

# Μια Μεθοδολογία για την Δημιουργία Αναλυτικής Σκίασης Αναγλύφου με Συνδυασμό Διαφορετικών Διευθύνσεων Φωτισμού

*Τζελέπης Νικόλαος<sup>1</sup>, Λοΐσιος Δημήτρης<sup>2</sup>, Νάκος Βύρωνας<sup>1</sup>*

*(1) Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
niktzel@survey.ntua.gr, bnakos@central.ntua.gr*

*(2) Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, jbm@mail.ntua.gr*

## Περίληψη

Εξετάζεται η δυνατότητα αναλυτικού υπολογισμού εικόνων σκίασης του τοπογραφικού ανάγλυφου, χρησιμοποιώντας περισσότερες από μία πηγές φωτισμού, με σκοπό την καλύτερη δυνατή αντιμετώπιση δύο σημαντικών προβλημάτων που παρουσιάζονται στη συνήθη περίπτωση όπου χρησιμοποιείται μόνο μία φωτεινή πηγή. Το πρώτο πρόβλημα είναι η ελλειπής αναπαράσταση του συνόλου των σχηματισμών της γήινης επιφάνειας (οροσειρές, κοιλάδες), λόγω των πολλών διαφορετικών διευθύνσεων που μπορεί να έχουν, ιδίως στις ορεινότερες περιοχές. Το δεύτερο αφορά στη δημιουργία των πιο σκούρων τόνων της φωτοσκίασης, οι οποίοι αφ' ενός μεν αποκρύπτουν τις λεπτομέρειες των αλλαγών του ανάγλυφου στις περιοχές που καλύπτουν, αφ' ετέρου, σε περίπτωση επίθεσης χαρτογραφικών συμβόλων, δυσκολεύουν την ανάγνωσή τους.

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία, παράγεται αρχικά μία εικόνα σκιασμένου ανάγλυφου της απεικονιζόμενης περιοχής με την εφαρμογή του συνήθους βορειοδυτικού φωτισμού, η οποία στη συνέχεια αντικαθίσταται μερικώς από ένα βελτιστοποιημένο, σταθμισμένο με βάρη συνδυασμό εικόνων φωτοσκίασης, που βασίζονται στη χρήση διαφορετικών διευθύνσεων φωτισμού. Ο δε βαθμός αντικατάστασης εξαρτάται από την τοπική γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης στις συνθήκες φωτισμού της αρχικής εικόνας. Η μεθοδολογία αυτή σκοπεύει σε ένα πιο ισορροπημένο αποτέλεσμα φωτοσκίασης του τοπογραφικού ανάγλυφου, έτσι ώστε να διατηρείται μεν η αντίληψη της αρχικής, βέλτιστης για τη συνολική περιοχή, επιλογής του φωτισμού, αλλά και να αποκαλύπτονται οι σημαντικοί σχηματισμοί του σε όλες τις διευθύνσεις, ή ακόμη και να ενισχύονται οι πιο ιδιαίτερες τοπικές λεπτομέρειές του.

## Abstract

Ways of creating analytical hill-shaded images by applying more than one light source are examined, in order to deal with two important problems present in usual, single lighted hill-shaded images. The first problem is the insufficient representation of the total number of relief formations (ridges, valleys), due to many different main massif directions in mountainous terrain. The second one has to do with the existence of deep dark shading tones, which make difficult either to detect the slight relief changes, or even to legibly read the superimposed cartographic symbols.

In the present methodology, an initial hill-shaded image is generated by applying usual, north-west light direction, which is partly replaced by the enhanced weighted combination of the shad-

ing images derived from certain other lighting directions. The amount of partial replacement depends on the local incident angle in the initial shading image. This methodology aims to achieve a more balanced result of hill-shading, in such a way that the perception of the initial optimal lighting is preserved, as well as, the major relief forms in all directions are revealed or even sharper local details are enhanced.



## 1. Εισαγωγή

Οι εικόνες σκίασης ανάγλυφου για χαρτογραφική χρήση βασίζονται σε φως που έχει βορειοδυτική διεύθυνση, καθώς έχει αποδειχθεί ότι αυτό βοηθά όλους τους χρήστες χαρτών, έμπειρους και μη, να αντιληφθούν τους σχηματισμούς του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας άμεσα και με ακρίβεια. Η συνθήκη αυτή έχει τις ρίζες της βαθιά μέσα στη διαδικασία της φωτοσκίασης, λόγω της υποσυνείδητης κατανόησης των γραφικών στοιχείων στα καθημερινά μας βιώματα, κάτω από φως που έρχεται από «επάνω» και «αριστερά» (1). Πέρα από τον συνήθη βορειοδυτικό προσανατολισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες εναλλακτικές διευθύνσεις, όπως οι δυτικές ή οι νοτιοδυτικές, όταν επικρατούν σχηματισμοί του ανάγλυφου με άξονα προσανατολισμού από βόρεια προς νότια ή από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά, καθώς ως καταλληλότερη διεύθυνση φωτοσκίασης, θεωρείται κατά κύριο λόγο αυτή που τέμνει διαγώνια τον προσανατολισμό που επικρατεί στην πλειοψηφία των σχηματισμών της περιοχής (1).

