

Ψηφιακά μοντέλα εδάφους και εφαρμογές τους

Π. Μαλλής

Μακεδονομάχων 8, 14235 Ν. Ιωνία

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε ένα από τα ψηφιακά γεωγραφικά προϊόντα που αποτελούν την απαραίτητη υποδομή κάθε σύγχρονου χαρτογραφικού οργανισμού, τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM).

Μετά από μία σύντομη εισαγωγή και αναφορά στην αξία των ψηφιακών γεωγραφικών προϊόντων γίνεται ανάλυση των διαφόρων μορφών ψηφιακής υψομετρικής πληροφορίας.

Τέλος η εργασία εστιάζεται στη αναφορά διαφόρων εφαρμογών όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ψηφιακό αυτό προϊόν. Οι εφαρμογές αυτές ταξινομούνται κατά κατηγορία όπως παρακάτω:

- α. Εφαρμογές σχετικές με έλεγχο ορατοτήτων.
 - (1) Χωροθέτηση κεραιών εκπομπής ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών και κεραιών κινητής τηλεφωνίας.
 - (2) Προστασία των δασών.
 - (3) Βελτιστοποίηση στρατιωτικών επικοινωνιών.
 - (4) Εξομοίωση radar.
 - (5) Τροφοδότηση οπλικών συστημάτων.
- β. Υδρολογικές εφαρμογές των DTM.
- γ. Εφαρμογές DTM σχετικές με κίνηση αερίων μαζών.
- δ. Εφαρμογές σχετικές με χωροθέτηση λειτουργιών.
- ε. Εφαρμογές DTM σχετικές με μελέτες οδοποιίας.
- στ. Εφαρμογές στην παραγωγή άλλων χαρτογραφικών προϊόντων.
 - (1) Χάρτης κλίσεων του εδάφους.
 - (2) Χάρτης κατευθύνσεως κλίσεων.
 - (3) Χάρτης βατότητας.
 - (4) Χάρτες ζωνών υψομέτρων.
 - (5) Ορθοφωτοχάρτες από ΔΕ ή από αεροφωτογραφίες σε ψηφιακή μορφή.
 - (6) Χαρτογραφική πληροφορία σε διανυσματική μορφή.
- ζ. Εφαρμογές σχετικές με παραστατικότερη παρουσίαση του αναγλύφου του εδάφους.

Abstract

The work below refers to one of the digital geographical products which is among the most important assets of every modern cartographic organisation, the digital terrain model (DTM).

After a sort introduction and a reference to the importance of the digital terrain models, a short analysis of the various forms of the digital elevation data takes place. Finally the work focuses on various applications where DTMs can be used. These applications can be classified as follows:

- a. Applications concerning visibility check.
 - (1) Allocation of radio, television and mobile phone transmission antennas.
 - (2) Forest protection.
 - (3) Optimisation of military communications.
 - (4) Radar simulation.
 - (5) Supplying weapon systems with digital elevation data.
- b. Hydrological application of DTMs.
- c. DTM applications concerning land use planning and allocation.
- e. DTMs and road planning.
- f. Applications concerning the production of cartographic products.
 - (1) Slope maps.
 - (2) Aspect maps.
 - (3) Suitability maps for specific vehicles and tanks.
 - (4) Elevation zone maps.
 - (5) Orthophoto maps compiled from satellite image or from aerial photos in digital form.
 - (6) Digital cartographic information in vector format.
- g. Application concerning three dimensional representations of DTMs.

1. Εισαγωγή

Η εποχή κατά την οποία ο τοπογραφικός χάρτης στην παραδοσιακή τυπωμένη του μορφή ήταν το μόνο μέσο καταγραφής της γνώσης της σχετικής με τα γεωγραφικά δεδομένα μιας περιοχής, έχει παρέλθει ανεπιστρεπτί. Ο σημερινός χαρτογράφος διαθέτει και άλλα μέσα μεταβίβα-

σης, προς τον τελικό χρήστη του χαρτογραφικού του προϊόντος, της γνώσης που παραδοσιακά εμπεριέχεται σε έναν τοπογραφικό χάρτη.

Από τη μεριά του ο χρήστης θέλει να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα ενός τοπογραφικού χάρτη σαν υπόβαθρο ώστε σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία να τον βοηθήσουν να λάβει κάποιες αποφάσεις. Χρειάζεται ως εκ τούτου τα δεδομένα αυτά σε μορφή εκμεταλλεύσιμη από τα μέσα που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες για επεξεργασία και ανάλυση στοιχείων, με σκοπο την παραγωγή πληροφοριών που οδηγούν στην λήψη αποφάσεων μέσω της επιλογής της βέλτιστης κατά περίπτωση λύσης.

Το κάλεσμα λοιπόν των καιρών επιβάλλει την παραγωγή νέων χαρτογραφικών προϊόντων, παλλά από τα οποία θα πρέπει να είναι σε ψηφιακή μορφή. Ένα από τα ψηφιακά αυτά προϊόντα αφορά τα ανάγλυφο του εδάφους.

Οι Η/Υ μπορούν σήμερα να βοηθήσουν στην επιλογή του βέλτιστου τρόπου εκμετάλλευσης του παράγοντα έδαφος. **Πρακύπτει λοιπόν η ανάγκη της συστηματικής καταγραφής της γνώσης, της σχετικής με το ανάγλυφο του εδάφους, σε μορφή αναγνώσιμη και εκμεταλλεύσιμη από Η/Υ ή άλλα συστήματα που μπορούν να εκμεταλλευθούν αυτή την πληροφορία. Αυτή η καταγραφή του ανάγλυφου του εδάφους σε ψηφιακή μορφή χαρακτηρίζεται σαν ψηφιακό μοντέλο εδάφους.**

Χρησιμοποιούνται συνήθως δύο παρεμφερείς αλλά όχι απόλυτα ταυτόσημοι όροι:

α. Ο όρος **Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM-Digital Elevation Model)** αναφέρεται στην αντιπροσώπευση μίας τοπογραφικής επιφάνειας από ένα πεπερασμένο αριθμό ομοιομόρφως κατανεμημένων σημείων. Το υψόμετρο των σημείων αυτών καταγράφεται σ' έναν πίνακα ο οποίος μαζί με τις επίπεδες συντεταγμένες του αρχικού σημείου και το x , y , του βήματος (απόσταση dx , dy μεταξύ διαδοχικών σημείων) συνιστούν το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM). Όταν λοιπόν αναφερόμαστε σε DEM αναφερόμαστε ουσιαστικά σε έναν πίνακα τιμών σε ψηφιακή μορφή.

β. Ο όρος **Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM Digital Terrain Model)** είναι γενικότερος και αφορά οποιασδήποτε μορφής ψηφιακή μοντελοποίηση του αναγλύφου του εδαφους.

