων δε μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του συστήματος. Είναι επίσης πρόδηλο ότι σε αυτήν την περίοδο το νέο σύστημα υπολειτουργεί ενώ συγχρόνως οι εκπαιδευόμενοι χρήστες, που συνήθως απασχολούνταν και πριν στην επιχείρηση, δεν συμμετέχουν σε καμιά άλλη παραγωγική δραστηριότητα. Με αυτά τα δεδομένα ένας μη τεχνοκράτης διοικητικός υπεύθυνος με στενά οικονομικά κριτήρια υπ' όψη του και ελλιπή πληροφόρηση σχετικά με τις προσφερόμενες μακροπρόθεσμες δυνατότητες, δύσκολα δίνει την συγκατάθεσή του για την εφαρμογή αυτών των νέων συστημάτων.

♦ **Αδυναμία να καθορισθούν εύλογοι στόχοι.**

Σε πολλούς έχει δημιουργηθεί η εντύπωση ότι ο υπολογιστής είναι ένα εργαλείο που μπορεί να κάνει τα πάντα σε απειροελάχιστο χρόνο, σαν ένα μαγικό ραβδί. Πράγματι διαθέτει τρομακτικές, σε σχέση με τα ανθρώπινα όρια, δυνατότητες αλλά υπάρχουν ορισμένοι χρονικοί περιορισμοί, που δεν είναι δυνατόν να μειωθούν, για την επίτευξη ενός παραγωγικού αποτελέσματος. Αυτή η νοοτροπία που υπάρχει και στους διοικητικούς αλλά και στους άπειρους χρήστες δημιουργεί ένα άγχος και μία ανυπομονησία κατά τα πρώτα στάδια της εφαρμογής των συστημάτων CAD με κίνδυνο ορισμένες φορές να χαρακτηριστεί η επένδυση ως αποτυχημένη ακριβώς διότι δεν δόθηκε η απαιτούμενη αρχική περίοδος προσαρμογής.

♦ Περιορισμένη χρήση των δυνατοτήτων

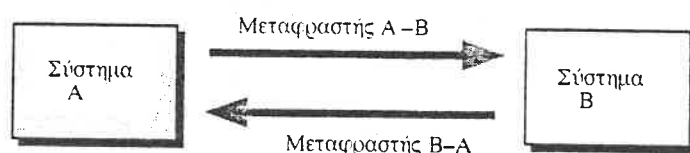
Η βασική εκμάθηση των συστημάτων CAD είναι μία όχι ιδιαίτερα δύσκολη αποστολή, ιδιαίτερα για κάποιον που είναι ήδη εξοικειωμένος με άλλα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, διότι η σύλληψη αυτών των συστημάτων είναι σε γενικές γραμμές απλή και ακολουθείται εν γένει μία λογική ακολουθία εργασιών ανάλογη των εργασιών που γίνονται με τον κλασικό τρόπο εργασίας. Ενώ όμως η εκμάθηση των βασικών λειτουργιών και εντολών είναι εύκολη, η απόκτηση πλήρους ελέγχου και ο συντονισμός τους για να παραχθεί ένα σύνθετο αποτέλεσμα είναι μία αρκετά απαιτητική εργασία βελτιστοποιήσεως που καλείται να φέρει εις πέρας ο χρήστης και η οποία απαιτεί οξυδέρκεια, φαντασία, συνθετική ικανότητα, εξάσκηση, γνώση των επί μέρους εντολών και πάνω απ'όλα άριστη επιστημονική κατάρτιση πάνω στο αντικείμενο στο οποίο εργάζεται (στην περίπτωσή μας η οδοποιία), συνδυασμός ικανοτήτων που γενικά μικρό ποσοστό ατόμων διαθέτει, εξ'αιτίας ίσως της σχετικά περιορισμένης έως σήμερα διαδόσεως αυτών των συστημάτων.

♦ Προβλήματα κατά την ανταλλαγή δεδομένων.

Λόγω του ότι έχουν αναπτυχθεί παρόμοια συστήματα από αρκετές εταιρίες λογισμικού, υπάρχουν αυτήν τη στιγμή στην αγορά πάμπολλες μορφές αρχείων δεδομένων (data formats) με αποτέλεσμα, αν υπάρχει συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ομάδων (π.χ. μελετητών και επιβλέπουσας υπηρεσίας) που χρησιμοποιούν διαφορετικές μορφές δεδομένων, να δημιουργείται σύγχυση και σπατάλη χρόνου και χρήματος κατά την μετατροπή της μίας μορφής στην άλλη. Αναφέρεται^[13] το παράδειγμα του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (U.S. Army Corps of Engineers) όπου τρεις διαφορετικές υπηρεσίες του ξεκίνησαν περίπου συγχρόνως την παραγωγή τοπογραφικών χαρτών με χρήση συστημάτων CAD. Επειδή όμως αυτές οι εργασίες προχωρούσαν ανεξάρτητα η μία της άλλης όταν έφθασε η στιγμή όπου έπρεπε να συνεργαστούν οι

υπηρεσίες και να μοιραστούν τις εμπειρίες τους διαπιστώθηκε ότι η ανταλλαγή δεδομένων ήταν αδύνατη καθότι είχαν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές μορφές αρχείων δεδομένων και δεν υπήρχε αναπτυγμένη τεχνολογία για την ανταλλαγή των συγκεκριμένων δεδομένων. Αποτέλεσμα ήταν ότι εκ των υστέρων αναγκάστηκε το Σώμα Μηχανικών να επενδύσει ένα ποσό της τάξης των \$315.000 σε τιμές 1990 για την καθιέρωση μίας ενοποιημένης μορφής αρχείων δεδομένων που θα χρησιμοποιείτο εις το εξής από όλες τις υπηρεσίες του και θα μπορούσε να συνεργασθεί με τις έως τότε αναπτυχθείσες μορφές αρχείων δεδομένων.

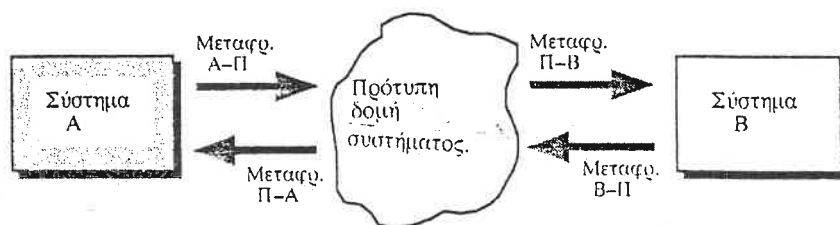
Όπως λοιπόν αναφέραμε για να ανταλλάγουν δεδομένα ανάμεσα σε δύο μη συμβατές μεταξύ τους μορφές αρχείων δεδομένων είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιου ειδικού λογισμικού. Πρόκειται για κάποιο "μεταφραστή" που σκοπό έχει να "μεταφράσει" τη δομή της μίας μορφής στην άλλη. Έστω λοιπόν ότι έχουμε δύο μορφές αρχείων δεδομένων, δύο συστήματα Α και Β γενικά. Τότε για την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στα συστήματα Α και Β απαιτούνται δύο μεταφραστές (Σχ. 2). Γενικότερα για την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε n συστήματα, απαιτούνται $n(n-1)$ τέτοιου είδους μεταφραστές.



Σχ. 2 Ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα συστήματα Α και Β. (Πηγή [17])

Αν υποθέσουμε τώρα ότι υιοθετούμε ορισμένες προδιαγραφές όσον αφορά μία πρότυπη δομή μίας μορφής αρχείων δεδομένων. Όπως φαίνεται στο Σχ.3 για να ανταλλάγει η ίδια πληροφορία

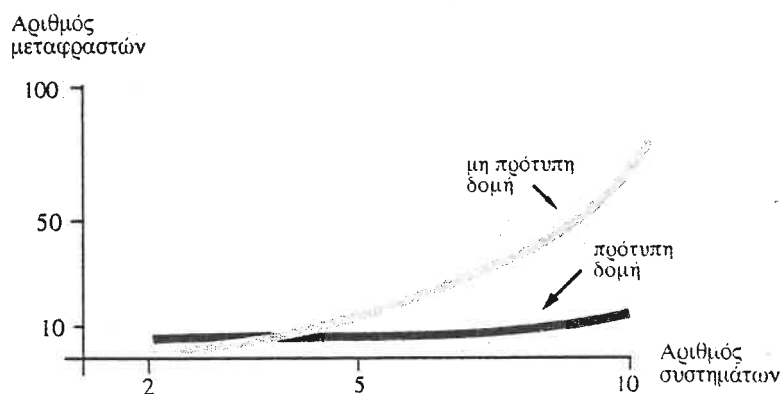
μέσω της πρότυπης αυτής δομής, απαιτούνται δύο μεταφραστές για κάθε σύστημα.



Σχ. 3 Ανταλλαγή πληροφορίας μέσω μίας πρότυπης δομής μορφής αρχείων δεδομένων. (Πηγή [17])

Δηλαδή για n συστήματα απαιτούνται $2n$ τέτοιοι μεταφραστές.

Η ιδέα της πρότυπης δομής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν είναι αναγκαία η ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε μεγάλο αριθμό συστημάτων. Όπως φαίνεται και από το Σχ.4 για 10 συστήματα απαιτούνται 90 μεταφραστές, ενώ χρειάζονται μόνο 20 αν χρησιμοποιηθεί μία πρότυπη δομή ως ενδιάμεσος σύνδεσμος.



Σχ. 4 Μείωση αριθμού μεταφραστών με τη χρήση μίας πρότυπης δομής. (Πηγή [17])

Είναι λοιπόν προφανές ότι θα πρέπει γενικά να καθιερωθεί μια ενιαία μορφή δεδομένων ή τουλάχιστον να χρησιμοποιούνται δεδομένα αποθηκευμένα σε μια πρότυπη ουδέτερη μορφή (neutral formats) τα οποία είναι αναγνωρίσιμα από όλα τα συστήματα CAD. Τέτοια ευρέως χρησιμοποιήσιμα στις Η.Π.Α. είναι τα εξής^[6]:

- Intergraph Standard Interchange Format (ISIF)
- AutoCAD Drawing Exchange Format (DXF)
- Initial Graphics Exchange Specification (IGES)
- United States Geological Survey Line Graph (DLG)

♦ Απόκλιση από τη φυσική πορεία εργασιών

Ως φυσικότητα ενός συστήματος CAD ορίζεται η εγγύτητα με την οποία το σύστημα ακολουθεί τη χειρωνακτική δραστηριότητα^[18]. Ένας λόγος για τον οποίο οι χρήστες δυσκολεύονται να προσαρμοσθούν στον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος είναι ότι απαιτείται η αλλαγή των εργασιακών τους συνηθειών.

Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό θα δοθεί ένα παράδειγμα. Έστω ότι θέλουμε να ορίσουμε στην οθόνη του υπολογιστή έναν κύκλο. Αν για τον ορισμό του, το σύστημα απαιτεί να δοθεί το κέντρο του και η ακτίνα του, τότε η διαδικασία είναι συμβατή με τη διαδικασία που θα ακολουθείτο και αν ο κύκλος σχεδιαζόταν από τον άνθρωπο με γεωμετρικά όργανα και ο χρήστης προσαρμόζεται εύκολα σε αυτήν.

Αν όμως για τον ορισμό του το σύστημα απαιτούσε να ορισθούν 3 σημεία υποχρεωτικής διέλευσης του κύκλου, τότε ναι μεν αυτή η διαδικασία είναι μαθηματικώς σωστή με βάση την ευκλείδεια γεωμετρία αλλά δεν παύει να είναι κάπως ξένη προς τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης και σχεδίασης και κατά συνέπεια θα συναντήσει την αντίδραση του χρήστη.

Χονδρικά όσο μικρότερη είναι η απαίτηση για τέτοιου είδους αλλαγές στη φυσική πορεία εργασιών τόσο μεγαλύτερη η αποδοχή του συστήματος.

Η φυσικότητα ενός συστήματος είναι άμεσα συνδεδεμένη και με την παραγωγικότητα και δημιουργικότητα του χρήστη. Αν επιχειρηθεί να επιβληθεί ένας τρόπος εργασίας που θα φαίνεται αφύσικος και ξένος στα μάτια του χρήστη, τότε είναι σίγουρο ότι θα παρατηρηθούν σοβαροί περιορισμοί στην παραγωγικότητα και δημιουργικότητά του.

1.5 Ανακεφαλαίωση - Σχόλια

Ανακεφαλαιώνοντας όσα έχουν αναφερθεί μπορεί να υποστηριχθεί ότι η προσαρμογή ενός συστήματος CAD στον τρόπο εργασίας μιας επιχείρησης είναι μία αρκετά μεγάλη επένδυση που έχει και τις εξής δύο ιδιαιτερότητες:

- I. Εμφανίζει μία πολύ γρήγορη τεχνολογική απαξίωση.
- II. Έχει μία αρχική νεκρή περίοδο όπου η παραγωγικότητά της βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Με βάση αυτά, ο ρόλος των διοικητικών υπευθύνων του συστήματος είναι κρίσιμος καθότι θα πρέπει να πετύχουν μέσα στο διάστημα που μεσολαβεί από το τέλος της νεκρής περιόδου έως την αρχή της τεχνολογικής του απαξίωσης μία όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, (εάν είναι δυνατόν ολοκληρωτική) απόσβεση. Έτσι θα πρέπει να επιδιωχθεί η συνεχής χρήση αυτών των συστημάτων. Θα μπορούσε να λεχθεί ότι θα αντιμετωπίσουν μία κατάσταση ανάλογη αυτής που αντιμετωπίζουν οι αεροπορικές εταιρείες όπου για να επιτύχουν γρήγορη απόσβεση των αεροσκαφών τους φροντίζουν να τα έχουν όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο εν πτήσει. Γι αυτό το λόγο η προσοχή της διοίκησης θα πρέπει να στραφεί στα εξής σημεία:

i) Ανάλυση απαιτήσεων

Θα πρέπει αρχικά να γίνει μία ανάλυση κόστους-ωφελειών (cost-benefit analysis) όπου θα εξετάζεται το κόστος λειτουργίας της επιχείρησης πριν την εφαρμογή των νέων συστημάτων, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και λειτουργίας των νέων συστημάτων και τα οφέλη που θα προκύψουν από τη χρήση των συστημάτων CAD.

Κατά την εκτίμηση του κόστους απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και πολύ καλή γνώση των αναγκών ώστε να προβλεφθούν και να συμπεριληφθούν σε αυτήν την ανάλυση όλα τα εξαρτήματα που θα αποκτηθούν. Διότι παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της

υποεκτίμησης των αναγκών με αποτέλεσμα, εκ των υστέρων, να απαιτούνται και νέες προμήθειες που δεν είχαν προβλεφθεί, και οι οποίες νέες προμήθειες έχουν άλλες παρεπόμενες προμήθειες με τελικό αποτέλεσμα ένα φαύλο κύκλο που θέτει τον προϋπολογισμό σε δοκιμασία. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η προμήθεια ενός ψηφιοποιητή μικρών διαστάσεων (π.χ. A4) τη στιγμή που οι απαιτήσεις είναι για ένα μεγαλύτερο (π.χ. A0), ο οποίος δημιουργεί την ανάγκη εξεύρεσης χώρου για την εγκατάστασή του, ο οποίος νέος χώρος απαιτεί κάποια διαμόρφωση και ούτω καθεξής.

Ως οφέλη επίσης νοούνται όχι μόνο τα άμεσα οικονομικά αλλά και τα μη οικονομικά όπως είναι η τυποποιημένη και ποιοτικώς καλύτερη εμφάνιση των σχεδίων ή το αυξημένο κύρος που θα απολαμβάνει η εταιρία καθότι, όσο κι αν ακούγεται παράξενα, η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας και των καινοτομιών της παρέχει αυξημένο γόητρο και είναι δείγμα ατόμων που επιζητούν την πρόοδο^[18].