Αυτό όμως που προβληματίζει έντονα, είναι η διαπίστωση ότι με την αυστηρή προσήλωση σε μία και μόνο διεύθυνση φωτισμού για το σύνολο του χάρτη, είναι μάλλον δύσκολο να αναδειχθούν όλοι οι σχηματισμοί του ανάγλυφου που υπάρχουν στην αναπαριστώμενη περιοχή, οι οποίοι θα έχουν αρκετούς, διαφορετικούς προσανατολισμούς. Με τη μέθοδο της τοπικής προσαρμογής της διεύθυνσης φωτισμού, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται εν μέρει στις περιοχές που ο προσανατολισμός τους «κοιτάζει» προς τη φωτεινή πηγή (1). Αλλά το πρόβλημα εξακολουθεί να υφίσταται για ολόκληρες πλαγιές σχηματισμών του εδάφους οι οποίες συνολικά δεν φωτίζονται κατάλληλα ή και καθόλου και σκιάζονται με σκούρους γκριζούς τόνους που δημιουργούν οπτική σύγχυση και αποκρύπτουν την πληροφορία του ανάγλυφου, ή καθιστούν δυσδιάκριτα τα υπερκείμενα χαρτογραφικά σύμβολα. Σε μεγαλύτερες κλίμακες με πιο λεπτομερές ανάγλυφο, τα παραπάνω φαινόμενα απαιτούν ακόμη μεγαλύτερη προσοχή, καθώς υπάρχουν ακόμη πιο απότομες κλίσεις, η μεταβλητότητα του προσανατολισμού είναι υψηλότερη οπότε η μέθοδος της τοπικής προσαρμογής καθίσταται λιγότερο αποτελεσματική.

Ο Mark πρότεινε ένα συνδυασμό εικόνων φωτοσκίασης του τοπογραφικού ανάγλυφου, με τέσσερις διαφορετικούς βασικούς προσανατολισμούς από τα βόρεια, βορειοδυτικά, δυτικά και νοτιοδυτικά (3), οι οποίες θα συνθέτουν μια εικόνα φωτοσκίασης πολλαπλών διευθύνσεων που θα δίνει έμφαση σε όλους τους σχηματισμούς του ανάγλυφου, ανεξαρτήτως προσανατολισμού (2). Με την τεχνική αυτή αναπαρίστανται περισσότερες λεπτομέρειες και στις περιοχές εκείνες που, σε περίπτωση χρήσης μίας μόνο φωτεινής πηγής, είτε θα φωτιζόνταν άμεσα είτε θα παρέμεναν σκοτεινές. Ο Jenny, σε μία συναφή

μελέτη (4), εισήγαγε μία προσέγγιση αναλυτικής σκίασης του αναγλύφου με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα των παραδοσιακών χειροποίητων χαρτών. Χρησιμοποιώντας κατάλληλες συναρτήσεις, γίνεται μίξη μιας εικόνας σκίασης που παράγεται με το μοντέλο διάχυτου φωτισμού με μια εικόνα σκίασης που βασίζεται μόνο στη διαφοροποίηση της διεύθυνσης του φωτός, καθώς και ενίσχυση με συμπληρωματικούς, λαμπερούς τόνους γκριζου στις επίπεδες περιοχές της δεύτερης.

Στην εργασία, παρουσιάζεται μία μεθοδολογία που έχει ως σκοπό τη δημιουργία μιας βελτιωμένης εικόνας φωτοσκίασης που θα απεικονίζει πιο ολοκληρωμένα την ποικιλία των προσανατολισμών των σχηματισμών του τοπογραφικού ανάγλυφου, ενώ παράλληλα θα αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά και η ύπαρξη πολύ σκούρων τόνων. Παράγονται τέσσερις εικόνες σκίασης, κάθε μία βασισμένη σε διαφορετική διεύθυνση φωτισμού, οι οποίες ενοποιούνται σε μία εικόνα σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με τη χρήση βαρών. Τα βάρη αυτά υπολογίζονται είτε συνολικά για την κάθε εικόνα, είτε ξεχωριστά για κάθε εικονοστοιχείο της κάθε εικόνας σε συνάρτηση με τον τοπικό προσανατολισμό του. Ο συνδυασμός της εικόνας αυτής με την εικόνα της τυπικής σκίασης συνθέτει το τελικό προϊόν. Η εργασία διαρθρώνεται ως εξής: στο κεφάλαιο 2 δίνεται μία λεπτομερής περιγραφή της προτεινόμενης μεθόδου, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται δύο περιοχές μελέτης, στο κεφάλαιο 4 σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και τα τελικά συμπεράσματα καταγράφονται στο κεφάλαιο 5.