Τρεις είναι οι βασικότερες μέθοδοι ψηφιακής αντιπροσώπευσης μίας τοπογραφικής επιφάνειας:

α. Με πίνακα υψομέτρων ομοιομόρφως κατανεμημένων σημείων. Πρόκειται για το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο DEM που ήδη αναφέραμε.

β. Με υψομετρικές καμπύλες σε ψηφιακή μορφή. Στην περίπτωση αυτή καταγράφονται οι επίπεδες συντεταγμένες των σημείων κάθε καμπύ-

λης. Το υψόμετρο καταγράφεται σαν περιγραφικό στοιχείο μια φορά για κάθε καμπύλη.

γ. Με δίκτυο τριγωνικών επιφανειών που ενούμενες μεταξύ τους συγκροτούν το μοντέλο της τοπογραφικής επιφάνειας (ΤΙΝ). Στην περίπτωση αυτή καταγράφονται οι τριαδιάστατες συντεταγμένες των κορυφών των τριγωνικών επιφανειών και ο τρόπος σύνθεσης των σημείων αυτών.

Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο είναι ο συνηθέστερος τρόπος αποθήκευσης ψηφιακών υψομετρικών πληροφοριών. Είναι η τελική μορφή στην οποία συγκλίνουν υψομετρικά ψηφιακά δεδομένα που προέρχονται από διάφορες πηγές. Η μορφή αυτή είναι πλέον αποδεκτή γιατί μπορεί να καλύψει το σύνολο σχεδόν των εφαρμογών που σχετίζονται με εκμετάλλευση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Η μορφή του δικτύου των τριγωνικών επιφανειών μπορεί επίσης να καλύψει ευρύτατο φάσμα εφαρμογών δεν εξυπηρετεί όμως σε όλες τις περιπτώσεις. Τέλος η υψομετρική πληροφορία υπό μορφή υψομετρικών καμπύλων σε ψηφιακή μορφή για να είναι εκμεταλλεύσιμη πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε μία από τις δύο άλλες μορφές. Άλλως μπορεί να εξυπηρετήσει μικρό μόνο φάσμα εφαρμογών.

2. Εφαρμογές ψηφιακών μοντέλων εδάφους

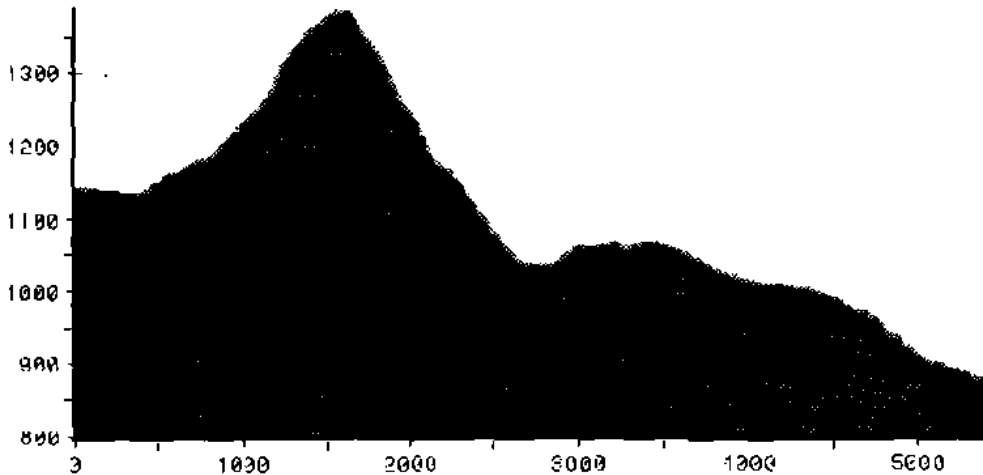
Τα στοιχεία που προκύπτουν άμεσα από την επεξεργασία ενός DTM σε Η/Υ χρησιμοποιούνται σε μεγάλα αριθμό εφαρμογών. Η παρουσίαση αυτή μερικές μόνο χαρακτηριστικές τέτοιες εφαρμογές αναφέρει που μπορούν να ταξινομηθούν κατά κατηγορία ως εξής:

α. Εφαρμογές σχετικές με έλεγχο ορατοτήτων

Πρόκειται ίσως για την κατηγορία με το μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Ο έλεγχος αμοιβαίας ορατότητας δύο σημείων είναι η απλούστερη εφαρμογή αυτής της κατηγορίας. Η εφαρμογή αυτή ισοδυναμεί με μία μηκοτομή του εδάφους (βλ. Σχ. 1) και η χρησιμότητά της σε μελέτες επικοινωνιών που απαιτούν αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των αναμεταδοτών είναι προφανής.

Μια άλλη εφαρμογή της ίδιας κατηγορίας είναι η εύρεση ζωνών ορατότητας. Ο χρήστης ορίζει ένα ή περισσότερα σημεία παρατηρήσεως και το σύστημα με τη χρήση του DTM υπολογίζει ποιες περιοχές είναι ορατές ή όχι από τα εν λόγω σημεία. Ευρύτατο τα πεδίο εφαρμογών της δυνατότητας αυτής όπως:

ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχ. 1. Μηκοτομή του εδάφους για τον έλεγχο της αμοιβαίας ορατότητας μεταξύ δύο σημείων της εδαφικής επιφάνειας.

(1) Χωροθέτηση κεραιών εκπομπής ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών και κεραιών κινητής τηλεφωνίας

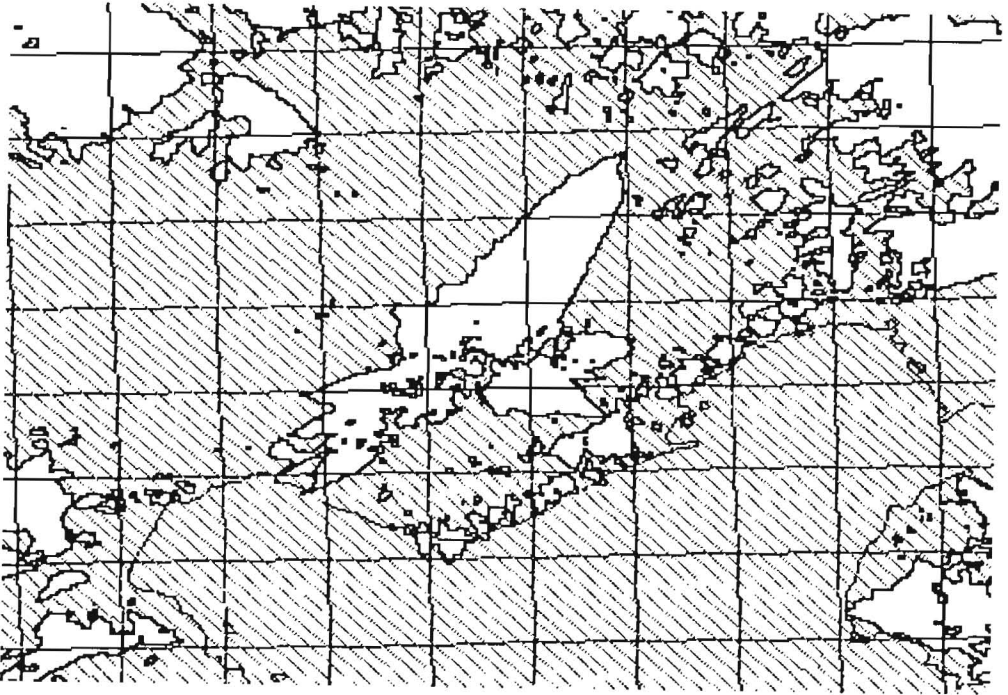
Για κάθε πιθανή θέση της κεραιάς δημιουργείται ένα διάγραμμα ορατότητας (Σχ. 2). Η εξέταση όλων αυτών των διαγραμμάτων δίνει από-
ντηση στο ερώτημα ποια είναι η βέλτιστη θέση τοποθέτησης της κεραιάς.