Έτσι αν και μόνο αν αυτή η ανάλυση αποδείξει βιώσιμη την επένδυση θα πρέπει να γίνει η εισαγωγή των συστημάτων CAD. Επίσης σ'αυτήν την ανάλυση θα πρέπει να καθορισθούν και οι τομείς εργασίας στους οποίους θα εφαρμοσθούν τα συστήματα CAD ώστε να χρησιμοποιούνται εκεί ακριβώς όπου η παραγωγικότητά τους είναι σαφώς μεγαλύτερη και όχι σε απλές εφαρμογές όπου το ζητούμενο λαμβάνεται στον ίδιο περίπου χρόνο σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους αλλά με πολύ μεγαλύτερο κόστος. Είναι πολύ πιθανό αυτή η ανάλυση να δείξει ότι ένας συνδυασμός των συμβατικών μεθόδων και των συστημάτων CAD έχει μεγαλύτερη παραγωγικότητα απ'ότι καθένα χωριστά. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η παραγωγή των σχεδίων όπου ενδεχομένως ναδειχθεί ότι συμφέρει καλύτερα να σχεδιάζεται το μεγαλύτερο μέρος του σχεδίου από το σχεδιογράφο, ενώ για τη σχεδίαση των λεπτομερειών η χρήση του ανθρώπινου δυναμικού να είναι πιο ενδεδειγμένη από πλευράς ταχύτητας.

ii) Εκλογή και εκπαίδευση του προσωπικού

Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι καθοριστικός για την επιτυχία του συστήματος. Όσο ευρείες δυνατότητες κι αν έχει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής δεν παύει να είναι ένα άψυχο εργαλείο το οποίο χρειάζεται έμπυχη καθοδήγηση. Λόγω άγνοιας κυρίως, είναι διαδεδομένη σε κάποιο βαθμό η αντίληψη ότι ο υπολογιστής θα επιλέξει και θα υπολογίσει τη βέλτιστη λύση από μόνος του, χωρίς καμία έξωθεν βοήθεια. Στην πραγματικότητα η κρίση μηχανικού είναι αυτή που θα κάνει το σύστημα CAD να ξεχωρίσει και να διαπρέψει. Συνεπώς η εκλογή των ατόμων που θα στελεχώσουν το νέο σύστημα θα πρέπει να είναι προσεκτική και κριτήριο για την επιλογή τους θα πρέπει να είναι όχι μόνο η έφεσή τους προς την πληροφορική αλλά και κυρίως οι ικανότητες και οι γνώσεις τους σε θέματα οδοποιίας. Η εκπαίδευση δε που θα τους δοθεί πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αρτιότερη και εντατικότερη^[8] ώστε η "καμπύλη μάθησής"^[6] τους να αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς με αποτέλεσμα η πρώτη "νεκρή περίοδος" να συρρικνώνεται και η παραγωγική περίοδος του συστήματος να επεκτείνεται.

Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι η εκπαίδευση του προσωπικού να γίνεται πριν από την παραλαβή του συστήματος CAD, ώστε μόλις αυτό εγκατασταθεί όλα να είναι έτοιμα για να λειτουργήσει. Βέβαια και πάλι οι εκπαιδευόμενοι δεν θα συμμετέχουν σε καμία άμεση παραγωγική διαδικασία, κάτι που είναι ούτως ή άλλως όμως αναπόφευκτο, αλλά τουλάχιστον ελαχιστοποιείται η πρώτη "νεκρή περίοδος" του συστήματος. Εξάλλου μπορεί οι επικείμενοι χρήστες να μην παράγουν έργο κατά την εκπαίδευσή τους αλλά αυτή η κατάσταση θα πρέπει να θεωρηθεί ως μία επένδυση η οποία γρήγορα θα αποδώσει καρπούς.

Γενικά πάντως θα ήταν χρήσιμο αν μπορούσε αυτή η εκπαίδευση, στα βασικά της τμήματα τουλάχιστον, να επεκτεινόταν και στα υπόλοιπα άτομα που σχετίζονται, ακόμα κι αν όχι άμεσα, με το σύστημα, όπως για παράδειγμα ο

διοικητικά υπεύθυνος μηχανικός. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μία καλύτερη συνεργασία και κατανόηση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν.

Από τη σύγκριση των πλεονεκτημάτων από τη μια πλευρά και των μειονεκτημάτων και δυσχερειών από την άλλη, που εμφανίζει η χρήση των συστημάτων CAD στην οδοποιία προκύπτει το συμπέρασμα ότι για μια μακροπρόθεσμη περίοδο σχεδιασμού τα πλεονεκτήματα και τα απορρέοντα οφέλη σαφώς υπερिशύουν. Τα αρχικά κεφάλαια που θα πρέπει να δαπανηθούν, ο κίνδυνος της τεχνολογικής απαξίωσης και η υπολειτουργία του συστήματος για ένα αρχικό μεταβατικό διάστημα προσαρμογής και εκμάθησης αντισταθμίζονται από την επίτευξη αυξημένης ταχύτητας εργασίας, μεγαλύτερης παραγωγικότητας και καλύτερης ποιότητας των παραγόμενων σχεδίων. Εξάλλου το επιχείρημα της ταχύτατης απαξίωσης μπορεί να αντικρουσθεί από το γεγονός ότι είναι προτιμότερο να έχεις ένα σχετικά απηρχαιωμένο σύστημα από το να το στερείσαι παντελώς.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

2.1 Γενικά

Επόμενος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περαιτέρω διερεύνηση, σε συνδυασμό με την επίτευξη μίας καλύτερης και πληρέστερης κατανόησης, των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα συστήματα CAD σε σχέση με τις κλασικές - συμβατικές μεθόδους αλλά και των δυσκολιών που πρόκειται να συναντηθούν κατά την εφαρμογή αυτών των συστημάτων από ιδιώτες και υπηρεσίες που δεν έχουν ασχοληθεί στο παρελθόν με παρόμοια συστήματα.

Παράλληλα θα διερευνηθεί η σχετική ακρίβεια της μεθόδου των υπολογιστών και θα χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητές τους για την εξέταση της επίδρασης ορισμένων παραγόντων, όπως οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών, στα αποτελέσματα των χωματισμών.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένα απόσπασμα μίας υπάρχουσας μελέτης οδικού άξονα που είχε πραγματοποιηθεί με τον παραδοσιακό-χειρωνακτικό τρόπο και στη συνέχεια εκπονήθηκε, το ίδιο τμήμα μελέτης, με τη βοήθεια ενός συστήματος CAD ούτως ώστε να γίνει μία αντικειμενική σύγκριση των δύο μεθόδων με βάση τα ίδια δεδομένα αναφοράς, αλλά και να αποκαλυφθούν τυχόν πτυχές του προβλήματος που δεν αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη ήταν της γερμανικής εταιρίας A.K.G.¹ και το οποίο είναι ευρύτερα γνωστό με την ονομασία VESTRA, η οποία ονομασία προέρχεται από τα αρχικά των δύο ενοποιημένων προγραμμάτων που το αποτελούν, των VErbund και STRaps. Το σύστημα αυτό^[15] είναι ένα ολοκληρωμένο πακέτο προγραμμάτων που επεξεργάζεται και διαχειρίζεται στοιχεία οδικών

¹ Τα πλήρη στοιχεία της εταιρίας είναι :
AKG - Software Consulting GmbH
7801 Ballrechten - Dottingen
Franz - Heß - Str. 6
Germany

(και σιδηροδρομικών επίσης) έργων με βάση τη διαλογική σχέση ανθρώπου-μηχανής. Η ανάπτυξη του συστήματος έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε προσωπικούς υπολογιστές αυτόνομα, με εντολές που εκτελούνται μέσω καταλόγων επιλογής (menu) και παραθύρων επιλογής. Οι βασικές απαιτήσεις σε εξοπλισμό (hardware) είναι οι εξής:

- ★ 1 επεξεργαστής 80386 ή μεγαλύτερος.
- ★ 1 σκληρός δίσκος χωρητικότητας τουλάχιστον 20MB.
- ★ 1 μνήμη RAM 8MB
- ★ 1 κάρτα γραφικών EGA/VGA για έγχρωμη οθόνη.
- ★ 1 έγχρωμη οθόνη γραφικών με διακριτικότητα τουλάχιστον 350/640.
- ★ 1 μαθηματικός συνεπεξεργαστής 80287 ή 80387.
- ★ 1 μηχανισμός εύκαμπτου δίσκου (floppy disk drive).
- ★ 1 λειτουργικό σύστημα DOS εκδόσεως 3.0 ή μεγαλύτερης².
- ★ 1 οποιοδήποτε σχεδιογράφος.

Οι απαιτήσεις στους χρήστες περιορίζονται αποκλειστικά και μόνο στις εξειδικευμένες γνώσεις του αντικειμένου της οδοποιίας και δεν προϋποτίθενται ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού, εκτός της περίπτωσης του ορισμού της τυπικής διατομής, η οποία θα εξετασθεί αναλυτικότερα στη συνέχεια. Η καλή γνώση λοιπόν των αρχών της οδοποιίας είναι αναγκαία αλλά όχι και τελείως ικανή συνθήκη για τη λειτουργία του προγράμματος, καθότι στοιχειώδεις γνώσεις σε θέματα υπολογιστών είναι επίσης απαραίτητες.

Η επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος έγινε διότι είναι από τα πλέον σύγχρονα παγκοσμίως, είναι νεοεισαχθέν στην ελληνική πραγματικότητα καθότι πρόσφατα μόλις εγκαταστάθηκε στο Εργαστήριο

² Όπως διαπιστώθηκε στην πράξη αυτή η παρατήρηση μπορεί να οδηγήσει σε περιπέτειες, καθότι η πρόσφατη έκδοση MS-DOS 6.0 είναι ασύμβατη με την τρέχουσα έκδοση του VESTRA με αποτέλεσμα το σύστημα να "κρεμάει". Γι αυτό συνιστάται προ της εισαγωγής μίας καινούργιας έκδοσης λειτουργικού να ενημερώνεται η κατασκευάστρια εταιρία του λογισμικού.

Οδοποιίας του Ε.Μ.Π. και στη Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. και συνεπώς καθότι σχετικά αδοκίμαστο και άγνωστο στους έλληνες μηχανικούς κινούσε το ενδιαφέρον να δοκιμασθεί στην πράξη.

Πρέπει να τονισθεί ότι αρκετά από τα χαρακτηριστικά του VESTRA που θα αναφερθούν δεν αποτελούν αποκλειστικό γνώρισμα του συγκεκριμένου προγράμματος αλλά απαντώνται, με ορισμένες διαφοροποιήσεις βέβαια, και σε άλλα ολοκληρωμένα προγράμματα οδοποιίας. Αναμφίβολα το κάθε πρόγραμμα διαθέτει μια ιδιαίτερη μορφή στη δομή και οργάνωσή του αλλά η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται διέπεται από τις ίδιες αρχές.

Στα επόμενα κεφάλαια θα ακολουθήσει μια παρουσίαση των δυνατοτήτων του συγκεκριμένου προγράμματος η οποία θα έχει μια κάπως απλουστευμένη μορφή, αποφεύγοντας την εμβάθυνση σε λεπτομέρειες που αποτελούν αντικείμενο της επιστήμης της πληροφορικής, ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν κατανοητές και από άτομα που δεν έχουν έμπρακτα ασχοληθεί με τη χρήση προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αυτή η παρουσίαση δε θα πρέπει σε καμία περίπτωση να οδηγήσει στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι και η εκμάθηση ενός τέτοιου προγράμματος είναι μια απλή υπόθεση. Υπάρχουν πάρα πολλά στοιχεία που πρέπει να μαθευθούν και πάρα πολλές δυσκολίες που πρέπει να υπερβληθούν. Για να φθάσει ο γράφων στο επίπεδο να είναι σε θέση να δημιουργεί αυτά που πρόκειται να παρουσιασθούν χρειάστηκαν περίπου δύο μήνες σχεδόν αποκλειστικής απασχόλησης πάνω στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, έχοντας στο παρελθόν μια αρκετά εκτεταμένη εμπειρία πάνω σε θέματα χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Το υπό εξέταση κομμάτι δρόμου, μήκους 1695.09 μέτρων, που επιλέχθηκε αφορούσε το τμήμα μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 4+674.99 και 6+370.08 της προμελέτης της οδού που συνδέει τον Αλμυρό με τις Κιτριάς που είναι τμήμα της γενικότερης μελέτης της οδού Καλαμάτας - Αρεόπολης - Γερολιμένα. Η επιλογή του

συγκεκριμένου τμήματος της προμελέτης³, που έχει εκπονηθεί σε κλίμακα 1:2000, έγινε αφ' ενός μεν διότι περιείχε ένα συνδυασμό ήπιου αναγλύφου στην αρχή και έντονου και πτυχωμένου στο τέλος και αφ' ετέρου διότι δεν παρουσίαζε τεχνικά έργα ή έντονες ασυνέχειες που θα δημιουργούσαν προβλήματα κατά τη φάση της ψηφιοποίησης.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη μελέτη ενός οδικού τμήματος με το VESTRA ακολουθεί σε γενικές γραμμές την πορεία εργασιών που απαιτεί και η κλασική μέθοδος με ορισμένες όμως ιδιαιτερότητες. Αναλυτικότερα η μελέτη με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή διέρχεται από τα ακόλουθα στάδια.

³ Η μελέτη αυτή έχει εκπονηθεί από τα εξής συνεργαζόμενα γραφεία:

1. α) "ΟΔΟΓΕΩΔΑΙΤΙΚΗ" Ν. Αγιοβλασίτης - Γ. Μαλέρδος - Π. Κωνσταντινίδης & Σ/τες Ο.Ε. β) Κ. ΜΥΛΩΝΑΣ - Κ. ΚΑΡΓΑΚΟΣ
2. α) Α. ΣΤΑΜΟΣ Ο.Ε. β) Μ. ΒΑΡΔΟΥΛΑΚΗΣ γ) Γ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ

2.2 Ψηφιοποίηση

Βασικός παράγοντας για την ακρίβεια της μελέτης είναι η πιστή μεταφορά του τοπογραφικού υποβάθρου της υπό εξέταση περιοχής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η αναπαράσταση του φυσικού αναγλύφου γίνεται με τη βοήθεια ενός ειδικού λογισμικού που αποκαλείται **Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.)**, στο οποίο το έδαφος υπάρχει με τη μορφή ενός συνόλου στοιχείων που αντιπροσωπεύουν σημεία εδάφους ορισμένα τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Η εισαγωγή του Ψ.Μ.Ε. μπορεί να γίνει με δύο τρόπους

- α) Απ'ευθείας από τις μετρήσεις υπαίθρου, ειδικά όταν αυτές είναι αποθηκευμένες σε μαγνητικά μέσα όπως συνήθως γίνεται σήμερα με τα σύγχρονα τοπογραφικά όργανα, ή ακόμη και με χρήση αεροφωτογραφιών με τη βοήθεια μίας ειδικής συσκευής, του στερεοαναγωγέα.
- β) Από έναν ήδη υπάρχοντα τοπογραφικό χάρτη με μία διαδικασία η οποία καλείται **ψηφιοποίηση**.

Ψηφιοποίηση γενικά ονομάζεται η μετατροπή ενός αναλογικού μεγέθους σε ψηφιακό. Αναλογικά είναι τα μεγέθη που εμφανίζουν μία συνεχή κατανομή, όπως για παράδειγμα οι συντεταγμένες των σημείων, και αποδίδονται με πραγματικούς αριθμούς, ενώ ψηφιακά είναι τα μεγέθη που εμφανίζουν μία διακριτή κατανομή, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των φοιτητών σε μία σχολή, και αποδίδονται με ακέραιους αριθμούς.

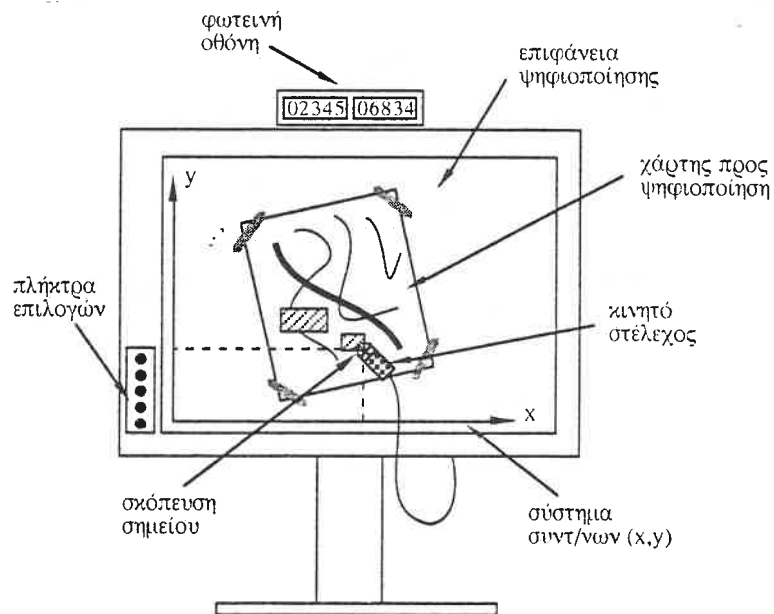
Κατά τη ψηφιοποίηση ο τοπογραφικός χάρτης τοποθετείται και στερεώνεται πάνω στην πινακίδα (tablet) του ψηφιοποιητή (digitizer) (Σχ. 5). Ο ψηφιοποιητής είναι μία αυτόνομη περιφερειακή συσκευή του ηλεκτρονικού υπολογιστή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του αναλογικού χάρτη σε διανυσματική μορφή. Η πινακίδα του είναι ορθογώνια με τυποποιημένες διαστάσεις που ποικίλουν από DIN A4 έως A0.

Χαρακτηριστικά του ψηφιοποιητή θεωρούνται η διακριτική ικανότητα (resolution) του που κυμαίνεται μεταξύ 0.1mm και 0.025mm, και η ακρίβεια (accuracy) του που κυμαίνεται μεταξύ $\pm 0.5\text{mm}$ και $\pm 0.125\text{mm}$. Ως διακριτική ικανότητα ορίζεται η μικρότερη απόσταση που πρέπει να απέχουν δυο σημεία για να ψηφιοποιηθούν ως ξεχωριστά, ενώ η ακρίβεια χαρακτηρίζει το σφάλμα της ψηφιοποίησης.