## 2. Περιγραφή της μεθόδου

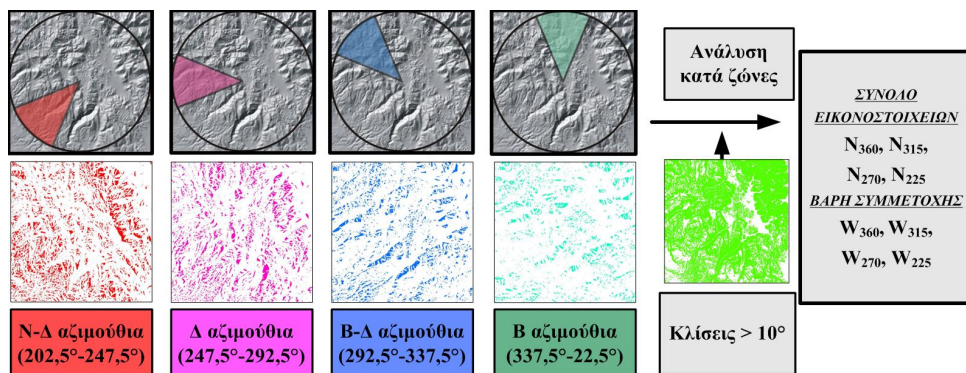
Το πρώτο βήμα της μεθόδου είναι ο υπολογισμός μιας αρχικής, τυπικής εικόνας σκίασης του αναγλύφου [ $H_{initial}$ ] από το διαθέσιμο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Ψ.Μ.Υ.). Για την υλοποίησή της επιλέγεται η βέλτιστη δυνατή διεύθυνση φωτισμού –εκφράζεται μέσω της γωνίας αζιμουθίου και της γωνίας κλίσης ή της ζενίθιας γωνίας- ώστε να αναπαρίστανται με τον καλύτερο τρόπο οι κυρίαρχες μορφές του ανάγλυφου στην απεικονιζόμενη περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται είτε εμπειρικά, είτε χρησιμοποιώντας στατιστικά στοιχεία για τις τιμές του αζιμουθίου και της ζενίθιας γωνίας, τα οποία υπολογίζονται από το Ψ.Μ.Υ.

Το δεύτερο βήμα είναι η παραγωγή τεσσάρων ξεχωριστών εικόνων σκίασης, όπου η φωτεινή πηγή τοποθετείται σε τέσσερις διαφορετικούς προσανατολισμούς, ενώ αυτές στη συνέχεια συγχωνεύονται σε μία εικόνα σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων, με τη χρήση βαρών συμμετοχής. Και για τις τέσσερις αυτές σκιάσεις, η γωνία ύψους της φωτεινής πηγής τους είναι ίση με την τιμή που χρησιμοποιήθηκε στην αρχική, τυπική σκίαση, οπότε η διαφοροποίηση του προσανατολισμού του φωτισμού θα οφείλεται μόνο στη διαφοροποίηση της τιμής της γωνίας αζιμουθίου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τέσσερις βασικές τιμές αζιμουθίου που αντιστοιχούν στην βόρεια, βορειοδυτική, δυτική και νοτιοδυτική διεύθυνση. Μετρώντας θετικά κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού και με αφετηρία το βορρά, οι αντίστοιχες τιμές της γωνίας αζιμουθίου είναι 225°, 270°, 315° και 360°, οι αντίστοιχες δε εικόνες σκίασης συμβολίζονται ως [ $H_{225}$ ], [ $H_{270}$ ], [ $H_{315}$ ] και [ $H_{360}$ ]. Τα βάρη συμμετοχής στην τελική συγχώνευσή συμβολίζονται επίσης ως  $W_{225}$ ,

$W_{270}$ ,  $W_{315}$  και  $W_{360}$ , ενώ η τιμή κάθε βάρους έχει εύρος από 0 έως 1 και το άθροισμά τους θα είναι ίσο με 1. Η τελική εικόνα σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων, που συμβολίζεται ως  $[H_{MD}]$ , υπολογίζεται με την ακόλουθη έκφραση:

$$[H_{MD}] = W_{360} * [H_{360}] + W_{315} * [H_{315}] + W_{270} * [H_{270}] + W_{225} * [H_{225}]$$

Ο υπολογισμός των βαρών στο σημείο αυτό, βασίζεται σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις ενοποίησης των ξεχωριστών σκιάσεων και για το λόγο αυτό διαχωρίζονται και παρουσιάζονται δύο ξεχωριστά μοντέλα σκίασης του ανάγλυφου που παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα, τόσο σε ποιοτικό όσο και σε ποσοτικό επίπεδο. Με τον πρώτο τρόπο ενοποίησης, το βάρος συμμετοχής κάθε μεμονωμένης σκίασης έχει μία ενιαία τιμή για ολόκληρη την εικόνα της, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό των περιοχών της απεικονιζόμενης έκτασης που ο προσανατολισμός τους «κοιτάζει» προς τη φωτεινή πηγή της σκίασης. Στον υπολογισμό του ποσοστού των περιοχών αυτών, εξαιρούνται οι επίπεδες περιοχές που φυσικά δεν έχουν τιμή κλίσης. Προκειμένου να γίνει η ανάλυση αυτή, υπολογίζονται από το Ψ.Μ.Υ. οι αντίστοιχοι πίνακες ακεραίων τιμών των τοπικών γωνιών αζιμουθίου και κλίσης της περιοχής μελέτης, οι οποίοι στη συνέχεια συνδυάζονται κατάλληλα με στατιστική ανάλυση κατά ζώνες (βλέπε Εικόνα 1). Πιο συγκεκριμένα, ζώνες



**Εικόνα 1:** Ενιαία βάρη για τη δημιουργία σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων, βάσει στατιστικών προσανατολισμού.