(2) Προστασία των δασών

Στον τομέα της προστασίας των δασών παρόμοιες εφαρμογές μπορούν να προσφέρουν σημαντικές υπηρεσίες. Το TDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ευρεθεί η βέλτιστη θέση παρατηρητηρίων επιτηρήσεως και εγκαίρου προειδοποιήσεως.

(3) Βελτιστοποίηση στρατιωτικών επικοινωνιών

Στην περίπτωση των στρατιωτικών εφαρμογών, ο διευθυντής διαβιβάσεων ενός σχηματισμού μπορεί με τη χρήση της ίδιας μεθόδου να εντοπίσει την καλύτερη θέση για την τοποθέτηση των κεραιών των επικοινωνιών λίαν υψηλής συχνότητας, ώστε να εξασφαλίζει την κάλυψη της κατά το δυνατόν μεγαλύτερης περιοχής της ζώνης ευθύνης του σχηματισμού.



Σχ. 2. Διάγραμμα ορατότητας. Με γραμμοσκίαση τονίζονται οι περιοχές που είναι ορατές από το σημείο παρατήρησης που διακρίνεται στο κέντρο της εικόνας. Ο υπάρχων τετραγωνισμός βοηθά στην επίθεση του διαγράμματος σε τυπωμένο τοπογραφικό χάρτη.

(4) Εξομοίωση radar

Την ίδια ακριβώς τεχνική εφαρμόζουν και οι μελέτες με εξομοίωση radar (radar simulation). Μελετάται η βέλτιστη θέση του radar επιτηρήσεως ώστε να καλύπτεται η μέγιστη δυνατή περιοχή. Επιζητείται να δημιουργούνται νεκρές ζώνες ελαχίστου εμβαδού και μη συνδεδεμένες μεταξύ τους ή καλυπτόμενες από άλλα ομοειδή radar.

Την αντίθετη ακριβώς εργασία αλλά με την ίδια τεχνική κάνει κάποιος που μελετά τρόπους να μη γίνει αντιληπτός από κάποιο ή κάποια radar. Γνωρίζοντας τη θέση των radar επιτηρήσεως του αντιπάλου και εντοπίζοντας με την εκμετάλλευση του DTM τις δημιουργούμενες νεκρές ζώνες, μπορεί να καταρτίσει σχέδιο πτήσεως αεροσκαφών αποσκοπώντας στο να υπάρχουν οι μικρότερες κατά το δυνατόν πιθανότητες να γίνουν αυτά αντιληπτά.

(5) Τροφοδότηση οπλικών συστημάτων

Στην κατηγορία των στρατιωτικών εφαρμογών των DTM συμπεριλαμβάνεται και η τροφοδότηση οπλικών συστημάτων (αεροσκαφών, κατευθυνόμενων βλημάτων, radar πυροβολικού κ.λπ.) με υψομετρικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή.

θ. Υδρολογικές εφαρμογές των DTM

Το σύνολο των εφαρμογών αυτών χρησιμοποιεί μόνο μία μορφή ψηφιακού μοντέλου εδάφους, το ψηφιακά υψομετρικά μοντέλο. Απαιτούν δηλαδή οι εφαρμογές της κατηγορίας αυτής, την ύπαρξη πίνακα υψομέτρων ομοιομόρφως κατανεμημένων σημείων για να λειτουργήσουν.

Χάρis σε απλούς αλγορίθμους υπολογίζονται με αρκετά καλή προσέγγιση (εξαρτούμενης βεβαίως και από την ακρίβεια του DEM), οι λεκάνες απορροής αλλά και οι γραμμές διαχωρισμού και ροής υδάτων. Σαν αποτέλεσμα μπορεί να υπολογιστεί τι ποσότητα νερού θα συγκεντρωθεί σε συγκεκριμένα σημεία για δεδομένο ύψος βροχής, τι θα συμβεί αν πλημμυρίσει ένα ποτάμι κ.λπ. Υπάρχει τέλος η δυνατότητα να μοντελοποιηθούν ορισμένες καταστάσεις και να χρησιμοποιηθεί το DTM για να προβλεφθεί τι θα συμβεί αν σπάσει κάποιο φράγμα ή ποια περιοχή θα μολύνουν τα υγρά λύματα μίας βιομηχανίας κ.λπ.

Όσο τα υδάτινα αποθέματα του πλανήτη μας ελαττώνονται οι υδρολογικές μελέτες γίνονται όλο και πιο αναγκαίες και τα DTM πιο πολύτιμα σαν υποδομή κάθε τέτοιας μελέτης.

Στην περίπτωση των στρατιωτικών υδρολογικών εφαρμογών, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφασιστεί ποιες καταστροφές φραγμάτων πρέπει να γίνουν για να καταστεί μία συγκεκριμένη περιοχή αδιάβατη για τα άρματα του αντιπάλου και ποιες άλλες επιπτώσεις θα έχει μία τέτοια καταστροφή.

γ. Εφαρμογές DTM σχετικές με κίνηση αερίων μαζών

Η κίνηση αερίων μαζών στην ατμόσφαιρα εξαρτάται άμεσα και από το ανάγλυφο εδάφους. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα των ανέμων δεν είναι το μόνο απαιτούμενο για την μοντελοποίηση μίας τέτοιας κίνησης. Το ανάγλυφο του εδάφους υπό τη μορφή του DTM πρέπει να συνυπολογιστεί ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακριβή και ρεαλιστικά.