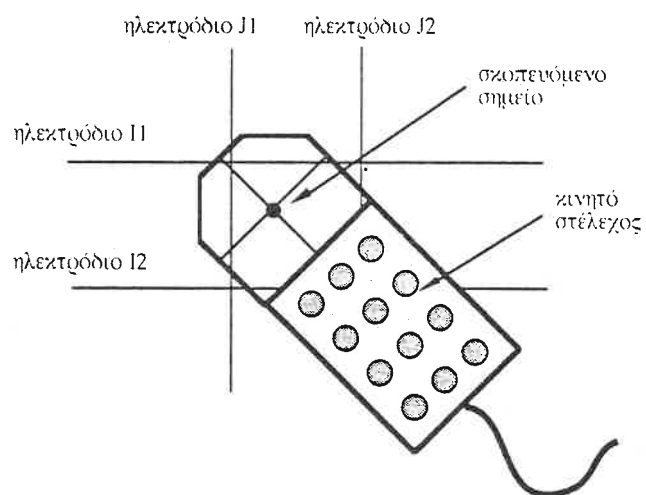
Όταν τοποθετείται στην πινακίδα ο χάρτης, θα πρέπει να είναι επίπεδος δίχως εξογκώματα και πτυχές ώστε κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης να μη μετακινείται προκαλώντας έτσι μειωμένη ακρίβεια. Ο προσανατολισμός του πάνω στην πινακίδα μπορεί να είναι τυχαίος διότι το επόμενο βήμα της μεθόδου είναι η προσαρμογή των συντεταγμένων του ψηφιοποιητή με τις συντεταγμένες του κανάβου του χάρτη (calibration). Αφού ολοκληρωθεί το "καλιμπράρισμα", με τη βοήθεια μίας δεικτικής συσκευής (pointing device), ενός κινητού στελέχους που διαθέτει ο ψηφιοποιητής, μεταφέρονται οι ισοΰψεις του σχεδίου μία προς μία. Η μεταφορά γίνεται με τον εξής απλό τρόπο. Αφού ορισθεί στο πρόγραμμα το υψόμετρο μίας ισοΰψους, περνιέται αυτή μέσω του σταυρονήματος του κινητού στελέχους σκοπεύοντας ένα συγκεκριμένο κάθε φορά σημείο, που προφανώς θα είναι σημείο της υπό μεταφοράν ισοΰψους. Οι συντεταγμένες (x,y) του σημείου μεταφέρονται αυτόματα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έτσι δημιουργούνται ψηφιοποιημένες πρωτογενείς ισοΰψεις καμπύλες από τις οποίες θα παραχθούν όλες οι υπόλοιπες, οποιουδήποτε υψόμετρου, με κάποια μεθοδολογία παρεμβολής που εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο λογισμικό.

Η μεταφορά των συντεταγμένων γίνεται με τον εξής τρόπο.

Κάτω από την πινακίδα του ψηφιοποιητή βρίσκεται τοποθετημένο ένα πλέγμα μεταλλικών ηλεκτροδίων που σχηματίζουν έναν ορθογώνιο κάνναβο (Σχ. 5). Αυτά τα ηλεκτρόδια εκπέμπουν παλμούς διαφορετικής συχνότητας οι οποίοι συλλαμβάνονται από το κινητό στέλεχος. Έχοντας εξασφαλίσει τη μοναδικότητα του συνδυασμού των παλμών που εκπέμπεται από ένα κάθετο κι ένα οριζόντιο



Ψηφιοποιητής διαστάσεων DIN A0, ελευθέρου στέλεχους. Φαίνεται ο τρόπος σκόπευσης και ψηφιοποίησης σημείων από το χάρτη.



Διάταξη των μεταλλικών ηλεκτροδίων της ηλεκτροστατικής τεχνολογίας, στην τράπεζα ψηφιοποίησης, που διαθέτει ο ψηφιοποιητής. Η εκτομή των ηλεκτρικών παλμών, συλλαμβάνεται από το κέντρο του σταθρονήματος του κινητού στέλεχους.

Σχ. 5 Μετατροπή ενός αναλογικού χάρτη σε διανυσματική μορφή με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης και αρχή λειτουργίας του ψηφιοποιητή. (Πηγή [17])

ηλεκτρόδιο, ο υπολογισμός της θέσης του στελέχους γίνεται με σύγκριση των σημάτων των παλμών που λαμβάνονται έπειτα από μία αλγοριθμική επεξεργασία που γίνεται ηλεκτρονικά.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στα σημεία όπου η επιφάνεια του εδάφους εμφανίζει γραμμές κατά μήκος των οποίων υπάρχει ασυνέχεια του αναγλύφου. Αυτού του είδους οι γραμμές ορίζονται για παράδειγμα από τις κορυφογραμμές, τις χαράδρες και τις απότομες κοιλάδες, τις ακτογραμμές των λιμνών και των θαλασσών, τις κοίτες των ποταμών κλπ. Γενικά οι γραμμές αυτές ονομάζονται χαρακτηριστικές γραμμές της επιφάνειας του εδάφους (break lines) και ορίζονται ως γραμμές απότομων αλλαγών της κλίσης ή μαθηματικά ως γραμμές, στα σημεία των οποίων οι μερικές παράγωγοι της συνάρτησης της επιφάνειας είναι ασυνεχείς.

Οι χαρακτηριστικές γραμμές είτε ψηφιοποιούνται πρωτογενώς από το χρήστη, δηλαδή καθορίζονται με μια ξεχωριστή διαδικασία, είτε αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα με βάση αυτόματες αλγοριθμικές διαδικασίες όπως για παράδειγμα με έλεγχο της αλλαγής του προσήμου των μερικών παραγώγων της συνάρτησης του υψομέτρου.

Για λόγους πληρότητας θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ψηφιοποίηση των αναλογικών χαρτογραφικών δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί και με ένα σαρωτή (scanner). Η σάρωση ενός χάρτη είναι γενικά ταχύτερη σε σχέση με τη ψηφιοποίησή του αλλά υστερεί σε ακρίβεια. Γι αυτό το λόγο η σάρωση είναι κατάλληλη μόνο για αναγνωριστικές μελέτες.

Η διαδικασία της ψηφιοποίησης ενός χάρτη υπόκειται σε μια σειρά από σφάλματα τα οποία είναι άλλοτε τυχαία και άλλοτε συστηματικά.

Ως τυχαία σφάλματα θεωρούνται

- τα σφάλματα που διαπράττει ο ψηφιοποιητής κατά τον υπολογισμό των συντεταγμένων και είναι άμεσα συνδεδεμένα με την ακρίβεια του οργάνου

- τα σφάλματα που διαπράττει ο χρήστης κατά τη σκόπευση μέσω του σταυρονήματος του κινητού στελεχούς που διαθέτει ο ψηφιοποιητής και έχουν σχέση με τη διακριτική ικανότητα του οφθαλμού του χρήστη.

Ως συστηματικά σφάλματα θεωρούνται

- τα σφάλματα λόγω παραμόρφωσης (συστολής ή διαστολής) του υλικού κατασκευής του χάρτη.
- τα σφάλματα λόγω φωτοαντιγράφησης του χάρτη (όταν δεν χρησιμοποιείται ο πρωτότυπος) και εξαρτώνται από το είδος του μηχανήματος που χρησιμοποιήθηκε για την αναπαραγωγή.

Τέλος υπάρχει και μία ενδιάμεση κατηγορία σφαλμάτων, που δεν είναι απλό να χαρακτηρισθούν ως συστηματικά ή ως τυχαία. Πρόκειται για τα σφάλματα λόγω σχεδίασης του χάρτη όπου υπεισέρχονται τα σφάλματα του ανθρώπινου παράγοντα αν η σχεδίαση έγινε με το χέρι ή τα σφάλματα των σχεδιαστικών οργάνων αν η σχεδίαση έγινε με κάποιο σχεδιογράφο.

Για το τμήμα της μελέτης που μας ενδιέφερε έγινε η ψηφιοποίηση, με τη διαδικασία που περιγράφηκε, μιας λωρίδας εδάφους πλάτους περίπου 100m εκατέρωθεν του άξονα της οδού. Σ'όλες τις φάσεις της ψηφιοποίησης ελήφθησαν όλες οι δυνατές προφυλάξεις ώστε τα προαναφερθέντα σφάλματα να ελαχιστοποιηθούν. Φυσικά για τις κατασκευαστικές ατέλειες τόσο του ψηφιοποιητή όσο και του ματιού του γράφοντος δεν μπορούσαν να γίνουν βελτιωτικές παρεμβάσεις που να τις αντισταθμίσουν πλήρως, αλλά η κατάσταση του χάρτη επιδιώχθηκε να είναι η καλύτερη δυνατή. Με δεδομένο όμως ότι ο χάρτης ήταν τμήμα μιας μελέτης που είχε πραγματοποιηθεί πριν από περισσότερο από τρία χρόνια, η ύπαρξη ορισμένων ατελειών στην κατάστασή του ήταν αναπόφευκτη.

Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι για τη ψηφιοποίηση μιας περιοχής με όχι ιδιαίτερα έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο, εκτάσεως περίπου (200*1700) 340 στρεμμάτων απαιτήθηκαν τρεις (3) ώρες καθαρής

εργασίας ενώ το μέγεθος του αρχείου που δημιουργήθηκε στον υπολογιστή για την αποθήκευση του Ψ.Μ.Ε. ήταν της τάξης των 700KB. Αυτό βέβαια το χρονικό διάστημα αναφέρεται σε επιδόσεις σχετικά έμπειρου χρήστη, ο οποίος έχει προηγουμένως αφιερώσει μερικές ανθρωπομήρες εκμάθησης και πρακτικής εξάσκησης της όλης διαδικασίας.

Συμπέρασμα:

Η ψηφιοποίηση είναι μία σχετικά απλή στη σύλληψη εργασία που απαιτεί όμως ιδιαίτερη προσοχή, σχολαστικότητα και ακρίβεια για να μη διαπραχθούν λανθασμένοι χειρισμοί οι οποίοι θα οδηγήσουν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα ολόκληρη τη μελέτη. Είναι επίσης μία εργασία που συντελείται με σχετικά γοργούς ρυθμούς και η οποία όμως δεσμεύει μεγάλα τμήματα από τη χωρητικότητα του σκληρού δίσκου του υπολογιστή.

Αυτή η συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων οφείλεται στη μεγάλη διακριτική ικανότητα και ακρίβεια του ψηφιοποιητή, πλεονεκτήματα όμως που όταν η προς αποτύπωση περιοχή γίνεται πολύ εκτεταμένη επηρεάζουν την ταχύτητα καθώς αυξάνεται ανάλογα ο χρόνος διαχείρισης και επανάκτησης της πληροφορίας, σε συνδυασμό φυσικά με την κατάληψη ακόμα μεγαλύτερου χώρου αποθήκευσης.

Μία ιδιαιτερότητα της διαδικασίας της ψηφιοποίησης είναι ότι αποτελεί ένα στάδιο της μελέτης το οποίο απουσιάζει εντελώς από τις συμβατικές μεθόδους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη ενός επιπλέον χρόνου στη διαδικασία της μελέτης που απαιτείται για τη ψηφιοποίηση αυτή καθ'εαυτή αλλά και χρόνου που απαιτείται για τον έλεγχο του ψηφιοποιηθέντος χάρτη και τις τυχόν διορθώσεις του. Ο έλεγχος της σωστής ψηφιοποίησης γίνεται με την παραγωγή του χάρτη από τον αυτόματο σχεδιογράφο και την υπέρθεσή του πάνω από τον αναλογικό - πρωτότυπο χάρτη. Από την άμεση σύγκριση των δύο χαρτών διαφαίνεται αν υπάρχει ανάγκη για διορθώσεις ή όχι.

Αυτός ο χρόνος που φαινομενικά αυξάνει τη συνολική διάρκεια της μελέτης σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο, αποσβένεται, όπως θα δειχθεί παρακάτω, από τους χρόνους των υπολοίπων σταδίων της μελέτης που τώρα πραγματοποιούνται με πολύ γρηγορότερους ρυθμούς, μειώνοντας κατά πολύ το συνολικό χρόνο.

2.3 Χάραξη άξονα

Με τις κλασικές μεθόδους η χάραξη του άξονα της οδού που συνδέει δύο τυχόντα σημεία Α και Β, περνούσε από μία διαδικασία^[16] χαράξεως αρχικά της ισοκλινούς γραμμής και στη συνέχεια, με βάση αυτή, καθορισμού των ευθυγραμμίων της χάραξης, της λεγόμενης πολυγωνικής της χάραξης, η οποία βρισκόταν όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την ισοκλινή. Αυτό εφαρμοζόταν ιδιαίτερα όταν κύριο κριτήριο καθορισμού του άξονα ήταν η ελαχιστοποίηση και ο συμψηφισμός του όγκου των ορυγμάτων και επιχωμάτων που οδηγούσε, κατ'επέκταση, σε μικρότερο κόστος κατασκευής.

Με το VESTRA, και γενικά με όλα τα μέχρι σήμερα γνωστά παρόμοια προγράμματα, το πρώτο στάδιο της μελέτης αναγκαστικά θα γίνει και πάλι εκτός υπολογιστή. Πάνω στο σχεδιαστήριο με τον κανόνα και το διαβήτη θα χαραχθεί η ισοκλινής γραμμή. Δεν υπάρχει η δυνατότητα να σχεδιασθεί αυτόματα από το πρόγραμμα η ισοκλινής μεταξύ δύο σημείων. Αυτή είναι μία ακόμη, ευρέως διαδεδομένη, υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων των συστημάτων CAD. Πιστεύεται λοιπόν, λανθασμένα, ότι αρκεί να δοθούν τα σημεία Α και Β στο πρόγραμμα και αυτό έπειτα θα υπολογίσει την ισοκλινή και θα προχωρήσει στη χάραξη της οδού.

Αναγκαστικά η αρχική χάραξη της πολυγωνικής θα γίνει με το χέρι πάνω στο σχεδιαστήριο. Αυτή πολύ εύκολα μπορεί να μεταφερθεί πάνω στο Ψ.Μ.Ε. του υπολογιστή αφού θα είναι γνωστές, με τη βοήθεια του κανάβου, οι συντεταγμένες των κορυφών της.

Με το VESTRA βέβαια ο καθορισμός του άξονα περιέχει ορισμένες ιδιαιτερότητες, που το κάνουν να διαφέρει τόσο από την κλασική μέθοδο όσο και από άλλα παρόμοια προγράμματα. Ο άξονας υπολογίζεται ως μία επαλληλία γεωμετρικών στοιχείων τα οποία πρέπει να πληρούν ορισμένους γεωμετρικούς περιορισμούς. Αυτά τα γεωμετρικά στοιχεία είναι οι γνωστές ευθυγραμμίες, κλωθοειδείς

και κυκλικά τόξα και για να είναι πλήρως ορισμένα απαιτούνται τρεις παράμετροι. Ανάλογα με τους περιορισμούς που θέτουμε τα στοιχεία αυτά διακρίνονται σε:

- Σταθερά, τα οποία ορίζονται με τρεις παραμέτρους.
- Συνδετήρια, τα οποία ορίζονται με δύο παραμέτρους και η τρίτη παράμετρος υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση κάποιο γειτονικό ήδη υπολογισθέν στοιχείο.
- Ενδιάμεσα, τα οποία ορίζονται με μία παράμετρο ενώ οι άλλες δύο παράμετροι υπολογίζονται αυτόματα με βάση τα ήδη καθορισθέντα προηγούμενα και επόμενα στοιχεία.

Θεωρητικά λοιπόν υπάρχουν άπειροι συνδυασμοί των επί μέρους γεωμετρικών στοιχείων με τους οποίους μπορεί να ορισθεί ένας άξονας, ανάλογα με το ποιά στοιχεία του θα επιλεγούν να είναι σταθερά και ποιά θα μεταβάλλονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίδουν μία μαθηματικώς αποδεκτή λύση.

Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέχθηκε στη μελέτη μας ήταν αυτός ο οποίος θεωρούσε ως σταθερές τις ευθυγραμμίες και μεταβαλλόμενες τις καμπύλες. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο ορίζοντας τις συντεταγμένες δύο σημείων (στην περίπτωση μας οι κορυφές της πολυγωνικής) έχει ορισθεί πλήρως μία ευθυγραμμία. Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται ολόκληρη η πολυγωνική. Στη συνέχεια για κάθε κορυφή εισάγονται οι αριθμητικές τιμές της ακτίνας R του κυκλικού τόξου και οι παράμετροι A της κλωθοειδούς (οι οποίες ταυτίζονται για συμμετρικά τόξα εφαρμογής). Με βάση αυτά, το πρόγραμμα κάνει τους κατάλληλους υπολογισμούς και βρίσκει το μήκος του κυκλικού τόξου ούτως ώστε να προσαρμόζονται πλήρως οι δεδομένες ευθυγραμμίες με τις τιμές των A και R . Σε περίπτωση λύσης μαθηματικώς μη αποδεκτής ο υπολογιστής βγάζει μήνυμα λάθους, προειδοποιώντας έτσι τον χρήστη ότι κάποια αλλαγή στα δεδομένα εισαγωγής είναι επιβεβλημένη.