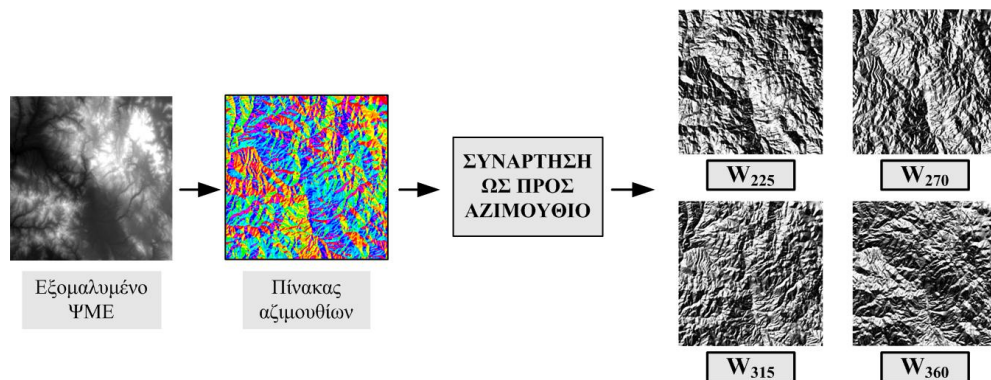
με εύρος τιμών αζιμουθίου που καλύπτει  $45^\circ$  εκατέρωθεν της καθεμίας από τις τέσσερις βασικές διευθύνσεις φωτισμού –βόρεια, βορειοδυτική, δυτική και νοτιοδυτική- συνδυάζονται με τη ζώνη κλίσεων που είναι πάνω από  $10^\circ$  και δίνουν σαν αποτέλεσμα το σύνολο των στοιχείων που πληρούν και τα δύο κριτήρια σε κάθε ζώνη, με συμβολισμούς αντίστοιχα  $N_{225}$ ,  $N_{270}$ ,  $N_{315}$ ,  $N_{360}$ . Τα βάρη υπολογίζονται ακολούθως με τον τύπο:

$$W_i = N_i / N_{total}, \quad \text{όπου: } i = 225, 270, 315, 360 \quad \text{και } N_{total} = \text{άθροισμα των } N_i.$$

Με το δεύτερο τρόπο ενοποίησης τα βάρη των μεμονωμένων εικόνων σκίασης καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε εικονοστοιχείο, συναρτήσει της τοπικής γωνίας αζιμουθίου, ως εξής:

$$[W_i] = \frac{[\sigma \nu([Aspect] - i) + 1]}{2} \frac{1}{\sum [W_i]}, \text{ για } i = 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ.$$

Ο πίνακας των γωνιών αζιμουθίου  $[Aspect]$  υπολογίζεται από ένα εξομαλυσμένο Ψ.Μ.Υ. και οι παράγωγοι πίνακες  $[W_i]$  περιέχουν τα βάρη των μεμονωμένων εικόνων σκίασης (βλέπε Εικόνα 2).



*Εικόνα 2: Βάρη ανά εικονοστοιχείο που βασίζονται στον προσανατολισμό, για τη δημιουργία σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων.*

Κατά τον παραπάνω τύπο, η τιμή κάθε στοιχείου του πίνακα  $[W_i]$  μεγιστοποιείται (τιμή 1) όταν η τιμή αζιμουθίου ισούται με  $i$  και ελαχιστοποιείται όταν διαφέρει από αυτήν κατά  $180^\circ$ , ενώ οι τιμές μεταξύ 0 και 1 προκύπτουν στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Αυτό σημαίνει πως τα στοιχεία της επιφάνειας, που ο προσανατολισμός τους είναι τέτοιος ώστε να «κοιτάζουν» προς το διεύθυνση με αζιμούθιο  $i$ , θα έχουν μεγαλύτερο βάρος συμμετοχής από τα υπόλοιπα για τη συγκεκριμένη σκίαση στον τελικό συνδυασμό. Επισημαίνεται ότι η χρήση της συγκεκριμένης συνάρτησης δεν επιτρέπει την εξαγωγή αρνητικών τιμών βάρους.

Στο τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας –κοινό και για τα δύο μοντέλα– αναμιγνύονται οι εικόνες σκίασης των δύο προηγούμενων βημάτων, δηλαδή της αρχικής, τυπικής σκίασης και της σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων. Η τελική, βελτιστοποιημένη εικόνα φωτοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, συμβολίζεται ως  $[H_{final}]$  και προκύπτει με τη σχέση:

$$[H_{final}] = [W_{in}] * [H_{MD}] + [(1 - W_{in})] * [H_{initial}],$$

όπου ο παράγων βάρους,  $W_{in}$ , έχει τη μορφή πίνακα, έχει τιμές από 0 έως 1 και εξαρτάται άμεσα από την τοπική γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού της αρχικής εικόνας σκίασης ως εξής:

$$[W_{in}] = \eta \mu^2 [i].$$

Βάσει της παραπάνω σχέσης, όσο περισσότερο πλησιάζει η προσπίπτουσα γωνία την τιμή των  $90^\circ$ , τόσο περισσότερο κυριαρχεί η σκίαση πολλαπλών διευθύνσεων στην τελική

κή εικόνα. Ο πίνακας [i], που περιέχει τις τιμές της τοπικής γωνίας πρόσπτωσης, υπολογίζεται από το Ψ.Μ.Υ. σύμφωνα με τον ακόλουθη εξίσωση:

$$[i] = \text{συν}(Slope_L) * [\eta\mu([Slope])] * [\text{συν}(Aspect) - Aspect_L] + \eta\mu(Slope_L) * \text{συν}(Slope),$$

όπου τα μεγέθη  $Slope_L$  και  $Aspect_L$  είναι οι γωνίες κλίσης και αζιμουθίου της φωτεινής πηγής που χρησιμοποιείται στην αρχική φωτοσκίαση του αναγλύφου.