Τεχνικές μοντελοποίησης κινήσεως αερίων μαζών χρησιμοποιούνται σε μελέτες υπολογισμού της περιοχής μολύνσεως σε περίπτωση συγκέντρωσης ρυπογόνων βιομηχανιών σε μία περιοχή. Δηλαδή σε περιβαλλοντικές μελέτες που θα συνοδεύουν μελέτες χωροθέτησης λειτουργιών όπως η βιομηχανική δραστηριότητα.

Επίσης παρόμοιες τεχνικές, που χρησιμοποιούν οπωσδήποτε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, εφαρμόζονται για την πρόβλεψη της επικίνδυνης περιοχής σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος ή της περιοχής μόλυνσης σε περίπτωση χρήσης ατομικών όπλων.

Τέλος κατά τις μελέτες χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, η χρησιμοποίηση ψηφιακών μοντέλων εδάφους κρίνεται πλέον απολύτως αναγκαία.

δ. Εφαρμογές σχετικές με χωροθέτηση λειτουργιών

Οποιαδήποτε μελέτη χωροθέτησης λειτουργιών σε επίπεδο Κοινότητας, Επαρχίας, Νομού ή και ευρύτερης περιοχής θα πρέπει να στηρίζεται σε καθαρά αντικειμενικά και επιστημονικά κριτήρια που θα συνεξετάζονται με τη χρήση κάποιου Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών. Ένα από τα επίπεδα πληροφορίας που θα πρέπει να περιλαμβάνει ένα τέτοιο πληροφοριακό σύστημα είναι και η υψομετρία.

Η κλίση του εδάφους, που θα προκύπτει σαν αποτέλεσμα επεξεργασίας του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου, είναι βασικό κριτήριο χωροθέτησης λειτουργιών. Ο καθορισμός της περιοχής προς την οποία θα επεκταθεί το σχέδιο πόλεως θα συνεκτιμήσει τις κλίσεις του εδάφους. Περιοχές με κλίση μεγαλύτερη από ένα όριο θα θεωρηθούν απαγορευτικές για οικοδομική δραστηριότητα και θα αποκλειστούν από την επέκταση του σχεδίου πόλεως.

Επίσης μελέτη για χωροθέτηση κάποιου σκουπιδοτόπου θα αποκλείσει περιοχές με μεγάλη κλίση εδάφους αφού η επιλογή μιας τέτοιας περιοχής θα ενέχει κινδύνους επέκτασης της μόλυνσης σε μεγάλη απόσταση σε κάθε βροχοπτώση.

Τέλος ο καθορισμός βιομηχανικών ζωνών ή και μία απλή μελέτη χωροθέτησης κάποιου εργοστασίου θα επιλέξει περιοχές με την ελάχιστη δυνατή κλίση εδάφους χρησιμοποιώντας προς τούτο το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο.

ε. Εφαρμογές DTM σχετικές με μελέτες οδοποιίας

Η οδοποιία είναι το κατ' εξοχήν πεδίο εφαρμογής των ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Σε όλα τα στάδια μιας μελέτης οδοποιίας η υψομετρική πληροφορία είναι απολύτως απαραίτητη. Στον τομέα της οδοποιίας τα DTM, αφενός μεν πολλαπλασιάζουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της μελέτης, αφετέρου δε ελαχιστοποιούν την ανάγκη συλλογής στοιχείων στο πεδίο.

Με χρήση του DTM μπορούν να γίνουν μηκοτομές κατά μήκος της χάραξης ώστε να αποφασιστεί που θα περαστεί η ερυθρά γραμμή, δη-

λαδή η επιφάνεια του δρόμου. Επίσης αφού καθορισθεί η ερυθρά μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος των κενών ή των εδαφών, που υπάρχουν μεταξύ της μελετούμενης επιφάνειας της οδού και του φυσικού εδάφους. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να υπολογιστούν οι χωματισμοί. Τέλος αφού καθορισθεί η τελική θέση της οδού μπορεί να γίνει και προοπτική σχεδίαση αυτής χάρις στη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Ακόμα και κατά τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή της οδού το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο είναι απολύτως απαραίτητο. Εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί και για την εκμετάλλευση της ψηφιακής υψομετρικής πληροφορίας κατά το στάδιο της χάραξης της πολυγωνικής. Συνεπώς το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια μιας μελέτης οδοποιίας και των μελετών που σχετίζονται άμεσα με αυτή.

στ. Εφαρμογές στην παραγωγή άλλων χαρτογραφικών προϊόντων

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή και μη τυποποιημένων χαρτογραφικών προϊόντων. Η παραγωγή αυτών, είτε προέρχεται απ' ευθείας από την επεξεργασία της ψηφιακής υψομετρικής πληροφορίας, είτε χρησιμοποιεί παράγωγα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία. Σαν τέτοια χαρτογραφικά προϊόντα μπορούν να χαρακτηριστούν τα εξής:

1) Χάρτης κλίσεων του εδάφους

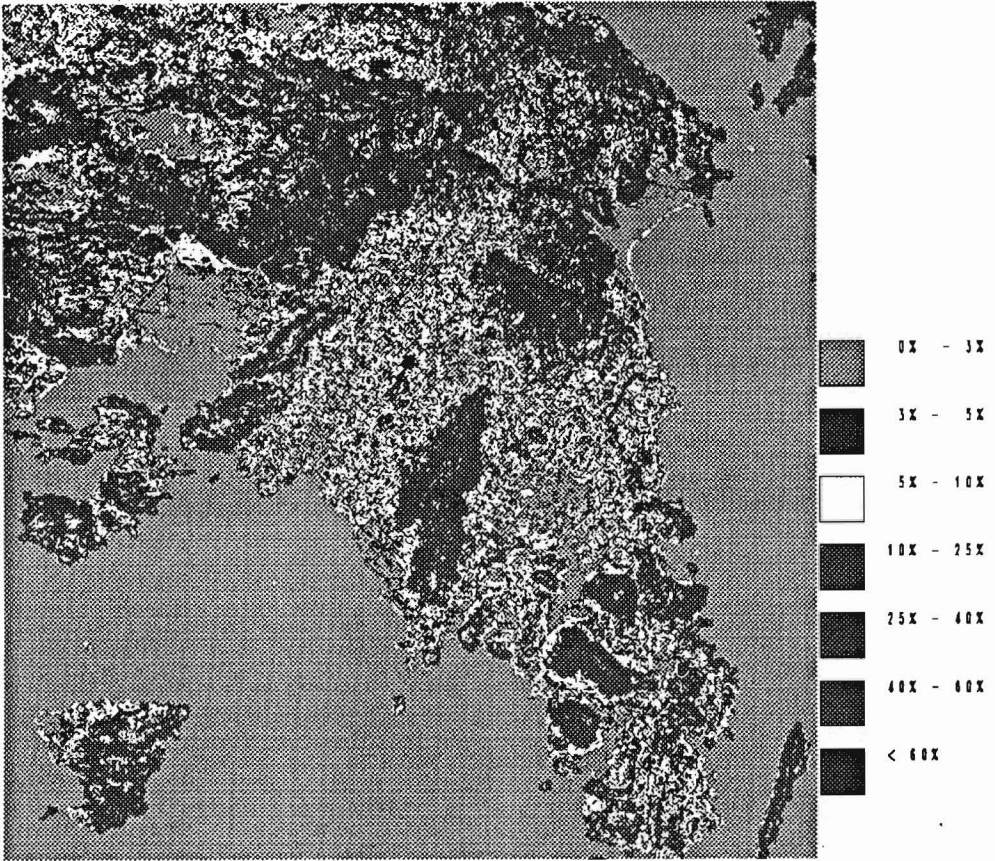
Η κλίση του εδάφους υπολογίζεται για κάθε στοιχειώδες τμήμα. Οι κλίσεις ταξινομούνται σε κατηγορίες 0% - 5%, 5% - 10% κ.λπ. Το αποτέλεσμα αυτής της κατηγοριοποίησης είναι ένας θεματικός χάρτης που με πολύγωνα διαφόρων χρωμάτων αποτυπώνει τις κατηγορίες κλίσεων του εδάφους στην περιοχή. (Σχ. 3).