Ο συνδυασμός αυτός έχει τα εξής δύο πλεονεκτήματα:

- Ομοιάζει αρκετά με τη διαδικασία που ακολουθείται με την κλασική μέθοδο, καθιστώντας έτσι ομαλότερη και κάπως φυσιολογική τη μετάβαση του χρήστη προς τα συστήματα CAD.
- Παρέχει μεγάλη ευκολία στην εξέταση εναλλακτικών λύσεων καθώς μεταβάλλοντας απλώς τις τιμές των παραμέτρων A και R διαπιστώνεται άμεσα πως πηγαίνει η νέα χάραξη, εφόσον φυσικά είναι μαθηματικώς αποδεκτή. Επιπροσθέτως απλουστεύεται η μελέτη των σιγμοειδών καμπύλων (μορφής "S"), καθώς, πολύ απλά, ορίζεται ένας συνδυασμός τέτοιος ώστε μεταξύ δύο συνεχόμενων αντίρροπων κλωθοειδών να μην υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα.

Ο προαναφερθείς συνδυασμός συνιστάται κυρίως όταν το βασικό κριτήριο για τη χάραξη του άξονα είναι η οικονομία στις χωματουργικές εργασίες. Στην περίπτωση της σύγχρονης οδοποιίας όπου ο άξονας χαράσσεται με ελεύθερη σχεδίαση, η όλη διαδικασία αλλάζει ριζικά. Πλέον το στάδιο της χάραξης της ισοκλινούς μπορεί να παραληφθεί και η χάραξη του άξονα να ξεκινήσει αμέσως στον υπολογιστή δίχως ιδιαίτερη προετοιμασία. Γι'αυτήν την περίπτωση το VESTRA προσφέρει στο χρήστη μία πληθώρα από δυνατούς συνδυασμούς, όπως για παράδειγμα ο αντίστροφος αυτού που αναφέρθηκε, δηλαδή να θεωρούνται δεδομένα οι παράμετροι και τα μήκη των κυκλικών τόξων και των τόξων συναρμογής και να μεταβάλλονται οι διευθύνσεις των ευθυγραμμιών.

Συμπέρασμα:

Κάνοντας μία κριτική στον τρόπο εισαγωγής του άξονα μέσω του VESTRA μπορεί να λεχθεί ότι παρέχεται στον χρήστη μία ευχέρεια στο να επιλέξει τον τρόπο εργασίας του, είτε δηλαδή θα είναι αυτός ελεύθερη χάραξη είτε χάραξη μέσω πολυγωνικής, ευχέρεια η οποία συνοδεύεται από πλήθος υποεπιλογών που βοηθούν τον χρήστη να ανταποκριθεί με επιτυχία σε τυχόν δεσμεύσεις και περιορισμούς που θα υπάρχουν, όπως για παράδειγμα η υποχρεωτική διέλευση του άξονα από ορισμένα σταθερά σημεία.

Με δεδομένο ότι για κάθε ζητούμενο υπάρχουν περισσότεροι του ενός τρόποι επίτευξής του, εναπόκειται πλέον στην εμπειρία και τη φαντασία του χρήστη στο να βρει τον καταλληλότερο συνδυασμό που θα του δώσει το βέλτιστο αποτέλεσμα για κάθε περίπτωση. Και σε αυτήν την περίπτωση, όπως και σε άλλες, καθοριστικός είναι ο ρόλος της εκπαίδευσης που θα δοθεί στους επίδοξους χρήστες η οποία όταν είναι άρτια θα τους προμηθεύσει με τα εφόδια να αντιλαμβάνονται αμέσως ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης ενός προβλήματος, απαλλάσσοντάς τους έτσι από το αντιεπιστημονικό και αντιπαραγωγικό στάδιο του "μαθητευόμενου μάγου".

Επίσης σημαντικός είναι και ο παράγοντας της εμπειρίας του χρήστη σε μελέτες οδοποιίας διότι αν και η δοκιμή διαφορετικών τιμών των παραμέτρων A και R στις κορυφές της πολυγωνικής για παράδειγμα είναι σχετικά απλή, εντούτοις υπάρχει πάντα ένα πλαίσιο τιμών τους μέσα στο οποίο βρίσκεται η βέλτιστη λύση και το οποίο ο έμπειρος μηχανικός είναι σε θέση να το διακρίνει γρήγορα, μη σπαταλώντας έτσι ανώφελα το χρόνο του σε δοκιμές που οδηγούν σε μη αποδεκτές λύσεις.

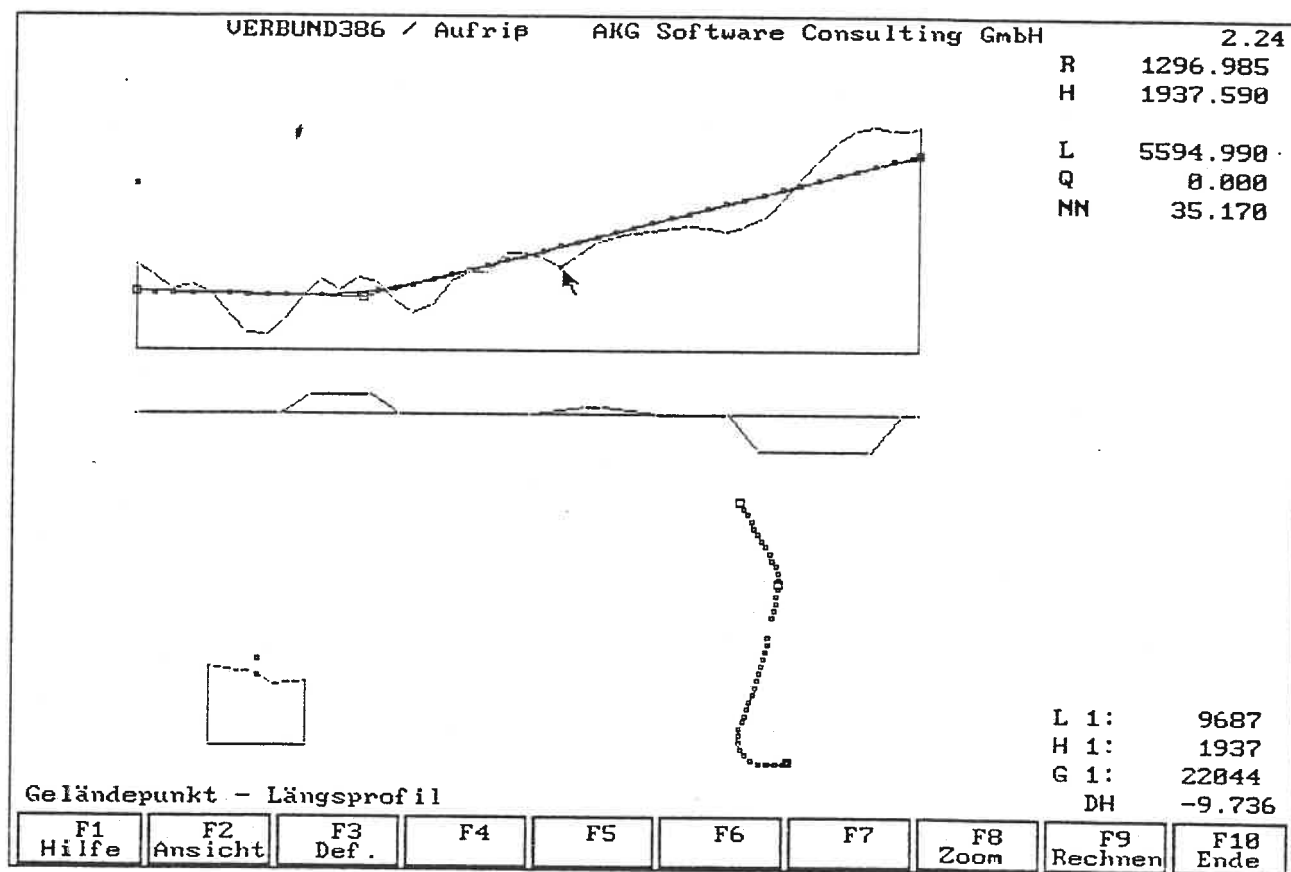
2.4 Μηκοτομή

Επόμενο στάδιο μελέτης και για τις δύο μεθόδους αποτελεί η μηκοτομή του άξονα της οδού και η χάραξη της ερυθράς γραμμής. Είναι το στάδιο όπου αρχίζει να γίνεται ξεκάθαρη η βοήθεια που προσφέρει ο υπολογιστής.

Με τις συμβατικές μεθόδους για τη σχεδίαση της μηκοτομής του άξονα, παίρνονται πάνω στο τοπογραφικό τα υψόμετρα των σημείων του άξονα σε ίσες αποστάσεις (περίπου ανά 40m σε επίπεδο προμελέτης), όπως και τα υψόμετρα σε ορισμένες χαρακτηριστικές θέσεις του άξονα και με βάση τις μεταξύ τους αποστάσεις σχεδιάζεται η μηκοτομή σε μία στρεβλή κλίμακα (η κλίμακα των υψών δεκαπλάσια της κλίμακας των μηκών). Αυτή η διαδικασία απαιτεί, για τη σχεδίαση της μηκοτομής των 1700 περίπου μέτρων που είναι το τμήμα της υπό εξέταση μελέτης, περίπου 2 ώρες για να μπου στο σχέδιο και όλες οι αριθμητικές πληροφορίες (χιλιομέτρηση, αποστάσεις μεταξύ και υψόμετρα εδάφους).

Με το VESTRA η όλη διαδικασία για να ορισθούν η απόσταση μεταξύ των χαρακτηριστικών θέσεων του άξονα, οι αποστάσεις δεξιά και αριστερά του άξονα που θα υπολογισθεί η μορφή του εδάφους και να σχεδιασθεί πάνω στην οθόνη η μηκοτομή δεν κράτησαν πάνω από 3 λεπτά της ώρας. Ένας λόγος της τάξης του 1:40 στις ταχύτητες των δύο μεθόδων που είναι αναμφίβολα αξιοπρόσεκτος.

Η οθόνη σε αυτό το σημείο του προγράμματος είναι χωρισμένη σε τρία τμήματα, σε τρία παράθυρα όπως λέγονται (βλ. Σχ. 6). Στο πάνω παράθυρο βρίσκεται σχεδιασμένη η μηκοτομή του άξονα και ακριβώς από κάτω της το διάγραμμα καμπυλότητας του άξονα. Στο κάτω δεξιά παράθυρο φαίνεται η πλήρης οριζοντιογραφία του άξονα και στο κάτω αριστερά παράθυρο φαίνεται η μορφή της διατομής του εδάφους της επίκαιρης θέσης σε μία απόσταση εκατέρωθεν του άξονα που ορίζεται ελεύθερα από το χρήστη (στη συγκεκριμένη μελέτη



Σχ. 6 Η μάσκα που βλέπει ο χρήστης κατά τη μελέτη της μηκοτομής. Διακρίνονται στο πάνω μέρος η μηκοτομή του φυσικού εδάφους και η σχεδιασθείσα ερυθρά γραμμή. Ακριβώς από κάτω βρίσκεται το διάγραμμα καμπυλότητας ενώ κάτω δεξιά φαίνεται η μορφή της οριζοντιογραφίας. Κάτω αριστερά απεικονίζεται η εγκάρσια τομή του εδάφους στην επίκαιρη θέση που έχει ορισθεί μετακινώντας με το ποντίκι το βέλος που φαίνεται στη μηκοτομή.

ορίσθηκε στα 25 μέτρα). Η επίκαιρη θέση ορίζεται με το ποντίκι και στην ουσία πρόκειται για κάποια Χ.Θ. για την οποία προβάλλονται στην οθόνη όλες οι υπάρχουσες για αυτήν πληροφορίες όπως οι οριζοντιογραφικές της συντεταγμένες, το υψόμετρο και η μορφή της διατομής του εδάφους. Αυτές οι πληροφορίες μεταβάλλονται αυτόματα μόλις "τσιμπηθεί" με το ποντίκι μία άλλη επίκαιρη θέση.

Έτσι ο χρήστης διατρέχοντας με το ποντίκι τον άξονα της οδού αποκτά μία εντυπωσιακή εποπτεία της όλης κατάστασης του τρισδιάστατου χώρου γύρω από τον άξονα διότι είναι σε θέση να βλέπει συγχρόνως τόσο την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή όσο και τη μορφή του εδάφους παραπλεύρως του άξονα, καθότι οι διατομές μεταβάλλονται καθώς μεταβάλλεται η επίκαιρη θέση. Είναι μία εκπληκτική δυνατότητα που προσφέρεται στο χρήστη σε μηδαμινό χρόνο, δυνατότητα που είναι αδύνατο ή τουλάχιστον αρκετά δύσκολο να προσφερθεί σε αυτήν την έκταση με χρήση των συμβατικών μεθόδων, τόσο λόγω χρονικών δυσχερειών όσο και δυσχερειών που θα προκύψουν από τον όγκο των σχεδίων που θα συγκεντρωθούν.

Έχοντας μπροστά του λοιπόν ο χρήστης όλα τα δεδομένα της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής αλλά και των διατομών, είναι σε θέση να κρίνει, με αρκετά μεγάλη βεβαιότητα, το αν η συγκεκριμένη λύση πληρεί τις προϋποθέσεις για περαιτέρω μελέτη ή αδυνατεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις.

Επόμενο βήμα είναι η χάραξη της ερυθράς. Με τη συμβατική μέθοδο σχεδιάζεται μία πολυγωνική γραμμή που αποτελείται από τους κλάδους της ερυθράς και στη συνέχεια υπολογίζονται τα κυκλικά τόξα στρογγύλευσης στις κορυφές, αφού εκλεγεί η τιμή της ακτίνας καμπυλότητας H και υπολογισθεί η μεταβολή της κλίσης ΔS (για περισσότερες λεπτομέρειες ο αναγνώστης παραπέμπεται στο [16] της βιβλιογραφίας).

Η χάραξη αυτή γίνεται εν γένει με κριτήριο την εξίσωση των χωματοургικών σε συνδυασμό με μία ομοιομορφία στη χάραξη που θα εξασφαλίζει την ασφάλεια της κυκλοφορίας. Είναι μία σχετικά απλή διαδικασία αλλά απαιτεί πολλές αριθμητικές πράξεις για τον υπολογισμό τόσο των υψομέτρων της ερυθράς στους ευθύγραμμους κλάδους της όσο κυρίως των διορθωμένων υψομέτρων της στα κυκλικά τόξα συναρμογής. Είναι ένα σημείο που χρειάζεται προσοχή διότι όπως έχει δείξει η εμπειρία είναι αρκετά επιρρεπές σε αριθμητικά λάθη, όταν η δουλειά γίνεται με το χέρι.

Με το VESTRA τα πράγματα είναι πολύ πιο απλά με την πιθανότητα αριθμητικού λάθους να τείνει στο μηδέν. Ακολουθώντας και πάλι την αρχή της φυσικότητας που πρέπει να διέπει ένα πρόγραμμα, η εισαγωγή της ερυθράς γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως και με τη συμβατική μέθοδο. Αρχικά δηλαδή καθορίζονται οι θέσεις των σημείων αλλαγής κλίσης της ερυθράς. Ο καθορισμός μπορεί να γίνει είτε με μορφή συντεταγμένων (χιλιομετρική θέση, υψόμετρο) είτε γραφικά, "τσιμπώντας" με το ποντίκι τα αντίστοιχα σημεία πάνω στην οθόνη. Κατόπιν, καθώς το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τις τιμές των μεταβολών κλίσεων ΔS , το μόνο που απομένει στο χρήστη είναι να ορίσει τις τιμές των ακτίνων H των κυρτών και κοίλων καμπύλων της μηκοτομής, με βάση την κατηγορία του δρόμου και την ταχύτητα μελέτης, κατά τα γνωστά.

Το πρόγραμμα είναι πλέον σε θέση να υπολογίσει και να σχεδιάσει αυτόματα την ερυθρά με όλες τις αριθμητικές πληροφορίες για τις κλίσεις, τις χιλιομετρικές θέσεις, τα υψόμετρα των σημείων, τις υψομετρικές διαφορές των σημείων της ερυθράς από τα αντίστοιχα του εδάφους, τα βέλη στα τόξα στρογγύλευσης, και τις ακτίνες καμπυλότητας να βρίσκονται στη διάθεση του χρήστη.

Συμπέρασμα:

Συγκρίνοντας λοιπόν τους δύο τρόπους εργασίας για τη μελέτη της μηκοτομής προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι η χρήση του

υπολογιστή υπερτερεί σαφώς έναντι της κλασικής μεθόδου. Ο υπολογιστής κατέχει ένα συγκριτικό πλεονέκτημα διότι προσφέρει:

- μεθοδολογία εργασίας συμβατή με την κλασική, γινόμενος έτσι φιλικός στο χρήστη
- πληρότητα παρεχομένων πληροφοριών που δίδουν μία γενική εικόνα της κατάστασης του έργου βοηθώντας έτσι το σωστότερο σχεδιασμό
- ευκολία, ταχύτητα και αξιοπιστία στους μαθηματικούς υπολογισμούς, που απαλλάσσουν το χρήστη από το άγχος των αριθμητικών πράξεων και του επιτρέπουν να ασχοληθεί απερίσκεπτα με την εκλογή της καλύτερης δυνατής χωροθέτησης του έργου
- ευχέρεια στην εξέταση εναλλακτικών λύσεων και των επιπτώσεων αυτών.