Διευκρινίζεται ότι η τοπική γωνία πρόσπτωσης του φωτισμού είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του διανύσματος της διεύθυνσης φωτισμού που εφαρμόζεται στην αρχική σκίαση και του διανύσματος της τοπικής καθέτου της επιφάνειας του ανάγλυφου (2). Όταν αυτή πλησιάζει ή και ξεπερνά τις 90°, ο τόνος σκίασης γίνεται πολύ σκούρος έως και το απόλυτο μαύρο, πράγμα που σημαίνει ότι η επιφάνεια δέχεται πολύ μικρή έως και καμία ποσότητα φωτός. Ένας από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας είναι να κάνει φωτεινότερες αυτές τις σκούρες περιοχές της φωτοσκίασης και για το λόγο αυτό η προσπίπτουσα γωνία είναι ο ρυθμιστικός παράγοντας στην προσπάθεια αυτή. Ο άλλος σκοπός της εργασίας είναι η ενίσχυση των ήδη απεικονιζόμενων διαφοροποιήσεων του ανάγλυφου ή ακόμη και η ανάδειξη νέων λεπτομερειών, κάτι που επιτυγχάνεται με τη χρήση της σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων.

### 3. Περιοχές μελέτης

Τα δύο μοντέλα σκίασης που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2, εφαρμόστηκαν σε δύο διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, των οποίων τα διαθέσιμα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Ψ.Μ.Υ.) έχουν διαφορετική χωρική ανάλυση. Η πρώτη περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Κεντρική Πελοπόννησο, στο νομό Αρκαδίας, δυτικά της Τρίπολης και το κέντρο της έχει συντεταγμένες 22°12'Α, 37°34'Β. Το Ψ.Μ.Υ. έχει παραχθεί με παρεμβολή σε ισοϋψείς καμπύλες των 20 μέτρων που ψηφιοποιήθηκαν από χάρτη κλίμακας 1:50.000, έκδοσης Γ.Υ.Σ., ενώ καλύπτει έκταση 27.40 × 37.85 τ.χλμ., με κάρναβο ισοδιάστασης 25 μέτρων. Η περιοχή αυτή περιέχει το όρος Μαίναλο και το εύρος των υψομέτρων κυμαίνεται από 331 έως 1987 μέτρα.

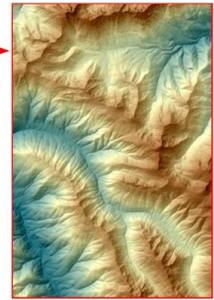
Η δεύτερη περιοχή μελέτης βρίσκεται στις Η.Π.Α., στην πολιτεία της Washington, βορειοδυτικά της πόλης του Seattle και το κέντρο της έχει συντεταγμένες 123°26'Δ, 47°56'Β. Το Ψ.Μ.Υ. διατίθεται από την ιστοσελίδα του Τμήματος Γεωεπιστημών και Διαστημικών Επιστημών του Πανεπιστημίου της Washington και καλύπτει έκταση 9.41 x 13.95 τ.χλμ. με κάρναβο ισοδιάστασης 10 μέτρων. Η περιοχή απεικονίζεται να είναι μέρος του όρους Angeles, το εύρος των υψομέτρων είναι παρόμοιο με αυτό της πρώτης περιοχής μελέτης και πιο συγκεκριμένα κυμαίνεται από 365 έως 1968 μέτρα. Οι δύο περιοχές απεικονίζονται στην Εικόνα 3.

Οι υπολογισμοί των δοκιμών υλοποιήθηκαν με τη βοήθεια του πακέτου λογισμικού για συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, ArcGIS της ESRI. Ο εννοιολογικός σχεδιασμός των δύο μοντέλων υλοποιήθηκε στο περιβάλλον της λογισμικής μονάδας ArcToolbox, με τη μορφή λογισμικού εργαλείου ειδικής κατασκευής, το οποίο εκτελεί όλες τις απαραίτητες πράξεις. Ως δεδομένα δίνονται οι τιμές του πίνακα του επιλεγμένου





ΨΜΥ 25 μέτρων - 27,4x37,85τ.χλμ.  
Όρος Μαίναλο, Αρκαδία, Ελλάδα

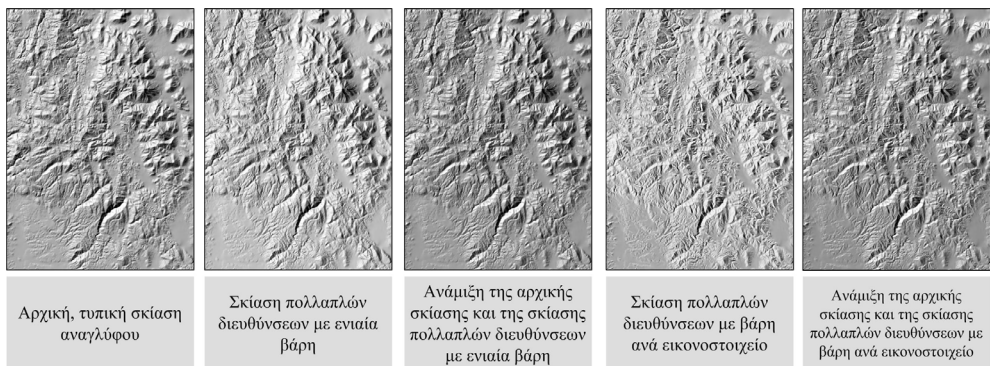


ΨΜΥ 10 μέτρων - 9,41 x 13,95 τ.χλμ.  
Όρος Washington, Η.Π.Α.