2) Χάρτης κατευθύνσεων κλίσεων

Η κατεύθυνση μέγιστης κλίσεως υπολογίζεται από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο. Οι κατευθύνσεις των κλίσεων κατηγοριοποιούνται όπως και στην περίπτωση της τιμής της κλίσεως. Το αποτέλεσμα είναι θεματικός χάρτης της κατευθύνσεως της μέγιστης κλίσεως του εδάφους.

3) Χάρτης βατότητας

Ο χάρτης κλίσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπάβαθρο για την κατασκευή χαρτών βατότητας. Ο χάρτης βατότητας προκύπτει από τη συνεκτίμηση του χάρτη κλίσεων και κάποιων επιπεδομετρικών πληρο-



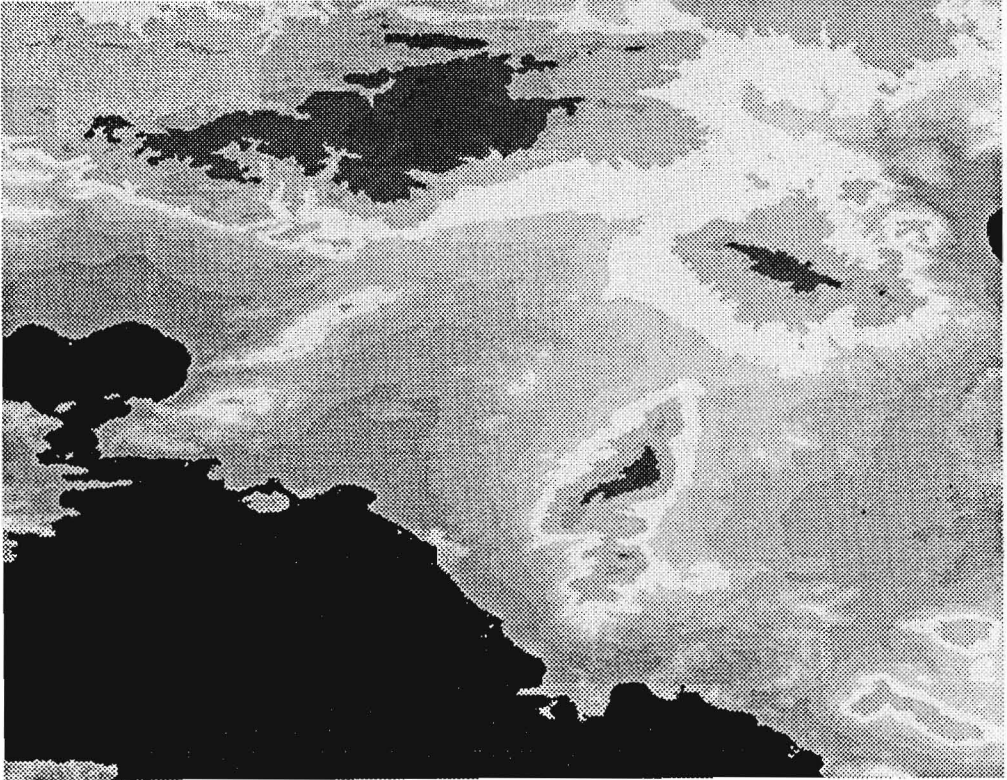
Σχ. 3. Χάρτης κλίσεων εδάφους. Με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους υπολογίζονται οι κλίσεις σε κάθε περιοχή, κατηγοριοποιούνται όπως στο υπόμνημα στα δεξιά της εικόνας και παράγεται ο χάρτης αυτός που μεταξύ των άλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν υπόβαθρο για κατασκευή χαρτών βατότητας.

φοριών σε πολυγωνική μορφή (Χρήσεις γης, Συνεκτικότητα του εδάφους κ.λπ.). Η επίθεση με ψηφιακό τρόπο των διαφόρων επιπέδων πληροφορίας παράγει το χάρτη βατότητας που είναι θεματικός χάρτης που αναφέρεται συνήθως σε συγκεκριμένο μέσο κινήσεως π.χ. άρματα, οχήματα εκτός δρόμου κ.λπ.

4) Χάρτες ζωνών υψομέτρων

Ο χωρισμός των υψομέτρων, που είναι καταγραμμένα στο DEM, σε κατηγορίες δημιουργεί θεματικό χάρτη, το χάρτη των υψομετρικών ζω-

νών. (Σχ. 4). Ο χάρτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιος ή σαν επίπεδο κάποιας γενικότερης χαρτογραφικής συνθέσεως. (Σχολικός χάρτης, Γεωφυσικός, όπλιση στρατιωτικού τοπογραφικού χάρτη κ.λπ.).



Σχ. 4. Χάρτης ζωνών υψομέτρων.

5) Ορθοφωτοχάρτες από δορυφορικές εικόνες (ΔΕ) ή από αεροφωτογραφίες σε ψηφιακή μορφή

Οι ορθοφωτοχάρτες από εικόνες σε ψηφιακή μορφή είναι ένα σχετικά νέο χαρτογραφικό προϊόν που έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι παράγεται γρηγορά και με μικρό σχετικά κόστος. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη συνεχώς αυξανόμενη ισχύ και αποθηκευτική δυνατότητα των υπολογιστών, καθιστά το νέο αυτό προϊόν όλο και πιο δημοφιλές.