2.5 Διατομές

Βασικό στοιχείο της μελέτης μίας οδού αποτελούν οι διατομές, η μορφή και οι διαστάσεις των οποίων καθορίζουν το εύρος κατάληψης της οδού, το συνολικό κόστος της καθώς επίσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η μορφή, οι διαστάσεις και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των διατομών καθορίζονται πλήρως στην τυπική διατομή. Η τυπική διατομή είναι ένα σχέδιο στο οποίο φαίνεται ο τρόπος μεταβολής της διατομής για κάθε ειδική περίπτωση, αν δηλαδή η διατομή θα βρίσκεται σε όρυγμα ή επίχωμα, αν το επίχωμα θα είναι χαμηλό ή ψηλό, αν η εγκάρσια κλίση του εδάφους θα είναι μεγάλη ή μικρή, αν το έδαφος θα είναι γαιώδες ή βραχώδες και ούτω καθεξής.

Σύμφωνα λοιπόν με αυτές τις συμβάσεις που ορίζονται στην τυπική διατομή, ο μελετητής, κατά την κλασική μέθοδο, για κάθε διακεκριμένη χιλιομετρική θέση (ανά 40 περίπου μέτρα σε επίπεδο προμελέτης) και ανάλογα της εγκάρσιας μορφής του εδάφους και του υψομέτρου της ερυθράς στην υπόψη διατομή, σχεδιάζει την προκύπτουσα διατομή. Έτσι με βάση όλες τις διατομές που θα σχεδιασθούν με αυτόν τον τρόπο θα συνταχθεί η προμέτρηση και ο προϋπολογισμός των χωματουργικών, της οδοστρωσίας, των ασφαλικών και των απαιτούμενων απαλλοτριώσεων.

Με το VESTRA σ' αυτό το στάδιο της μελέτης, η μόνη ουσιαστική εργασία που απαιτείται από το μελετητή είναι ο ορισμός της τυπικής διατομής. Τα υπόλοιπα, δηλαδή ο υπολογισμός και η σχεδίαση των διατομών για κάθε χιλιομετρική θέση γίνονται αυτόματα, με βάση τα δεδομένα της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής που έχουν ήδη ορισθεί.

Για να γίνει ο ορισμός της τυπικής διατομής θα πρέπει, όπως και στις κλασικές μεθόδους, αρχικά να σχεδιασθεί αυτή με κάθε δυνατή

λεπτομέρεια και λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ενδεχόμενες περιπτώσεις που μπορεί να εμφανισθούν. Η σχεδίαση αυτή θα πραγματοποιηθεί πάνω στο σχεδιαστήριο με τη βοήθεια των σχεδιαστικών οργάνων, εκτός βέβαια αν ο χρήστης είναι εξοικειωμένος και με άλλα σχεδιαστικά προγράμματα οπότε και αυτό το στάδιο μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Πάντως όμως η διαδικασία έως εδώ είναι κοινή και για τις δύο μεθόδους.

Η διαφορά αρχίζει κατά την εισαγωγή της τυπικής διατομής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο σαφής ορισμός της τυπικής διατομής γίνεται μέσω μίας ειδικής γλώσσας προγραμματισμού του VESTRA, η οποία ονομάζεται STRAPS. Αυτή η γλώσσα αντιστοιχεί σε μία σχετικά απλή ανώτερη γλώσσα προγραμματισμού με την οποία περιγράφεται η γεωμετρία της τυπικής διατομής.

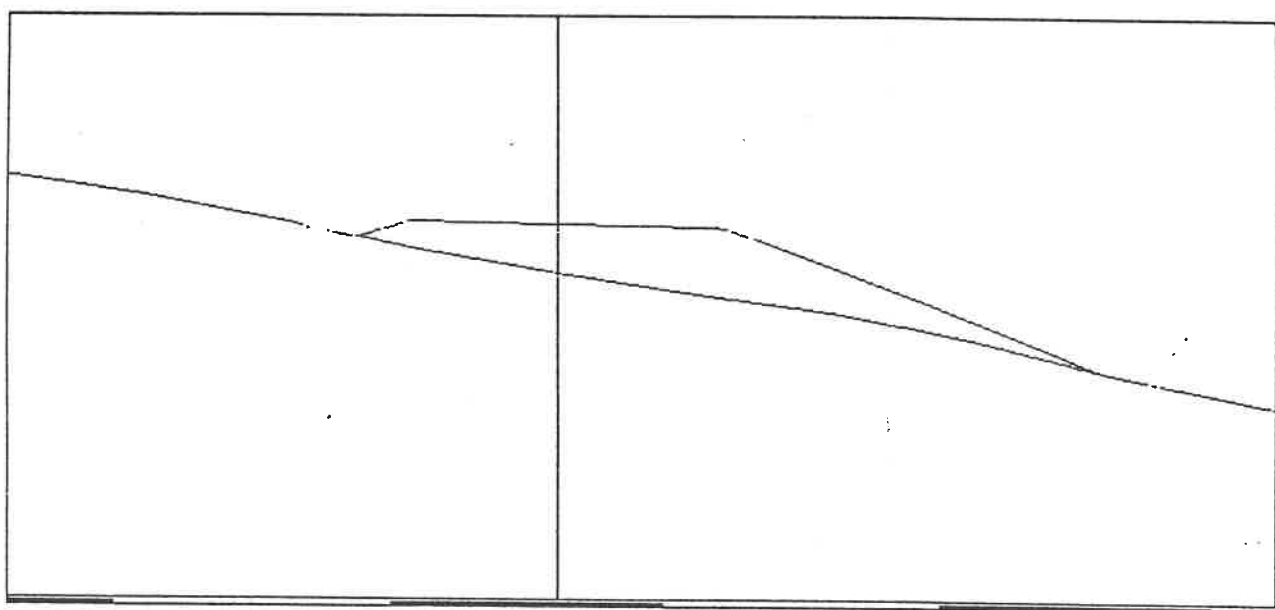
Η γλώσσα STRAPS είναι μία ξεχωριστή γλώσσα προγραμματισμού του VESTRA που διαφέρει ριζικά ως προς τη δομή της από άλλες ευρέως γνωστές γλώσσες (BASIC, FORTRAN). Αυτή η απαίτηση εκμάθησης μίας νέας γλώσσας προγραμματισμού δημιουργεί μια δυσχέρεια στο χρήστη και έρχεται σε κάποια αντίφαση με την απαίτηση της απλής εφαρμογής που πρέπει να έχουν τα συστήματα CAD. Βέβαια είναι δυνατό η εταιρία αναπτύξεως του λογισμικού να προμηθεύει το χρήστη με μια βιβλιοθήκη έτοιμων προτύπων διατομών, απ'αυτές που απαντώνται συχνότερα στην πράξη, και από την οποία ο χρήστης θα ανακαλεί αυτή που τον ενδιαφέρει. Σε περίπτωση όμως κάποιας ειδικής διατομής ο χρήστης θα πρέπει αναγκαστικά να την εισαγάγει μόνος του ή να την παραγγείλει.

Ανεξάρτητα πάντως από το αν ο χρήστης σκοπεύει να ασχοληθεί με καινοφανείς διατομές ή όχι, η εκμάθηση του τρόπου προγραμματισμού της τυπικής διατομής συνίσταται για δύο κυρίως λόγους:

- α. Ο χρήστης εξακολουθεί να έχει την ευχέρεια οποιαδήποτε στιγμή αλλαγής της τυπικής διατομής. Αν για παράδειγμα μία

μελέτη κυκλοφοριακής ικανότητας που εκπονείται συγχρόνως αποδείξει την ανάγκη μεταβολής του πλάτους της λωρίδας κυκλοφορίας από 3.50m σε 3.75m, ο χρήστης θα πρέπει να είναι ικανός να επέμβει στο πρόγραμμα και να πραγματοποιήσει αυτή την αλλαγή και όχι να είναι εξαρτημένος από εξωγενείς παράγοντες.

- β. Διατηρείται ο έλεγχος της λήψης αποφάσεων σε οριακές περιπτώσεις από τον ανθρώπινο παράγοντα και όχι από τον υπολογιστή, ο οποίος χρησιμοποιεί αυστηρά μαθηματικά κριτήρια. Ως μια τέτοια οριακή περίπτωση μπορεί να αναφερθεί η κατασκευή ή όχι ενός τοίχου αντιστήριξης του πρανούς του επιχώματος σε διατομές όπου μια τέτοια λύση δεν είναι τελείως ξεκάθαρη και μονοσήμαντη (Σχ. 7). Αν αφεθεί ελεύθερος ο υπολογιστής να αποφασίσει ποια λύση είναι η αρμόζουσα, δίχως τη δυνατότητα ανθρώπινης παρέμβασης, η πιθανότητα να επιλεγεί μια μη ρεαλιστική λύση είναι αρκετά αληθοφανής.



Σχ. 7 Περίπτωση διατομής επιχώματος όπου η απόφαση για την κατασκευή ή όχι τοίχου αντιστήριξης δεν πρέπει να αφεθεί στον υπολογιστή.

Η περιγραφή της τυπικής διατομής γίνεται ορίζοντας ένα προς ένα όλα τα γωνιακά της σημεία για κάθε ειδική περίπτωση, χρησιμοποιώντας μία σειρά από λογικές εκφράσεις και όρους εφαρμογής. Κάθε σημείο της ορίζεται ως σημείο τομής δύο γεωμετρικών τόπων και πάντα εξαρτάται από κάποιο άλλο ήδη κατασκευασθέν σημείο. Ορισμένες μεταβλητές παράμετροι όπως οι επικλίσεις ορίζονται ως μια συνάρτηση $F(x)$ της χιλιομετρικής θέσης.

Στο παράρτημα παρατίθεται το πρόγραμμα που κατασκευάσθηκε για τον ορισμό της τυπικής διατομής που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη που εξετάσθηκε, όπου γίνεται σαφές ότι η γλώσσα STRAPS που χρησιμοποιήθηκε είναι μια εντελώς ιδιότυπη γλώσσα. Προϋπόθεση βέβαια για την είσοδο όλων των εντολών είναι να υπάρχει μια πλήρως επεξεργασμένη γραφική μελέτη της τυπικής διατομής, επεξεργασμένη καλά με όλες τις λεπτομέρειες, στην οποία να έχουν απεικονισθεί όλες οι κανονικές και ειδικές κατασκευές καθώς και οι εξαρτήσεις αυτών.

Συμπέρασμα:

Αυτό που προκύπτει από τη σύγκριση των δύο μεθόδων είναι ότι η μελέτη διατομών με τον υπολογιστή απαιτεί από το χρήστη μια ικανότητα και αντίληψη προγραμματισμού για τον πλήρη και ολοκληρωμένο ορισμό της τυπικής διατομής. Είναι ένα σημείο στο οποίο πιθανώς πολλοί επίδοξοι χρήστες που δεν κατέχουν βασικές αρχές προγραμματισμού, μιας οποιαδήποτε γλώσσας ηλεκτρονικού υπολογιστή, να συναντήσουν αρκετές δυσκολίες.

Αυτές οι δυσκολίες όμως αφορούν τις πρώτες μόνο φάσεις επαφής του νέου χρήστη με τον υπολογιστή και όταν μέσα από μία εκπαιδευτική διαδικασία ξεπερασθούν, ανοίγεται ο δρόμος για μια ταχύτατη μελέτη των διατομών καθώς για τα 1700 μέτρα της υπόψη μελέτης, το VESTRA χρειάσθηκε 1 μόνο λεπτό για να υπολογίσει και να είναι έτοιμο προς απεικόνιση στην οθόνη των 45 περίπου διατομών που είχαν ορισθεί σε αυτό το κομμάτι και οι οποίες με το απλό πάτημα

ενός πλήκτρου γίνονται διαδοχικά θεατές, επιτρέποντας έτσι στο χρήστη να πραγματοποιήσει μια γρήγορη εκτίμηση για τον όγκο των προκύπτοντων χωματισμών.

Ο περιορισμός του απαιτούμενου χρόνου και η απαλλαγή του χρήστη από τη διενέργεια επαναλαμβανόμενων παρόμοιων εργασιών είναι λοιπόν το μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή, σε αυτό το στάδιο.

2.6 Χωματισμοί

Τελικό στάδιο μιας προμελέτης οδού αποτελεί ο υπολογισμός των προκύπτοντων χωματουργικών, ο όγκος των οποίων θα καθορίσει και το ύψος του κόστους κατασκευής του έργου.

Η κατάρτιση του πίνακα χωματισμών βασίζεται στον καθορισμό των επιφανειών των διατομών που έχουν σχεδιασθεί όπως είδαμε με βάση την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή. Η εμβαδομέτρηση αυτή με τις κλασικές μεθόδους μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, οι κυριότερες εκ των οποίων, επιγραμματικά, είναι οι εξής:

- η μέθοδος με εμβαδόμετρο
- η μέθοδος των τετραγωνιδίων
- η μέθοδος των λωρίδων
- η μέθοδος των συντεταγμένων (Gauss)

Με βάση τις επιφάνειες που έχουν υπολογισθεί για κάθε διατομή με μία από τις παραπάνω μεθόδους υπολογίζεται ο όγκος των χωματισμών χρησιμοποιώντας, ως επί το πλείστον μια εκ των παρακάτω μεθόδων:

- η μέθοδος των εφαρμοστέων μηκών
- η μέθοδος των μέσων επιφανειών

Όλες αυτές οι μέθοδοι είναι χρονοβόρες, επίπονες και κάπου ανιαρές διότι επαναλαμβάνονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για κάθε σχεδιασθείσα διατομή αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα διαπράξεως υπολογιστικού λάθους λόγω βαθμιαίας ελάττωσης της ανθρώπινης επαγρύπνησης.

Με τις σύγχρονες μεθόδους των ηλεκτρονικών υπολογιστών η εμβαδομέτρηση των διατομών γίνεται με βάση ένα ειδικό πρόγραμμα, το οποίο στην περίπτωση του VESTRA είναι γραμμένο, όπως και η τυπική διατομή, στη γλώσσα STRAPS. Ουσιαστικά το πρόγραμμα της

ογκομέτρησης αποτελεί την εξέλιξη του προγράμματος ορισμού της τυπικής διατομής καθότι χρησιμοποιεί τις παραμέτρους που είχαν ορισθεί εκεί για να ορίσει τις ζητούμενες κλειστές πολυγωνικές γραμμές (επίχωμα, όρυγμα, φυτικές γαίες κλπ) των οποίων το εμβαδό υπολογίζει, κάνοντας χρήση ενός αλγορίθμου που βασίζεται στη μέθοδο των συντεταγμένων.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τον ορισμό αυτών των πολυγωνικών γραμμών διότι υπάρχουν εν γένει τέσσερις κατηγορίες διατομών. Αυτές είναι:

- διατομή εξ'ολοκλήρου σε επίχωμα
- διατομή εξ'ολοκλήρου σε όρυγμα
- μικτή διατομή με τη μια ημιδιατομή εξ'ολοκλήρου σε επίχωμα
- μικτή διατομή με τη μια ημιδιατομή εξ'ολοκλήρου σε όρυγμα

Για κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες πρέπει να δοθεί και μια διαφορετική εντολή υπολογισμού του ζητούμενου μεγέθους διότι μεταβάλλονται ανάλογα με την περίπτωση οι εξωτερικές γραμμές που ορίζουν την επιφάνεια του ορύγματος για παράδειγμα. Επίσης υπάρχουν ειδικές κατασκευές όπως οι τοίχοι αντιστήριξης, οι μπαγκίνες σε ψηλά ορύγματα ή οι αγκυρώσεις σε μεγάλες εγκάρσιες κλίσεις εδάφους που απαιτούν ειδική μέριμνα για τον υπολογισμό των περικλειόμενων επιφανειών.

Αφού υπολογισθούν για κάθε διατομή αυτές οι επιφάνειες, ο υπολογισμός των συνολικών όγκων για όλη την περιοχή υπολογισμού γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα, αφού φυσικά δοθεί η κατάλληλη εντολή, με βάση τη μέθοδο των μέσων επιφανειών και τα αποτελέσματα είτε εκτυπώνονται είτε αποθηκεύονται σε ένα αρχείο από όπου γίνονται θεατά μέσω της οθόνης. Στο παράρτημα παρατίθεται το πρόγραμμα που κατασκευάσθηκε για τον υπολογισμό των χωματισμών.

Συμπέρασμα:

Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών σ' αυτό το στάδιο της μελέτης παρέχει δύο σοβαρά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασικό τρόπο εργασίας.

α) Μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας των διατομών, εμβαδομέτρησής τους και υπολογισμού των χωματισμών. Για να εμβαδομετρηθούν για παράδειγμα 40 περίπου διατομές σ' ένα τμήμα 1700 μέτρων και να υπολογισθούν οι προκύπτοντες όγκοι απαιτήθηκε ένα χρονικό διάστημα της τάξης του δεκάλεπτου. Αυτός βέβαια ο χρόνος ισχύει αφού προηγουμένως εισαχθεί το πρόγραμμα ογκομέτρησης. Αυτοί οι πραγματικά υπερβολικά μικροί για τις κλασικές μεθόδους χρόνοι εργασίας δημιουργούν τις προϋποθέσεις για εξέταση εναλλακτικών λύσεων αλλά και για περαιτέρω διερεύνηση της επιδράσεως της μεταβολής των αποστάσεων μεταξύ των διατομών στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, όπως θα δειχθεί παρακάτω.

β) Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ότι για να γίνει ο αναλυτικός υπολογισμός των χωματισμών από το πρόγραμμα δεν είναι απαραίτητο να έχουν σχεδιασθεί προηγουμένως αυτές οι διατομές διότι η μία ενέργεια είναι ανεξάρτητη της άλλης. Έτσι μπορούν να εξετασθούν πάμπολλες εναλλακτικές λύσεις αποφεύγοντας τη χρήση του δαπανηρού και χρονοβόρου αυτόματου σχεδιογράφου.

2.7 Διερεύνηση της ακρίβειας

Είναι γνωστό και αρκετά προφανές ότι όσο πιο μικρές είναι οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών και όσο πιο πυκνά είναι τα σημεία εκατέρωθεν του άξονα που λαμβάνονται για την απεικόνιση του φυσικού εδάφους, τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης.

Αυτό όμως που δεν είναι αρκετά γνωστό είναι το κατά πόσο επηρεάζεται η ακρίβεια της μελέτης από τις μεταβολές αυτών των αποστάσεων και σε τελική ανάλυση από ποιο σημείο και έπειτα η πύκνωση αυτών των αποστάσεων παύει να μεταβάλλει την προκύπτουσα ακρίβεια.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα που έχει δώσει η μελέτη με τις κλασικές μεθόδους. Από τη σύγκρισή τους θα μπορέσουν να προκύψουν συμπεράσματα για την αξιοπιστία της χρήσης του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Για να εξετασθούν τα παραπάνω, έγινε η ογκομέτρηση του υπ' όψιν τμήματος για διαφορετικές ισαποστάσεις μεταξύ των διατομών ξεκινώντας από τα 10 μέτρα και καταλήγοντας στα 200 μέτρα, εξετάζοντας συνολικά 12 διαφορετικές περιπτώσεις ισαποστάσεων και για 3 διαφορετικές κατηγορίες διατομών. Η πρώτη κατηγορία αφορούσε διατομές στις οποίες τα σημεία με τα υψόμετρα του φυσικού εδάφους λαμβάνονταν ανά 5 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα, στη δεύτερη κατηγορία τα σημεία παίρνονταν ανά 10 μέτρα και στην τρίτη ανά 15 μέτρα.

Συνολικά λοιπόν έγιναν 36 διαφορετικοί υπολογισμοί χωματισμών για το τμήμα των 1700 περίπου μέτρων της μελέτης και τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στις επόμενες σελίδες.

Αποτελέσματα VESTRA
(Σημεία εδάφους ανά 5 m εκατέρωθεν του άξονα)

Ισοπέδωση διατομών (m)	Επιχώματα (m ³)	Ποσοστό (%)	Ορύγματα (m ³)	Ποσοστό (%)
10	294.657	97,53	127.544	81,43
20	293.988	97,51	127.330	81,30
40	294.108	97,55	126.959	81,06
60	295.347	97,96	128.605	82,11
80	288.534	95,70	133.535	85,26
100	296.323	98,28	141.213	90,16
120	303.378	100,63	137.734	87,94
140	274.661	91,10	148.794	95,00
150	372.919	123,69	114.681	73,22
160	309.717	102,73	142.293	90,85
182	228.690	75,85	110.954	70,84
200	251.202	83,31	152.399	97,30
Μέση Τιμή	291.960		132.670	
Τυπική Απόκλιση	34.406		12.578	

Επιχώματα μελέτης: 301.491 m³

Ορύγματα μελέτης : 156.622 m³

Τα ποσοστά των αποτελεσμάτων του VESTRA αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα της μελέτης με την κλασική μέθοδο.

Αποτελέσματα VESTRA

(Σημεία εδάφους ανά 10 m εκατέρωθεν του άξονα)

Ισοπέδωση διατομών (m)	Επιχώματα (m ³)	Ποσοστό (%)	Ορύγματα (m ³)	Ποσοστό (%)
10	293.650	97,40	127.209	81,22
20	292.261	96,64	126.698	80,89
40	292.957	97,17	126.450	80,74
60	294.370	97,64	127.957	81,70
80	287.377	95,32	133.098	84,98
100	295.938	98,16	140.433	89,66
120	301.559	100,02	136.929	87,43
140	274.186	90,94	147.927	94,45
150	373.301	123,02	115.689	73,87
160	308.326	102,27	141.870	90,58
182	226.335	75,07	110.010	70,24
200	251.553	83,44	151.750	96,89
Μέση Τιμή	290.984		132.168	
Τυπική Απόκλιση	34.729		12.378	

Επιχώματα μελέτης: 301.491 m³Ορύγματα μελέτης : 156.622 m³

Τα ποσοστά των αποτελεσμάτων του VESTRA αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα της μελέτης με την κλασική μέθοδο.

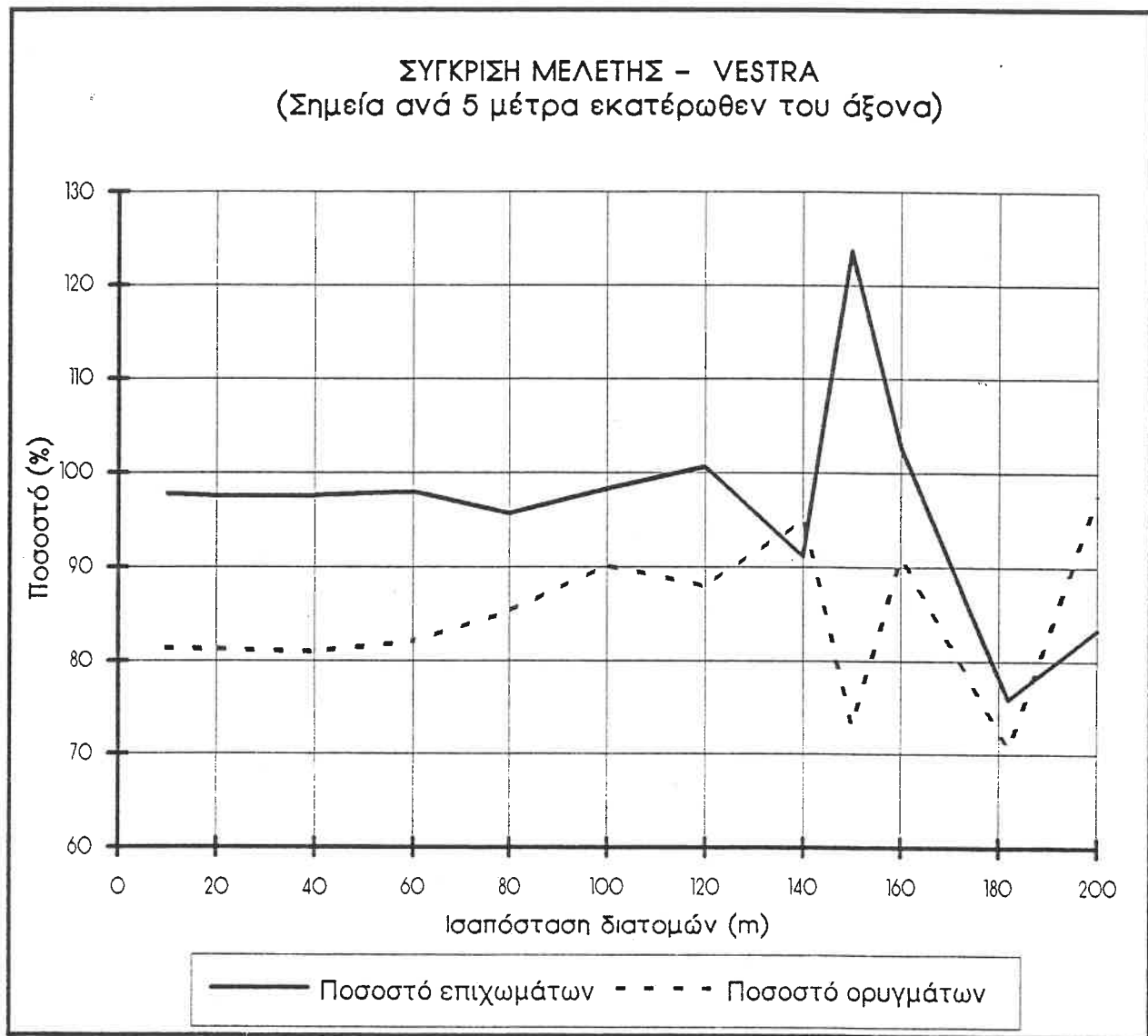
Αποτελέσματα VESTRA
(Σημεία εδάφους ανά 15 m εκατέρωθεν του άξονα)

Ισοπέδωση διατομών (m)	Επιχώματα (m ³)	Ποσοστό (%)	Ορύγματα (m ³)	Ποσοστό (%)
10	293.133	97,23	125.923	80,40
20	292.946	97,17	125.385	80,06
40	293.970	97,51	124.715	79,63
60	294.175	97,57	125.636	80,22
80	290.070	96,21	130.718	83,46
100	297.282	98,60	137.800	87,98
120	304.008	100,83	133.373	85,16
140	275.728	91,45	145.420	92,91
150	369.321	122,50	113.910	72,73
160	309.653	102,71	138.937	88,71
182	223.912	74,27	108.931	69,55
200	254.739	84,49	148.798	95,00
Μέση Τιμή	291.578		129.962	
Τυπική Απόκλιση	34.064		11.799	

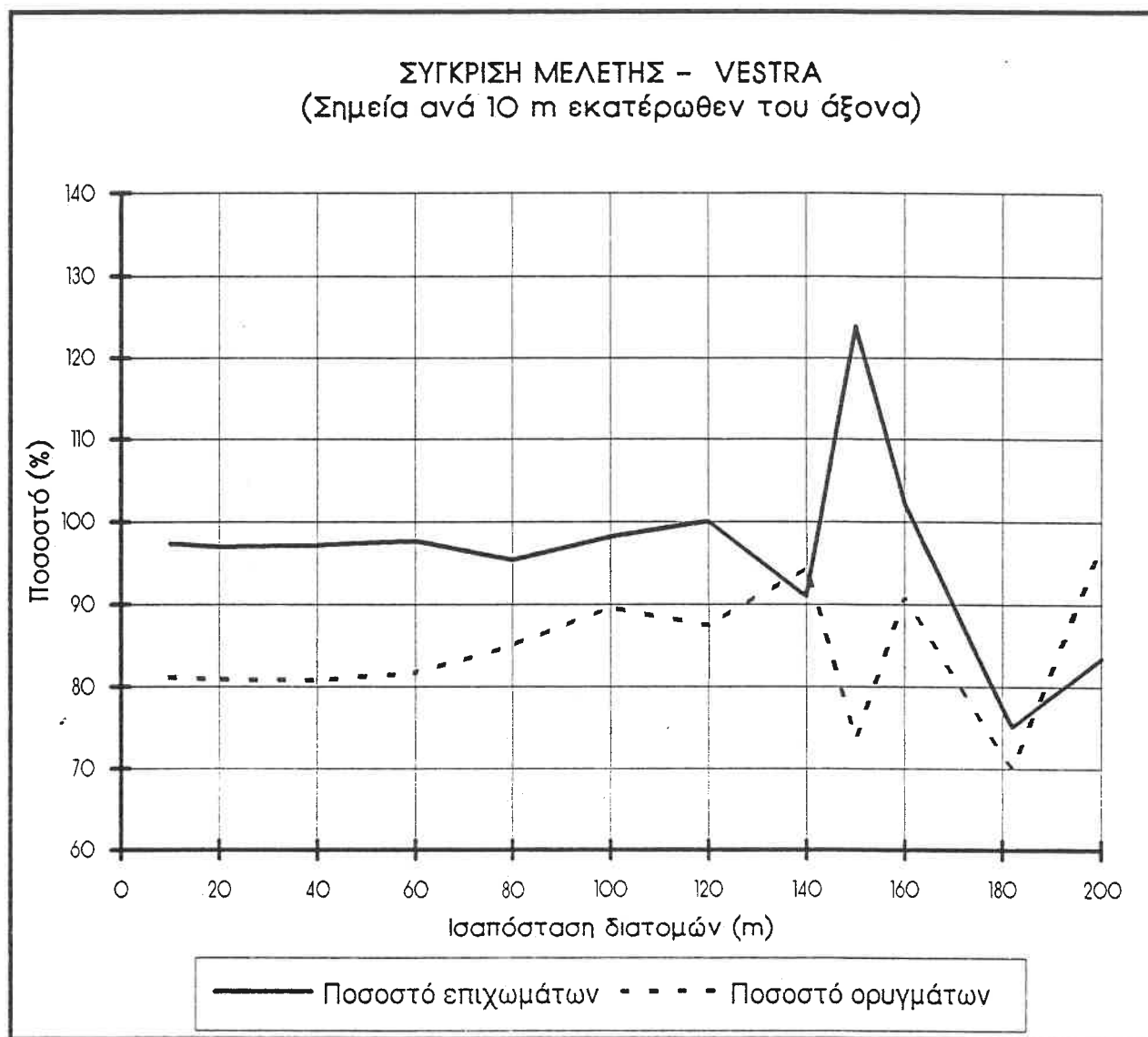
Επιχώματα μελέτης: 301.491 m³

Ορύγματα μελέτης : 156.622 m³

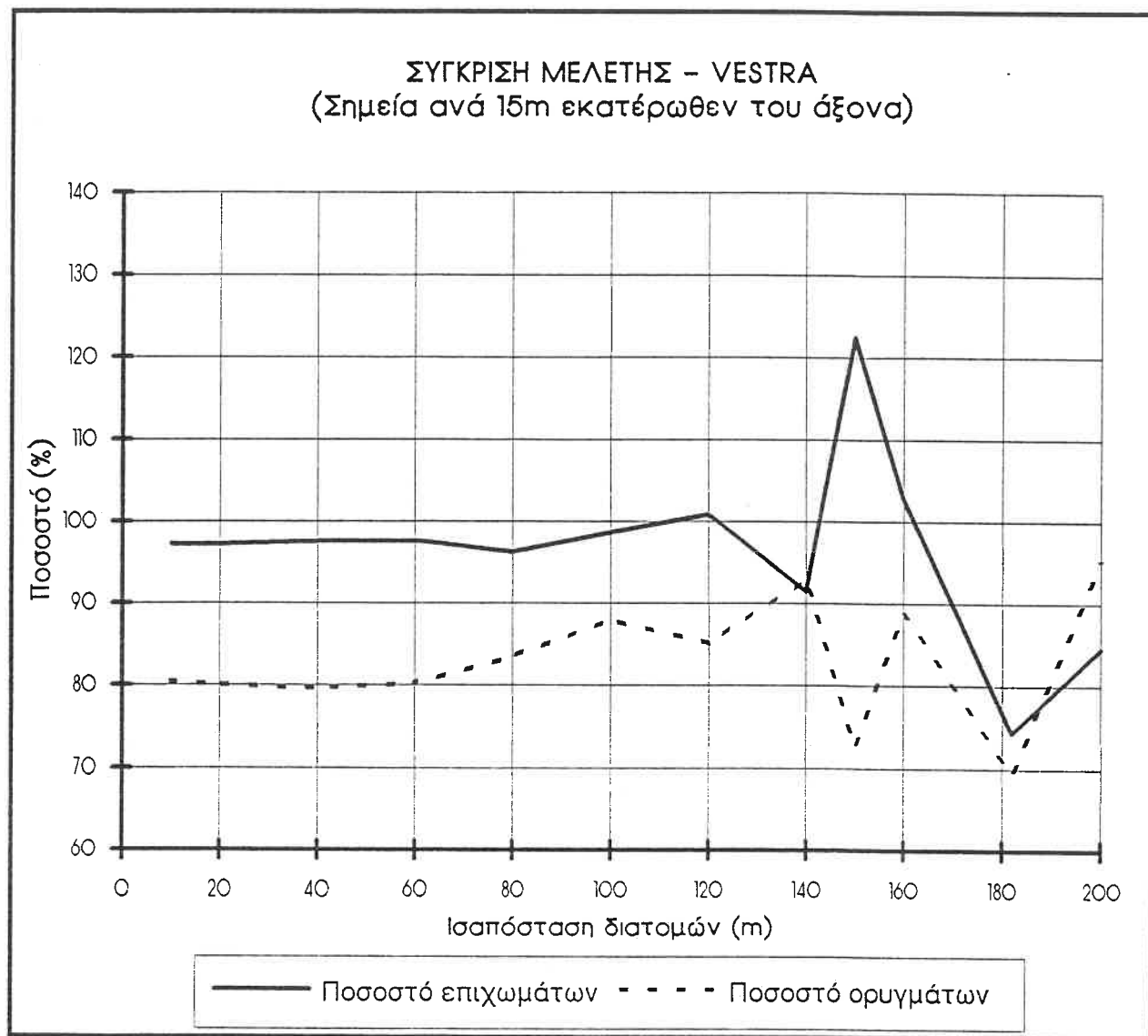
Τα ποσοστά των αποτελεσμάτων του VESTRA αναφέρονται σε σχέση με τα αποτελέσματα της μελέτης με την κλασική μέθοδο



Διάγραμμα 1. Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των αποτελεσμάτων της ογκομέτρησης με το VESTRA για διάφορες ισαποστάσεις διατομών, ως ποσοστό των αποτελεσμάτων της μελέτης. (Σημεία εδάφους ανά 5 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα.)