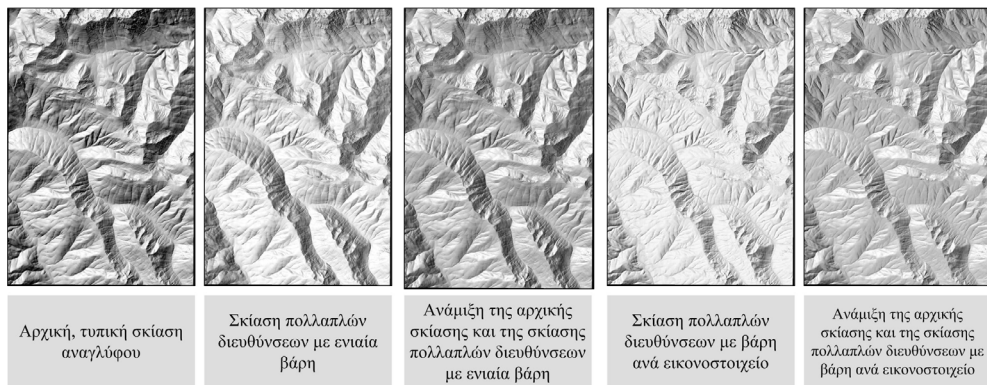
**Εικόνα 3:** Περιοχές μελέτης «Αρκαδία» (No. 1) αριστερά, «Washington» (No. 2) δεξιά.

Ψ.Μ.Υ. και εξάγονται η τελική εικόνα σκίασης, καθώς και οι διάφορες εικόνες που απαιτούνται ενδιάμεσα. Με τον τρόπο αυτό, η όλη διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν διάφορες δοκιμές προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι διάφορες διεργασίες των μοντέλων, να τεκμηριωθούν τα βήματα της επεξεργασίας, να πραγματοποιηθεί η ανάλυση με διάφορες πειραματικές τιμές στις παραμέτρους και να εξαχθούν συμπεράσματα για την επίδρασή τους, ώστε τελικά να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα για τις περιοχές μελέτης.

Οι εικόνες που παρήχθησαν για το καθένα από τα τρία βήματα και για τους δύο τρόπους ενοποίησης, παρουσιάζονται στις Εικόνες 4 και 5 για τις περιοχές μελέτης «Αρκαδία» και «Washington» αντίστοιχα. Η διεύθυνση φωτεινής πηγής που επιλέχθηκε για την αρχική σκίαση είναι η τυπική βορειοδυτική, δηλαδή με γωνία αζιμουθίου ίση με 315° -η αφετηρία μέτρησης είναι από το βορρά και με δεξιόστροφη θετική φορά- και με γωνία κλίσης ή γωνία ύψους ίση με 45°. Για τον πρώτο τρόπο ενοποίησης, οι τιμές των βαρών συμμετοχής των τεσσάρων βασικών σκιάσεων είναι:



**Εικόνα 4:** Αποτελέσματα την περιοχή μελέτης «Αρκαδία», ανάλυσης 25 μέτρων (προσεγγιστική κλίμακα 1:900.000).



**Εικόνα 5:** Αποτελέσματα για την περιοχή «Washington», ανάλυσης 10 μέτρων (προσεγγιστική κλίμακα 1:300.000).

Περιοχή μελέτης	W <sub>225</sub>	W <sub>270</sub>	W <sub>315</sub>	W <sub>360</sub>
«Αρκαδία»	0.23	0.27	0.24	0.26
«Washington»	0.34	0.19	0.20	0.27