Οι εικόνες από τις οποίες δημιουργείται το συγκεκριμένο χαρτογραφικό προϊόν, είτε είναι δορυφορικές, είτε είναι αεροφωτογραφίες σε

ψηφιοκή μορφή, για να αποκτήσουν χαρακτηριστικά χάρτη (ενιαία κλίμακα κ.λπ.) πρέπει να διορθωθούν και λόγω ανάγλυφου. Η διόρθωση λόγω ανάγλυφου δεν είναι δυνατόν να γίνει χωρίς την ύπαρξη αξιόπιστου ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

6) Χαρτογραφική πληροφορία σε διανυσματική μορφή

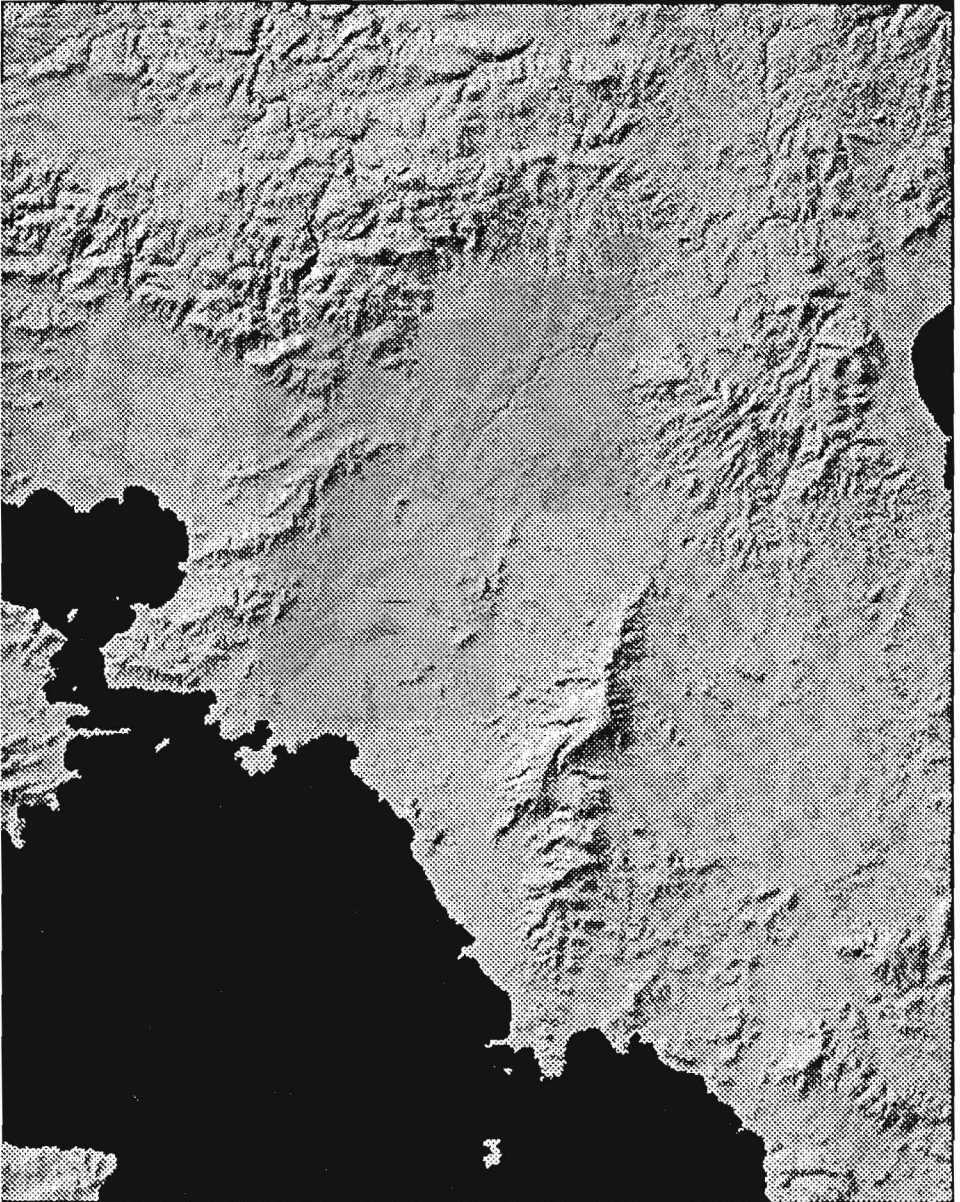
Είναι δυνατή η ψηφιοποίηση γραμμικών σημειακών ή πολυγωνικών χαρακτηριστικών από αεροφωτογραφίες σε ψηφιακή ή και αναλογική μορφή. Το ίδιο μπορεί να γίνει και από δορυφορικές εικόνες. Για να έχουμε γεωμετρικά σωστή ψηφιοποιημένη πληροφορία θα πρέπει να γίνει διόρθωση λόγω ανάγλυφου, είτε στις εικόνες (εφ' όσον είναι σε ψηφιακή μορφή), είτε στο ψηφιακό διανυσματικό αποτέλεσμα εφ' όσον η ψηφιοποίηση γίνεται από τυπωμένες εικόνες. Και για τις δύο περιπτώσεις υπάρχουν προγράμματα που εκμεταλλευόμενα το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κάνουν τις απαραίτητες διορθώσεις.

Η παραγωγή λοιπόν ενός ευρύτατου φάσματος χαρτογραφικών προϊόντων με σύγχρονες μεθόδους, προϋποθέτει την ύπαρξη υψομετρικής πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή.

ζ) Εφαρμογές σχετικές με παραστατικότερη παρουσίαση του ανάγλυφου του εδάφους

Στους συνήθεις τοπογραφικούς χάρτες το ανάγλυφο του εδάφους παρουσιάζεται με τη μέθοδο των υψομετρικών καμπυλών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο άπειρος χρήστης του χάρτη να μην έχει άμεση αντίληψη του ανάγλυφου της περιοχής και οι αποφάσεις που θέλει να λάβει να καθίστανται δύσκολες εξ αιτίας της ουσιαστικής έλλειψης της γνώσης και της αντίληψης του ανάγλυφου.