Διάγραμμα 2. Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των αποτελεσμάτων της ογκομέτρησης με το VESTRA για διάφορες ισαποστάσεις διατομών, ως ποσοστό των αποτελεσμάτων της μελέτης. (Σημεία εδάφους ανά 10 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα.)



Διάγραμμα 3. Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των αποτελεσμάτων της ογκομέτρησης με το VESTRA για διάφορες ισαποστάσεις διατομών, ως ποσοστό των αποτελεσμάτων της μελέτης. (Σημεία εδάφους ανά 15 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα.)

2.8 Συμπεράσματα

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα που έδωσε η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και συγκρίνοντάς τα με τα αντίστοιχα της μελέτης με την κλασική μέθοδο καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

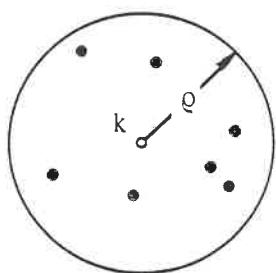
i) Υπάρχει μια περιοχή τιμών για τις ισαποστάσεις των διατομών, περίπου έως τα 60 μέτρα, για την οποία τα προκύπτοντα αποτελέσματα δείχνουν να είναι σταθερά και η οποία θα πρέπει να θεωρείται ως η περιοχή μέγιστης ακρίβειας σε επίπεδο προμελέτης. Αντίθετα όσο απομακρυνόμαστε από αυτές τις τιμές εισερχόμαστε σε μια περιοχή αστάθειας όπου το προκύπτον αποτέλεσμα μετατρέπεται σε ένα τελείως τυχαίο φαινόμενο και ειδικά από τα 120 μέτρα και πάνω ελέγχεται ως ανακριβές.

ii) Η ακρίβεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή σε σχέση με την κλασική μέθοδο και για ισαποστάσεις μεταξύ των διατομών μικρότερες από 60 μέτρα, όσον αφορά τα επιχώματα, είναι πολύ μεγάλη, της τάξης του 97%. Η μικρή αυτή απόκλιση των αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί στα παρακάτω αίτια:

— Οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών της συμβατικής μελέτης δεν ήταν σταθερές αλλά ποίκιλαν για το συγκεκριμένο τμήμα μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής των 33,94 μέτρων και μιας μέγιστης τιμής των 184,58 μέτρων έχοντας μια μέση τιμή 87,43 μέτρα. Με βάση λοιπόν αυτά που αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου, οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών όπως ελήφθησαν στη συμβατική μέθοδο ανήκαν, ως επί το πλείστον, στην κρίσιμη περιοχή της μειωμένης ακρίβειας, και όπως επίσης θα αναφερθεί παρακάτω οι μεγάλες αυτές αποστάσεις μεταξύ των διατομών επιδρούν αρνητικά στο σφάλμα καμπυλότητας.

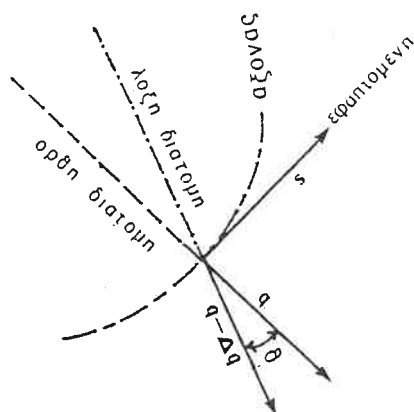
— Υπάρχει μια διαφορά στην ακρίβεια ανάγνωσης των υψομέτρων των σημείων μεταξύ των δύο μεθόδων. Το ανθρώπινο

μάτι κατά την κλασική μέθοδο κάνει μια κάπως χοντρική εκτίμηση, ακόμα και όταν χρησιμοποιείται υποδεκάμετρο, με βάση τις δύο γειτονικές ισοϋψείς. Αντίθετα ο υπολογιστής κάνει μια παρεμβολή (αυστηρά μαθηματική πράξη) και υπολογίζει την τιμή του υψομέτρου στο τυχόν σημείο k σαν το μέσο όρο των γνωστών τιμών των σημείων που τυχαίνει να βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη ή ίση από την ακτίνα κάποιου κύκλου ακτίνας ρ που την καθορίζει, αναλόγως της μορφής του τοπογραφικού αναγλύφου, ο χρήστης (Σχ. 8).



Σχ. 8 Σχηματική απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού του υψομέτρου του σημείου k ως η κεντροβαρική μέση τιμή των γνωστών υψομέτρων γειτονικών σημείων. (Πηγή [17])

— Όταν η διατομή σχεδιάζεται με το χέρι είναι πιθανό να εμφανίζεται το σφάλμα καθετότητας, το οποίο προέρχεται από τη μη ορθή υλοποίηση της διατομής του εδάφους η οποία μαθηματικά πρέπει να είναι κάθετη στον άξονα της οδού.



Σχ. 9 Σφάλμα καθετότητας διατομής. (Πηγή [19])

Αυτό το σφάλμα (Σχ. 9) είναι εν γένει μικρό εφόσον θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει χονδροειδές σφάλμα. Για παράδειγμα^[19] για γωνιακό σφάλμα $\theta=5^\circ$, διατομή οδού πλάτους 10m, ύψους 1m, διαμήκους κλίσης του εδάφους 5% και εγκάρσιας κλίσης αυτού 30%, το σφάλμα αυτό είναι μόλις 1%.

— Ένα άλλο σφάλμα που εμφανίζεται όταν η πύκνωση των διατομών δεν είναι μεγάλη είναι το σφάλμα καμπυλότητας. Αυτό υπεισέρχεται στον υπολογισμό των χωματισμών όταν δεν ληφθεί υπόψη η καμπυλότητα του άξονα της οδού και προσεγγισθεί το καμπύλο τμήμα από ευθύγραμμο. Η τιμή αυτού του σχετικού σφάλματος ανέρχεται σε^[19]:

$$S_k = \frac{100}{R} \frac{Kq(B+2KH_m)^3}{3(1-K^2q^2)(B+2KH_m)^2 - B^2(1-K^2q^2)}$$

όπου S_k [%] = σχετικό σφάλμα καμπυλότητας

R [m] = η ακτίνα της καμπύλης

H_m [m] = το μέσον ύψος του χωματουργικού σώματος

K [-] = παράμετρος κλίσης πρανούς (1:K)

q [-] = εγκάρσια κλίση εδάφους

B [m] = πλάτος καταστρώματος

Το σφάλμα αυτό αντιμετωπίζεται με πύκνωση των διατομών δηλαδή με απόσταση μεταξύ τους όχι μεγαλύτερη των 50m ακόμη και σε σχεδόν επίπεδο έδαφος. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι το σφάλμα αυτό λαμβάνει άλλοτε θετική και άλλοτε αρνητική τιμή, ανάλογα με τη θέση του κ.β. της διατομής δεξιά ή αριστερά του άξονα. Έτσι είναι δυνατό αυτά τα επιμέρους σφάλματα να εξισορροπούνται και το τελικό σφάλμα να αγγίζει το μηδέν.

Τυχόν σφάλματα κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης λόγω των παραμορφώσεων που έχει υποστεί ο χάρτης από τον καιρό της μελέτης έως σήμερα (πάνω από 3 χρόνια) δεν επέδρασαν αρνητικά στην πιστότητα του παραχθέντος Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, διότι το πρόγραμμα πραγματοποιεί από μόνο του μια εξομάλυνση αυτών των

λαθών, συρρικνώνοντας ή διογκώνοντας αντίστοιχα όλα τα μεγέθη, ούτως ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι το ίδιο.

iii) Όσον αφορά όμως τα ορύγματα η ακρίβεια αυτή είναι μικρότερη, και κυμαίνεται γύρω στο 81%, για την περιοχή της μεγίστης ακρίβειας. Το γεγονός αυτό εκτός από τα αίτια που αναφέρθηκαν στην περίπτωση των επιχωμάτων οφείλεται στην παρουσία ορισμένων τεχνικών έργων όπως είναι οι αγκυρώσεις των επιχωμάτων και οι θεμελιώσεις των τοίχων αντιστήριξης, οι διαστάσεις των οποίων σε επίπεδο προμελέτης δεν είναι καθορισμένες με αυστηρά μαθηματικά κριτήρια για κάθε χιλιομετρική θέση και η διαμόρφωσή τους σε κάθε διατομή αφήνεται σε σημαντικό βαθμό στην κρίση του μελετητή.

iv) Η μεταβολή της ακρίβειας των αποτελεσμάτων σε συνάρτηση με τη μεταβολή των αποστάσεων των σημείων δεξιά και αριστερά του άξονα, που λαμβάνονται για την απεικόνιση του φυσικού εδάφους, είναι ασήμαντη. Αυτό αποδεικνύεται στατιστικά ως εξής:

Θεωρούμε τα τρία δείγματα των αποτελεσμάτων του υπολογιστή με σημεία εδάφους ανά 5, 10 και 15 μέτρα εκατέρωθεν του άξονα αντιστοιχώς. Κάθε ένα από αυτά τα δείγματα έχει πληθυσμό $n=12$, δηλαδή πρόκειται για μικρά δείγματα ($n < 30$), με μέση τιμή $\bar{X}$ και τυπική απόκλιση S . Για να μην απορριφθεί η υπόθεση ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ αυτών των δειγμάτων και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από αυτά είναι στατιστικώς ίσα θα πρέπει τόσο οι τυπικές αποκλίσεις τους όσο και οι μέσες τιμές τους να μην διαφέρουν μεταξύ τους.

Αρχικά θα ελεγχθεί σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.10$ η υπόθεση ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των διασπορών των πληθυσμών από όπου προέρχονται τα δείγματα, δηλ.

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_a: \sigma_1 \neq \sigma_2$$

Ο έλεγχος θα γίνει με τη στατιστική συνάρτηση $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$

Χρησιμοποιώντας διπλευρο έλεγχο θα δεχθούμε την H_0 (ή δε θα την απορρίψουμε) σε επίπεδο σημαντικότητας 0.10 εάν

$$F_{0.05} \leq F \leq F_{0.95}$$

Επειδή όλα τα δείγματα έχουν μέγεθος $n=12$ θα χρησιμοποιήσουμε την κατανομή F με $n-1, n-1$ δηλαδή 11,11 βαθμούς ελευθερίας οπότε από τους πίνακες έχουμε

$$F_{11,11,0.95} = 2.82$$

και

$$F_{11,11,0.05} = \frac{1}{F_{11,11,0.95}} = 0.35$$

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του Πίνακα 1 για όλους τους ελέγχους δειγμάτων ανά δύο τόσο για τα επιχώματα όσο και για τα ορύγματα ισχύει:

$$0.35 \leq F \leq 2.82$$

οπότε η μηδενική υπόθεση H_0 δεν απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.10$.

Στη συνέχεια θα ελεγχθεί η υπόθεση ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ των μέσων τιμών των πληθυσμών για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.10$, δηλ.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Με βάση τις σχέσεις

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$\text{όπου } \sigma = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

υπολογίζεται για κάθε ζεύγος δειγμάτων τόσο για τα επιχώματα όσο και τα ορύγματα η παράμετρος T η οποία συγκρίνεται με την τιμή $t_{0.95}$ της κατανομής του Student με $v=n_1+n_2-2 = 22$ βαθμούς ελευθερίας οπότε αν

$$-t_{0.95} \leq T \leq t_{0.95}$$

δηλαδή με βάση τους πίνακες της κατανομής αν:

$$-1.72 \leq T \leq 1.72$$

τότε δεν απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση για $\alpha=0.10$.

Πράγματι όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1 η παράμετρος T βρίσκεται για όλες τις περιπτώσεις μέσα στα παραπάνω όρια οπότε το αρχικώς διατυπωθέν συμπέρασμα ισχύει.

ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ					
Αποστάσεις σημείων (m)	Μέση Τιμή X	Τυπική Απόκλιση (S)	F ($\frac{S_1^2}{S_2^2}$)	σ	T
5	291960	34406	0.98	36105	0.066
10	290984	34729			
5	291960	34406	1.02	35758	0.026
15	291578	34064			
10	290984	34729	1.04	35928	-0.040
15	291578	34064			
ΟΡΥΓΜΑΤΑ					
Αποστάσεις σημείων (m)	Μέση Τιμή X	Τυπική Απόκλιση (S)	F ($\frac{S_1^2}{S_2^2}$)	σ	T
5	132670	12578	1.03	13033	0.094
10	132168	12378			
5	132670	12578	1.14	12737	0.521
15	129962	11799			
10	132168	12378	1.10	12630	0.428
15	129962	11799			

Πίνακας 1: Στατιστική επεξεργασία των στοιχείων για την εύρεση των μεγεθών F και T που χρησιμοποιήθηκαν στους προαναφερθέντες έλεγχους υποθέσεων.

Το t-test για τον έλεγχο της ισότητας των μέσων όρων των πληθυσμών προϋποθέτει ότι οι πληθυσμοί έχουν κανονικές κατανομές ή τουλάχιστον ότι οι κατανομές των πληθυσμών είναι πανομοιότυπες. Για να ελεγχθεί η ισχύς αυτής της υποθέσεως θα πρέπει να γίνει χρήση μεθόδων της μη παραμετρικής στατιστικής (nonparametric statistics).

Μια τέτοια μέθοδος είναι το τεστ Mann-Whitney το οποίο προέρχεται από το τεστ Wilcoxon και θεωρείται πιο αξιόπιστο από το τελευταίο διότι δεν εξετάζει τις διαφορές των δειγματικών τιμών αλλά κάνει μια στοίχιση και άθροιση αυτών των στοιχών οπότε σε περίπτωση που οι τιμές ενός δείγματος είναι πάντα κατά κάτι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του άλλου δείγματος, για κάθε ζεύγος τιμών, δεν οδηγεί πάντα σε απόρριψη της υποθέσεως όπως οδηγεί το τεστ Wilcoxon. Επιπροσθέτως το τεστ Mann-Whitney είναι πιο γενικό καθώς μπορεί να εφαρμοσθεί και για εξέταση δειγμάτων με διαφορετικά μεγέθη σε αντίθεση με το τεστ Wilcoxon που εφαρμόζεται μόνο για ισομεγέθη δείγματα.

Σύμφωνα λοιπόν με το τεστ Mann-Whitney η μηδενική υπόθεση H_0 ότι οι κατανομές των δύο πληθυσμών των δειγμάτων A (μεγέθους n_1) και B (μεγέθους n_2) είναι πανομοιότυπες εξετάζεται έναντι της εναλλακτικής υποθέσεως H_a ότι αυτές οι κατανομές διαφέρουν μεταξύ τους ως εξής:

Όλες οι n ($n_1 + n_2$) παρατηρήσεις συνδυάζονται και κατατάσσονται με βάση το μέγεθός τους δίνοντας την τιμή 1 στο μικρότερο και την τιμή n στο μεγαλύτερο μέγεθος. Έτσι όλες οι τιμές του κάθε δείγματος παίρνουν κι έναν αριθμό κατάταξης οι οποίοι αριθμοί αθροίζονται για κάθε δείγμα και παίρνουμε τις τιμές W_A και W_B .

Στη συνέχεια υπολογίζεται η τιμή U ως η μικρότερη των τιμών

$$U_A = n_1 n_2 + \frac{n_1 (n_1 + 1)}{2} - W_A$$

και

$$U_B = n_1 n_2 + \frac{n_2 (n_2 + 1)}{2} - W_B$$

Για να μην απορριφθεί η υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.10$ θα πρέπει η παράμετρος

$$z = \frac{U - \frac{n_1 n_2}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}}$$

να είναι $z < -1.64$ ή $z > 1.64$

ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ				
Αποστάσεις σημείων (m)	Άθροισμα στοιχων W	Παράμετρος U_i	U	z
5	158	64	64	-0.46
10	142	80		
5	155	67	67	-0.29
15	145	77		
10	147	75	69	-0.17
15	153	69		
ΟΡΥΓΜΑΤΑ				
Αποστάσεις σημείων (m)	Άθροισμα στοιχων W	Παράμετρος U_i	U	z
5	157	65	65	-0.40
10	143	79		
5	164	58	58	-0.81
15	136	86		
10	163	59	59	-0.75
15	137	85		

Πίνακας 2: Υπολογισμός της παραμέτρου z για το τεστ Mann-Whitney.