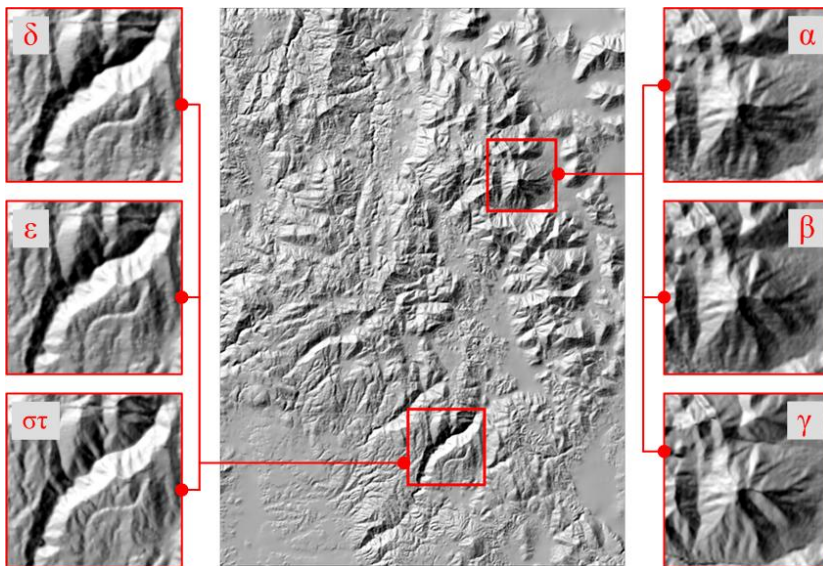
#### 4. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Έχοντας αυτοματοποιήσει τη συνολική διαδικασία, είναι δυνατό να γίνει ένας επαρκής αριθμός δοκιμών των παραμέτρων κάθε μοντέλου, ώστε να πάρει την τελική του μορφή. Για παράδειγμα, διαπιστώθηκε μετά από τις πρώτες δοκιμές ότι περιοχές με μικρές κλίσεις δημιουργούσαν σύγχυση στην εκτίμηση των κυρίαρχων προσανατολισμών και συνεπώς εξαιρέθηκαν βάσει μιας ορισμένης ελάχιστης τιμής κλίσης.

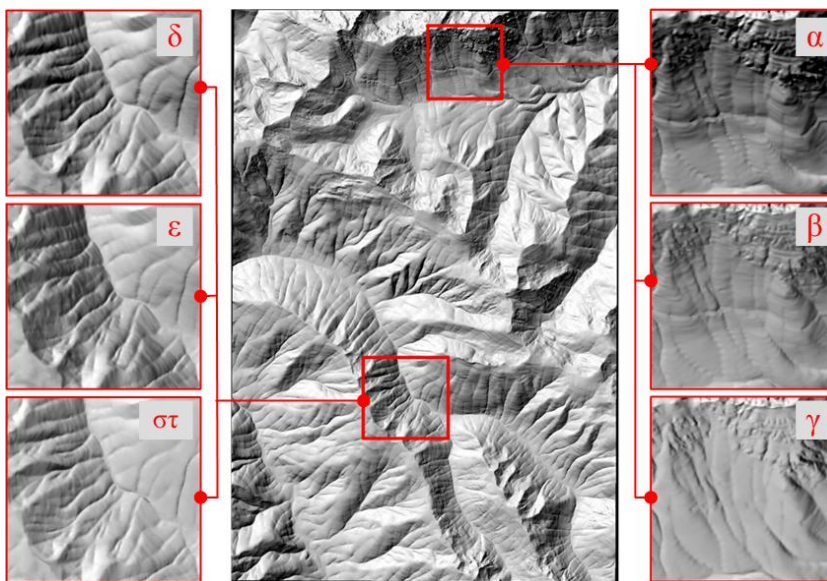
Στην εικόνα 6, παρουσιάζονται δύο μεγεθύνσεις σε επιλεκτικές μορφές του αναγλύφου στην περιοχή μελέτης «Αρκαδία», όπως αυτές απεικονίζονται στην αρχική, τυπική εικόνα σκίασης (α και δ), στην τελική εικόνα του πρώτου μοντέλου όπου γίνεται μίξη της τυπικής σκίασης με τη σκίαση πολλαπλών διευθύνσεων με ενιαία βάρη (β και ε) και στην τελική εικόνα του δεύτερου μοντέλου με ανάμιξη τυπικής σκίασης και σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με ξεχωριστά βάρη ανά στοιχείο (γ και στ). Και στα δύο παραδείγματα, παρατηρείται ότι το δεύτερο μοντέλο έχει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα, καθώς αναδεικνύονται λεπτομέρειες του ανάγλυφου στις σκούρες σκιασμένες περιοχές που αρχικά δεν φαινόταν, ενώ το πρώτο μοντέλο έχει μία μάλλον περιορισμένη και μερικές φορές ανεπαισθητη επίδραση.

Στην Εικόνα 7, παρουσιάζονται παρόμοια δείγματα τοπικών λεπτομερειών από δύο επιλεγμένες περιοχές της περιοχής μελέτης «Washington», τα οποία συμβολίζονται με τα γράμματα (α) ως (στ) κατά τον ίδιο τρόπο με αυτά της Εικόνας 6. Λόγω υψηλότερης ανάλυσης του Ψ.Μ.Υ., τα αποτελέσματα εδώ είναι ακόμη πιο εντυπωσιακά. Η επίδραση του πρώτου μοντέλου είναι περισσότερο εμφανής απ' ό τι την πρώτη περιοχή μελέτης,





**Εικόνα 6:** Δείγματα λεπτομερειών στα αποτελέσματα της περιοχής μελέτης «Αρκαδία» (α) και (δ) αρχική σκίαση, (β) και (ε) ανάμιξη αρχικής και σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με ενιαία βάρη, (γ) και (στ) ανάμιξη αρχικής και σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με βάρη ανά εικονοστοιχείο.



**Εικόνα 7:** Δείγματα λεπτομερειών στα αποτελέσματα της περιοχής μελέτης «Washington» (α) και (δ) αρχική σκίαση, (β) και (ε) ανάμιξη αρχικής και σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με ενιαία βάρη, (γ) και (στ) ανάμιξη αρχικής και σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων με βάρη ανά εικονοστοιχείο.