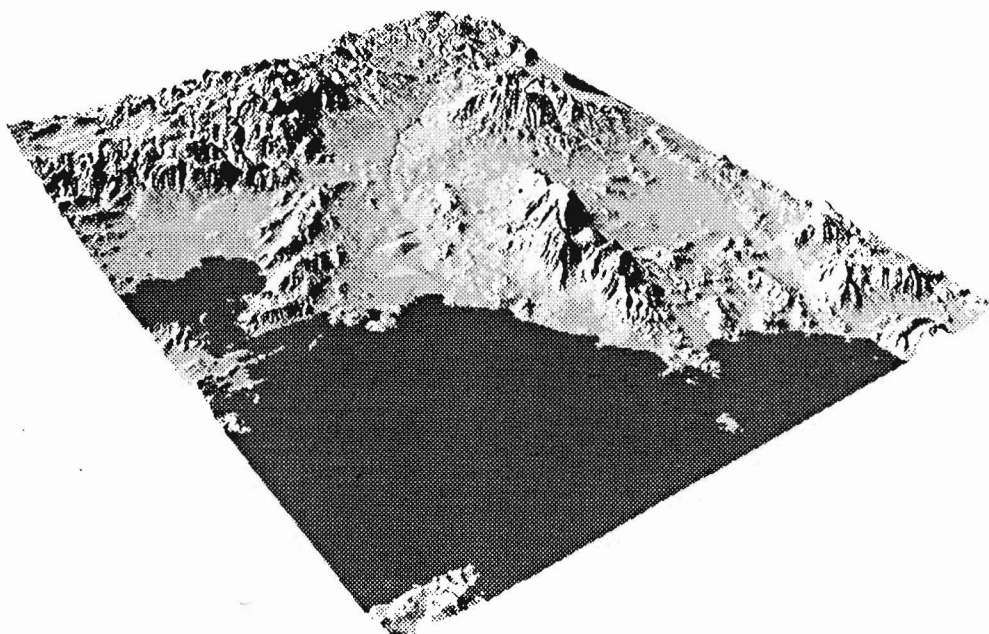
Η μέθοδος των υψομετρικών καμπυλών δεν είναι η μόνη μέθοδος για την παρουσίαση της τρίτης διάστασης του εδάφους. Τα βιβλία της τοπογραφίας αναφέρουν επίσης τη μέθοδο της φωτοσκιάσεως, των γραμμών σκελετού του εδάφους κ.λπ. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί και στο παρελθόν με καλά αποτελέσματα. Η συνεχώς αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς των Η/Υ, σε συνδυασμό με τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους μας δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της φωτοσκιάσεως και της προοπτικής παρουσίασης του εδάφους ώστε να δώσουμε στο χρήστη την καλύτερη δυνατή αντίληψη του ανάγλυφου της καλυπτόμενης περιοχής. Με τη χρήση της μεθόδου της φωτοσκιάσεως ο χρήστης δεν καθορίζει παρά τη θέση της φωτεινής πηγής (του ηλίου συνήθως). Με βάση το στοιχείο αυτό και με τη χρήση του ψηφιακού μο-



Σχ. 5. Παρουσίαση του ανάγλυφου του εδάφους με τη μέθοδο της φωτοσκίασης. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ παραστατικότερη από τη μέθοδο των υψομετρικών καμπύλων που εφαρμόζεται στους συνήθεις τοπογραφικούς χάρτες. Οι σύγχρονοι Η/Υ μπορούν με τη χρήση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, να παράγουν τέτοιες απεικονίσεις αντιληπτές και από τον πλέον άπειρο χρήστη του χάρτη.

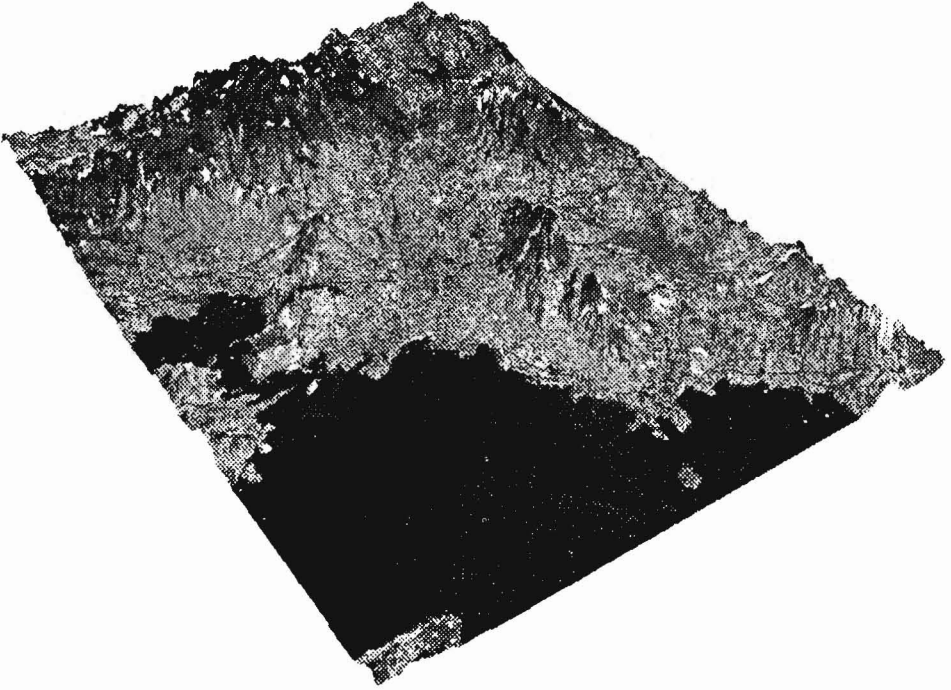
ντέλου εδάφους ο Η/Υ υπολογίζει ποιές περιοχές φωτίζονται και σε ποιές υπάρχουν σκιές. Η εναλλαγή αυτή των φωτεινών και σκιερών περιοχών, παρουσιαζόμενων με διαβαθμίσεις του γκριζου, δίνουν την καλύτερη δυνατή αντίληψη του ανάγλυφου μιας περιοχής. (Σχ. 5). Μεγάλη χρήση βρίσκει τελευταία η μέθοδος αυτή ιδίως στην κατασκευή τουριστικών χαρτών όπου ο χρήστης χρειάζεται να σχηματίσει μία αντίληψη για το ανάγλυφο του εδάφους χωρίς να έχει ιδιαίτερες γνώσεις ανάγνωσης τοπογραφικού χάρτη.

Η τρισδιάστατη ή προοπτική παρουσίαση του εδάφους αποτελεί ένα άλλο παραστατικότατο τρόπο απόδοσης της τρίτης διάστασης. Ο χρήστης ορίζει το σημείο στάσεως του και την κατεύθυνση παρατήρησης και λαμβάνει μία ζωντανή και παραστατική παρουσίαση του εδάφους αντιληπτή και από τον πιο άπειρο χρήστη. (Σχ. 6).