Πράγματι όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η τιμή του z δεν ανήκει στο παραπάνω διάστημα για κανένα από τους ελέγχους ανά δύο των τριών δειγμάτων που έχουμε τόσο για τα επιχώματα όσο και για τα ορύγματα, οπότε η υπόθεση ότι οι πληθυσμοί δεν ακολουθούν την ίδια κατανομή δεν μπορεί να απορριφθεί σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.10$.

v) Πέρα από τη δυνατότητα εκπονήσεως των εργασιών, με τη βοήθεια του υπολογιστή, με μεγαλύτερη ακρίβεια αφ'ενός λόγω της εξάλειψης των υπολογιστικών λαθών και αφ'ετέρου λόγω της εξάλειψης της εμφάνισης ορισμένων σφαλμάτων όπως το σφάλμα καθετότητας, υπάρχει ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα υπέρ του υπολογιστή, το οποίο είναι ο παράγοντας χρόνος. Η αύξηση της παραγωγικότητας που αρχίζει να γίνεται εμφανής από το στάδιο της μελέτης της μηκοτομής και έπειτα παίρνει τη μέγιστη τιμή της, η οποία με βάση τη βιβλιογραφία^[5] έχει εμφανίσει ακόμα και την τιμή του 10:1, στο στάδιο του υπολογισμού των χωματουργικών των οποίων ο υπολογισμός μπορεί να γίνει χωρίς καν να σχεδιασθούν οι διατομές.

vi) Γενικά η δυσκολία με τα συστήματα CAD έγκειται στο να γίνει το πρώτο βήμα, στο να ξεκινήσει κάποιος από το μηδέν και να φθάσει στο ένα. Από εκεί και έπειτα η πρόοδος είναι ραγδαία καθώς ο ανά χιλιόμετρο απαιτούμενος χρόνος για τη μελέτη μιας οδού μειώνεται σχεδόν εκθετικά, όσο αυξάνει το υπό μελέτη τμήμα οδού, σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους που παραμένει σχεδόν σταθερός. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα. Έστω ότι έχει γίνει η μελέτη ενός οδικού τμήματος 5 χιλιομέτρων και επιδιώκεται να γίνει η επέκταση αυτής της μελέτης για 2 επιπλέον χιλιόμετρα. Έστω ακόμη ότι για την επέκταση του υπάρχοντος άξονα και της υπάρχουσας μηκοτομής οι χρόνοι είναι ίδιοι και για τις δυο μεθόδους, και το τοπογραφικό υπόβαθρο για τα επιπλέον 2 χιλιόμετρα είναι ήδη ψηφιοποιημένο. Για να γίνει η μελέτη όμως

των διατομών και να υπολογισθούν οι όγκοι, με την κλασική μέθοδο θα πρέπει να σχεδιασθούν νέες διατομές για τα 2 νέα χιλιόμετρα, να εμβαδομετρηθούν αυτές και στη συνέχεια να υπολογισθούν οι όγκοι. Έτσι αν απαιτήθησαν 5 χρονικές μονάδες για τη μελέτη των 5 πρώτων χιλιομέτρων τώρα θα απαιτηθούν περίπου 2 χρονικές μονάδες, μείον το χρόνο για τον ορισμό της τυπικής διατομής, για τη μελέτη των 2 επιπλέον χιλιομέτρων. Ο χρόνος ορισμού της τυπικής διατομής με την κλασική μέθοδο αποτελεί σίγουρα ένα μικρό μόνο ποσοστό του συνολικού χρόνου σε αντίθεση με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Με τον υπολογιστή το μεγαλύτερο μέρος από τις έστω 5 χρονικές μονάδες (όχι κατ'ανάγκη ταυτόσημες με αυτές της κλασικής μεθόδου) που απαιτήθηκαν για τη μελέτη αυτών των 5 πρώτων χιλιομέτρων είχε αναλωθεί στην κατασκευή των προγραμμάτων ορισμού της τυπικής διατομής και ογκομέτρησης. Δεδομένης της υπάρξεως τώρα αυτών των προγραμμάτων, η μελέτη των 2 επιπλέον χιλιομέτρων θα γίνει ταχύτατα καθώς η μόνη ανθρώπινη επέμβαση θα είναι η αλλαγή των χιλιομετρικών ορίων υπολογισμού για τις διατομές και την ογκομέτρηση και οπωσδήποτε ο απαιτούμενος χρόνος θα είναι αρκετά κάτω από τις 2 χρονικές μονάδες.

2.9 Επίλογος

Στην παρούσα διπλωματική εξετάσθηκαν οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών πάνω στις μελέτες οδοποιίας με έμφαση στο γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Υπάρχουν όμως και άλλες εφαρμογές του μηχανικού στις οποίες μπορεί να ανταπεξέλθει με επιτυχία το συγκεκριμένο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε όπως είναι η μελέτη ισόπεδων και ανισόπεδων κόμβων, η μελέτη κυκλικών κόμβων (roundabouts), οι σιδηροδρομικές μελέτες ή ακόμα και η σύνταξη κτηματολογίου. Λόγω βέβαια του πεπερασμένου χρόνου εκπονήσεως μιας διπλωματικής εργασίας δεν ήταν δυνατό να καλυφθούν και να διερευνηθούν όλες αυτές οι δυνατότητες εφαρμογής του συστημάτων CAD, και ειδικότερα του VESTRA. Ελπίζεται όμως ότι θα δοθεί το ερέθισμα σε άλλους τελειόφοιτους φοιτητές, και όχι μόνο, να ασχοληθούν και να εμβαθύνουν αυτές τις εκφάνσεις της χρήσης των συστημάτων CAD.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Merwarth, William. "Untangling a Can of Worms (redesign of an infamous interchange in Rochester, N.Y.)"
Civil Engineering (American Society of Civil Engineers), v60, June 1990.
2. Holt, Christopher. "CADD adds safety to the Ryan (Viaduct, Chicago, Ill.)"
Civil Engineering (American Society of Civil Engineers), v58, April 1988.
3. Hodge, Charlie S. "The trouble with CADD."
Civil Engineering (American Society of Civil Engineers), v57, June 1987.
4. Sullivan, Richard D. "Highway design in 3-D."
Civil Engineering (American Society of Civil Engineers), v62, June 1992.
5. Crawford, William L. and Chavez, Agustin. "IGrds-computer-aided roadway design and drafting system."
Journal of Transportation Engineering, v116, November/December 1990.
6. Korte, George. "Computer-aided design and drafting systems."
Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice, v161, August 1990.
7. Rioux, T.W. "Use of Interactive Graphics at State DOTs"
Unpublished surveys conducted for the Transportation Research Board's Committee on Computer Graphics and Interactive Computing.
8. Norris, Donald F. "CADD system saves time and work."
Public Works, v120, August 1989.
9. "CAD helps visualize highway design alternatives."
Public Works, v122, July 1991.
10. Jarboe, Paul. "Road Warriors."
Cadence, May 1992.

11. Bristow, N. "Using new technology. Its application to road design."
Routes/Roads, n277/II-1992.
12. Gerbenne, J. L.; Thevenon, H. "Tracé autoroutier et informatique."
Travaux, n645, Jul-Aug 1989.
13. Summerell, R.; Carrigan, K.; Wrenn, J. "CAD and the Corps."
Computer-Aided Engineering, June 1992.
14. Εγχειρίδιο χρήσης VESTRA.
15. Lamm, R., Guenther, A., Ψαριανός, Β. "Αυτοματοποίηση μελέτης, κατασκευής, τοπογραφικών, πιστοποιήσεων και απαλλοτριώσεων οδικών και σιδηροδρομικών έργων με το γερμανικό σύστημα προγραμμάτων VERBUND"
Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, τεύχος 97, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1990.
16. Γιώτης Απ., Κανελλαΐδης Γ., Μαλέρδος Γ. "Γεωμετρικός Σχεδιασμός των Οδών."
Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1990.
17. Παρασχάκης, Ι., Παπαδοπούλου, Μ., Πατιάς, Π. "Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία."
Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1991.
18. Ingham, P. "CAD Systems in mechanical and production engineering."
Heinemann Newnes, 1989.
19. Ψαριανός, Β. "Κριτήρια εφαρμογής μεθόδου διατομών κατά τον υπολογισμό των χωματισμών στα συγκοινωνιακά έργα."
Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, τεύχος 103, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1991

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

K,F40,,OR*GB,N,F30,KLOR,P,B1,0.0;	K 14
K,C00,,,V,A00,-0.55;	K 15
K,C10,R,OR,G,C00,QR01,P,F20/F30,0.00;	K 16
K,C10,L,OR,G,C00,QL01,P,F20/F30,0.00;	K 17
K,C10,R,EP,G,C00,QR01,P,F20/F40,0.00;	K 18
K,C10,L,EP,G,C00,QL01,P,F20/F40,0.00;	K 19

C

C Τώρα θα ορίσουμε τον τοίχο αντιστήριξης

C

A,SA,,,Z,ABBR,GT,0.0;	SA: τοίχος αντιστήριξης	A 7
A,AS,,,Z,ABBR,LT,1.00;	AS: χωρίς τοίχο αντιστήριξης	A 8
B,Z00,R,SA,15.5;		
K,L10,R,SA,Z,A00,15.5,P,F20/F40,0.0;	L: τοίχος	K 20
K,L20,R,SA,Z,A00,15.5,P,B1,0.00;		K 21
K,L30,R,SA,Z,A00,15.5,P,B1,-2.00;		K 22
K,H10,R,SA,P,B1,0.00,Z,L10,-2.50;	H: βάθος του τοίχου	K 23
K,H20,R,SA,Z,H10,0.00,Y,L30,0.00;		K 24
K,H30,R,SA,I,L30;		K 25

C

C Ας ορίσουμε τώρα τη φυτική γη

C

K,Z10,,,P,B1,0.00,Z,A00,0.00;	K 26
K,Z20,,,P,B1,0.00,Z,A00,5.00;	K 27
K,Z30,,,P,B1,0.00,Z,A00,10.00;	K 28
K,Z40,,,P,B1,0.00,Z,A00,15.00;	K 29
A,AT,,,Y,F40,GT,Z30;	A 9
K,Z50,,,P,B1,0.00,Z,A00,20.00;	K 30
A,AF,,,Y,F40,GT,Z40;	A 10
A,AV,,,Y,F40,GT,Z50;	A 11

C

C Τα σημεία Z10 έως Z50 είναι βοηθητικά για τον ορισμό των N10 έως N50

C

K,N10,,,V,Z10,-0.20;	K 31
K,N20,,,V,Z20,-0.20;	K 32
K,N30,,AT,V,Z30,-0.20;	K 33
K,N40,,AF,V,Z40,-0.20;	K 34

K,N50,,AV,V,Z50,-0.20;	K 35
K,N80,,,V,F40,-0.20;	K 36
K,N90,,,Z,F40,2.00,P,B1,0.00;	K 37
C	
C Κατασκευή όρων εφαρμογής για μικτές διατομές	
C	
A,ME,,,Z,C00,GT,N10,AND,Z,C10,LT,B1; Μικτή ορύγματος με επιχώμα	A 12
A,MO,,,Z,C00,LT,N10,AND,Z,C10,GT,B1; Μικτή επιχώματος με όρυγμα	A 13
A,EM,,,Z,C00,LT,N10,AND,Z,C10,LE,B1;	A 14
C	
C Κατασκευή επένδυσης επιχώματος	
C	
K,Q10,,EP,I,F20;	K 38
K,Q20,,EP,H,F20,0.20;	K 39
K,Q30,,EP,H,C10,0.20;	K 40
K,Q40,,EP,H,F40,0.20;	K 41
C	
C Κατασκευή βοηθητικών σημείων για τα χωματοουργικά	
C	
K,Z35,,OR,P,F30/F40,0.00,P,B1,-0.20;	K 42
K,C05,,ME,P,C00/C10,0.00,P,B1,0.00;	K 43
K,C05,,MO,P,C00/C10,0.00,P,B1,0.00;	K 44
C	
C Κατασκευή αγκυρώσεων	
C	
K,Z11,R,,Z,Z10,15.00,Y,Z10,-2.20;	K 45
A,AN,R,EP*ST,Z,Z11,GT,B1; Όρος για κατασκευή αναβαθμών δεξιά	A 15
K,G00,R,AN,Z,Z10,0.00,P,B1,-0.20; Αναβαθμοί δεξιάς πλευράς	K 46
K,Z12,R,AN,Z,Z10,3.00,P,B1,-0.20;	K 47
K,G05,R,AN,Z,G00,0.00,Y,Z12,-0.30;	K 48
K,G10,R,AN,V,Z12,-0.10;	K 49
K,Z13,R,AN,Z,Z12,3.00,P,B1,-0.20;	K 50
K,G15,R,AN,Z,G10,0.00,Y,Z13,-0.30;	K 51
K,G20,R,AN,V,Z13,-0.10;	K 52
K,Z14,R,AN,Z,Z13,3.00,P,B1,-0.20;	K 53
K,G25,R,AN,Z,G20,0.00,Y,Z14,-0.30;	K 54

K,G30,R,AN,V,Z14,-0.10;		K 55
K,Z15,R,AN,Z,Z14,3.00,P,B1,-0.20;		K 56
K,G35,R,AN,Z,G30,0.00,Y,Z15,-0.30;		K 57
K,G40,R,AN,V,Z15,-0.10;		K 58
K,Z16,R,AN,Z,Z15,3.00,P,B1,-0.20;		K 59
K,G45,R,AN,Z,G40,0.00,Y,Z16,-0.30;		K 60
K,G50,R,AN,I,N40;		K 61
C		
K,Z11,L,,Z,Z10,15.00,Y,Z10,2.20;		K 62
A,BM,L,EP,Z,Z11,LT,B1;	Ορος αναβαθμών αριστερής πλευράς	A 16
A,BD,L,OR,Z,Z11,LT,B1;	Αγκυρώσεις για μικτή διατομή	A 17
C		
C K γραμμή αγκυρώσεων αριστερά		
C		
K,K00,L,BD*ME,V,N10,-0.10;		K 63
K,K05,L,BD*ME,Z,C05,0.00,G,K00,-6.00;		K 64
K,K10,L,BD*ME,I,C05;		K 65
K,K00,L,BM,V,N10,-0.10;	Αγκυρώσεις γενικά	K 66
K,K05,L,BM,Z,K00,3.00,G,K00,-6.00;		K 67
K,K10,L,BM,Z,K05,0.00,P,B1,-0.22;		K 68
K,K15,L,BM*AT,Z,K10,3.00,G,K10,-6.00;		K 69
K,K20,L,BM*AT,Z,K15,0.00,P,B1,-0.22;		K 70
K,K25,L,BM*AT,Z,K20,3.00,G,K20,-6.00;		K 71
K,K30,L,BM*AT,Z,K25,0.00,P,N20/N30,0.00;		K 72
K,K30,L,BM*AF,Z,K25,0.00,P,B1,-0.22;		K 73
K,K35,L,BM*AF,Z,K30,3.00,G,K30,-6.00;		K 74
K,K40,L,BM*AF,Z,K35,0.00,P,B1,-0.22;		K 75
K,K45,L,BM*AF,Z,K40,3.00,G,K40,-6.00;		K 76
K,K50,L,BM*AF,I,N40;		K 77
K,K50,L,BM*AV,Z,K45,0.00,P,B1,-0.22;		K 78
K,K55,L,BM*AV,Z,K50,3.00,G,K50,-6.00;		K 79
K,K60,L,BM*AV,Z,K55,0.00,P,N40/N50,0.00;		K 80

E; ΤΕΛΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ

T,80; ΟΓΚΟΜΕΤΡΗΣΗ

OGOMETRISI

§

M,EE,,EP,P,C/F/-B1; Επιφάνεια επιχώματος
 M,EE,,ME,P,C00/C/C05/-B1; Επιφάνεια επιχώματος σε μικτή διατομή τύπου (1)
 C M,EE,,MO,P,C05/C/F/-B1; Επιφάνεια επιχώματος σε μικτή διατομή τύπου (2)
 M,EE,R,SA,P,C/F/L/-B1; Επιφάνεια επιχώματος με τοίχο αντιστήριξης
 M,EO,,OR*EM,P,B1/-F/-C; Επιφάνειες ορύγματος
 M,EO,,OR*ME,P,C05/B1/-F/-C; Επιφάνεια ορύγματος σε μικτή διατομή τύπου (1)
 M,EO,,EP*MO,P,B1/C05/-C; Επιφάνεια ορύγματος σε μικτή διατομή τύπου (2)
 M,EO,R,AN,P,N/G50/-G; Επιφάνεια ορύγματος με αναβαθμούς δεξιά
 M,EO,L,BM*AT,P,N/K30/-K; Επιφάνεια ορύγματος με αναβαθμούς αριστερά
 M,EO,L,BM*AF,P,N/K50/-K;
 M,EO,L,BM*AV,P,N/K60/-K;
 M,EO,L,BD*ME,P,B1/C05/-K;
 M,EO,R,SA,P,H10/B1/L20/L/H30/-H;
 M,EO,R,SA,P,H10/B1/L20/L/H30/-H;
 M,EF,,,P,B1/-N; Επιφάνεια φυτικών γαιών

C

C Ακολουθούν οι εντολές υπολογισμού όγκων

C

S,VE,EE; `Ογκοι επιχωμάτων
 S,VO,EO; `Ογκοι ορυγμάτων
 S,VF,EF; `Ογκοι φυτικών γαιών

C

C Ακολουθούν οι εντολές εξίσωσης όγκων

C

A,VE,4674.99,0.10;
 A,VO,4674.99,0.20;
 A,VF,4674.99,0.30;
 B,4674.99,6370.094; Περιοχή υπολογισμού

C

C Στη συνέχεια θα διαμορφώσουμε την έξοδο των δεδομένων

C

P,M,EE/VE/EO/VO/EF/VF;

ΛΙΣΤΑ ΟΓΚΩΝ

#1

STATION

DISTANCE

#2

Εμ. Επιχ

#3

Ογκ Επιχ

#4

Εμβ Ορυγ

#5

Ογκ Ορυγ

#6

Εμβ Φ.Γ.

#7

Ογκ Φ.Γ.

\$

E; ΤΕΛΟΣ