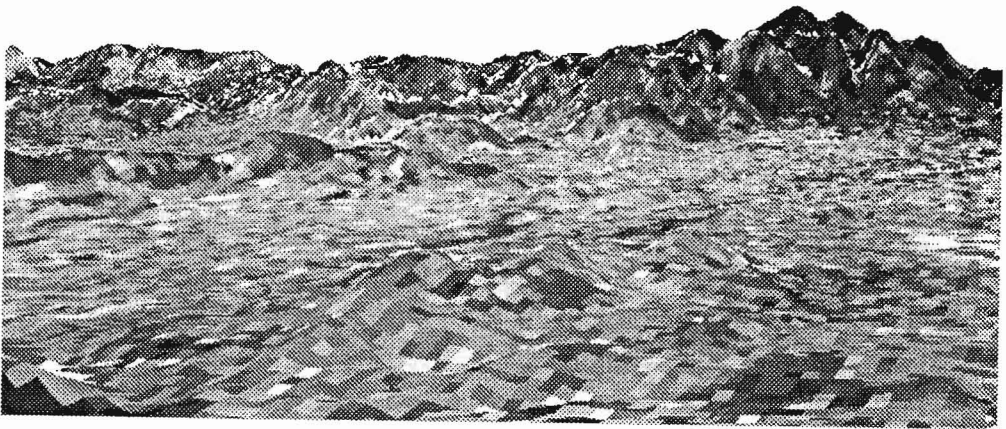


Σχ. 6. Προοπτική παρουσίαση του ανάγλυφου του εδάφους. Δίνει στον χρήστη την καλύτερη δυνατή αντίληψη του αναγλύφου μιας περιοχής.

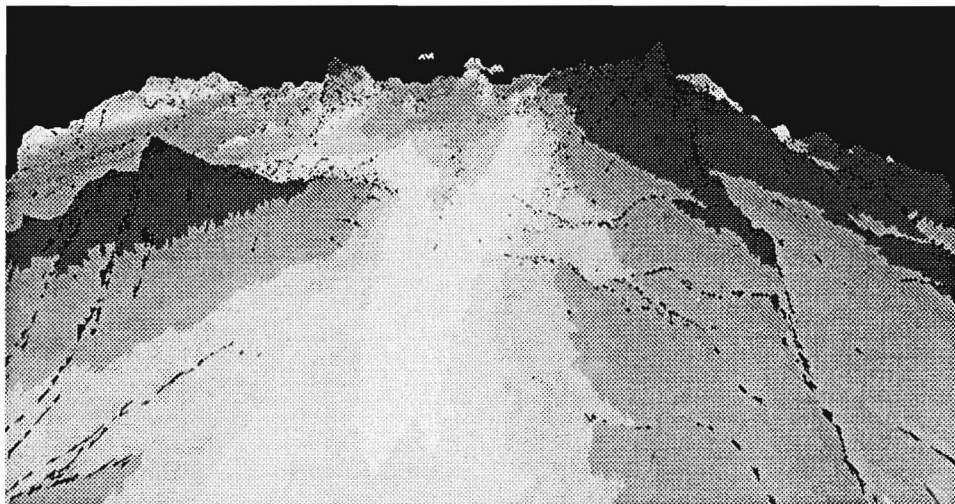
Στον τομέα των στρατιωτικών εφαρμογών μία τέτοια αναπαράσταση του ανάγλυφου του εδάφους μπορεί να παίξει με ψηφιακό τρόπο το ρόλο που σήμερα παίζει η αμμοδόχος (Σχ. 7), (Σχ. 8), (Σχ. 9).



Σχ. 7. Απεικόνιση τμήματος της Αττικής με συνδυασμό ψηφιακού μοντέλου εδάφους, δορυφορικής εικόνας, και χαρτογραφικών δεδομένων (δρόμοι) σε ψηφιακή μορφή.



Σχ. 8. Απεικόνιση με συνδυασμό δορυφορικής εικόνας και ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Ο χρήστης σχηματίζει αντίληψη του τι θα δει από τον Υμητό κοιτάζοντας προς την Πάρνηθα.



Σχ. 9. Απεικόνιση με συνδυασμό χάρτη υψομετρικών χρωματισμών και προοπτικής παρουσίασης του ανάγλυφου του εδάφους.

Κατά την προοπτική παρουσίαση του εδάφους μπορεί να οριστεί σημείο παρατήρησης ευρισκόμενο σε αρκετό ύψος ώστε να λάβουμε την εικόνα που θα έχει ένας αεροπόρος, που πετά πάνω από την περιοχή. Συνδυάζοντας μια σειρά τέτοιων εικόνων μπορούμε να δημιουργήσουμε το υπόβαθρο για κάποιον προσομοιωτή πτήσεων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση χειριστών αεροσκαφών. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η παραγωγή τέτοιων προοπτικών παρουσιάσεων του εδάφους στους σημερινούς Η/Υ είναι εξαιρετικά «μνημοβόρος» και χρονοβόρος. Αυτό καθιστά προς το παρόν αδύνατη τη σε πραγματικό χρόνο δημιουργία νέων προοπτικών παρουσιάσεων με την αλλαγή των στοιχείων παρατηρήσεως. Αν αυτό ήταν δυνατόν ο κάθε υπολογιστής με απλή τροφοδότησή του με ψηφιακό μοντέλο εδάφους και κατάλληλο εξοπλισμό, θα μπορούσε να μετατραπεί σε εξομοιωτή πτήσεων. Η εξέλιξη των Η/Υ θα δώσει στο εγγύς μέλλον τη δυνατότητα αυτή.

Ο μακρύς κατάλογος των εφαρμογών των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, που αναφέρθηκε πιο πάνω, αποτελεί μόνο κλάσμα του καθ' ημέρα διευρυνόμενου φάσματος των χρήσεων του ψηφιακού αυτού προϊόντος. Ο κατάλογος όμως αυτός αποδεικνύει ότι η δημιουργία αξιόπιστου και ακριβούς ψηφιακού μοντέλου εδάφους αποτελεί σημαντικότερο έργο υποδομής. Ένα έργο υποδομής που μαζί με τα λοιπά ψηφιακά χαρτογραφικά προϊόντα, που προηγούμενη της εποχής της για τα Ελληνικά δεδομένα, παράγει ήδη από τη δεκαετία του 80 η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού.

Βιβλιογραφία

- Band, L.E. (1986). "Topographic partition of watersheds with digital elevation models", *Water Resources Research* 22(1):15-24.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon, Oxford. Chapter 3 reviews alternative methods of terrain representation.
- Evans, I.S. (1980). "An integrated system for terrain analysis and slope mapping", *Zeitschrift fur Geomorphologie* 36:274-95.
- Marks, D. J., Dozier and J. Frew. (1984). "Automated basin delineation from digital elevation data", *Geoprocessing* 2:299-311.
- O'Callaghan, J.F. and D.M. Mark. (1984). "The extraction of drainage networks with lakes", *Water Resources Research*, 18(2):275-280.
- Pfaltz, J.L. (1976). "Surface networks", *Geographical Analysis* 8:77-93. Discussion of surface-specific points and their relationship to ridge and channel lines.
- USGS. (1987). *Digital Elevation Models, Data Users Guide*, 5, US Department of the Interior, USGS, Reston, VA. Describes the creation and data structures of USGS DEMs in detail.