όμως εδώ το δεύτερο μοντέλο πραγματικά τονίζει και εντείνει τις λεπτομέρειες των περι-οχών που αρχικά παρέμεναν σκοτεινές. Εντούτοις, παρατηρώντας τα δείγματα της δεύτε-ρης λεπτομέρειας, στα σχήματα (δ), (ε) και (στ), πρέπει να αναφερθεί ότι σε μερικές πε-ριπτώσεις αυξημένης ενίσχυσης του φωτός προκύπτει μείωση της αντίθεσης με αποτέλε-σμα να μην διαχωρίζονται σαφώς οι εκατέρωθεν πλευρές του ανάγλυφου σχηματισμού, κάτι που όμως είναι απαραίτητο για τη σωστή αντίληψη του τοπογραφικού αναγλύφου.

## 5. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή, γίνεται μία προσπάθεια δημιουργίας μιας αναλυτικής εικόνας φω-τοσκίασης του τοπογραφικού αναγλύφου, με σκοπό την εξάλειψη –μέχρις ενός ορισμέ-νου βαθμού– δύο σημαντικών ατελειών: της ελλιπούς αναπαράστασης του συνόλου των ανάγλυφων σχηματισμών και της παρουσίας ιδιαίτερα σκούρων τόνων σκίασης που κά-νουν δύσκολο τόσο τον εντοπισμό των μικρών διαφοροποιήσεων του αναγλύφου της γήινης επιφάνειας, όσο και την ευκρινή ανάγνωση των υπερκείμενων χαρτογραφικών συμβόλων. Από τεχνικής απόψεως, τα αυτοματοποιημένα μοντέλα που προτάθηκαν για τις δοκιμές της εργασίας, επιτρέπουν τη δυναμική ρύθμιση όλων των υπολογιστικών βη-μάτων και παρέχουν τη δυνατότητα άμεσων δοκιμών των διαφόρων παραμέτρων ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Η χρησιμοποίηση ενός ενιαίου μοντέ-λου που περιέχει όλες τις απαραίτητες εργασίες για την παραγωγή της τελικής εικόνας φωτοσκίασης, είναι μια λειτουργική λύση που επιτρέπει την εξοικονόμηση χρόνου και προσπάθειας, ενώ παράλληλα αποτελεί και ένα ισχυρό περιβάλλον για την εστίαση στους συγκεκριμένους, οριοθετημένους στόχους.

Η χωρική ισοδιάσταση, ή πιο κοινά η ανάλυση του Ψ.Μ.Υ., η οποία συνδέεται ευθέως με την κλίμακα των συλλεχθέντων υψομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρεμβολή, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα και το επίπεδο λεπτομέ-ρειας που εμφανίζεται στο ψηφιακό σκιασμένο ανάγλυφο. Και πράγματι, τα αποτελέσμα-τα επιβεβαίωσαν πως, όσο πιο επαρκής είναι η ανάλυση και ποιότητα του πρωταρχικού Ψ.Μ.Υ., τόσο πιο ξεκάθαρα και εντυπωσιακά είναι τα αποτελέσματα των μοντέλων στο αναπαριστώμενο ανάγλυφο όπως αυτό απεικονίζεται στην τελική εικόνα φωτοσκίασής του.

Η χρήση ενιαίων βαρών, βασισμένων σε στατιστικά στοιχεία των γωνιών αζιμουθίου, για τις συνιστώσες της σκίασης πολλαπλών διευθύνσεων, έχει μάλλον περιορισμένη επί-δραση στο τελικό αποτέλεσμα, καθώς η κατανομή των βαρών εφαρμόζεται στις σχετιζό-μενες μεμονωμένες σκιάσεις συνολικά. Αντιθέτως η χρήση του μοντέλου που αναμιγνύει την αρχική, τυπική σκίαση με την σκίαση πολλαπλών διευθύνσεων όπως προκύπτει με βάρη υπολογισμένα ξεχωριστά ανά εικονοστοιχείο, έχει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα αφού εφαρμόζονται σε κάθε ξεχωριστή ανάγλυφη δομή. Εντούτοις, χρειάζεται προσοχή σε κάποιες περιπτώσεις, όπου η ενίσχυση του φωτισμού είναι περισσότερη από όσο πρέ-πει και δημιουργεί υποβάθμιση της απαραίτητης για το διαχωρισμό των εκατέρωθεν πλευρών των ανάγλυφων σχηματισμών αντίθεσης, που αποτελεί σημαντική οπτική ένδει-ξη στην αναλυτική φωτοσκίαση. Ο υπολογισμός της προσπίπτουσας γωνίας για κάθε

στοιχείο του Ψ.Μ.Υ. και η μετατροπή της τιμής της σε κρίσιμο παράγοντα βάρους, απεδείχθη ως μάλλον ικανοποιητική και λειτουργική λύση για την διεργασία της ενοποίησης με την αρχική σκίαση ώστε να σχηματισθεί η τελική, βελτιστοποιημένη εικόνα σκίασης του αναγλύφου.

Συμπερασματικά, η δημιουργία μίας αποτελεσματικά σχεδιασμένης σκίασης αναγλύφου για χαρτογραφική χρήση είναι ένα αρκετά σύνθετο πρόβλημα και θα πρέπει να ξεφεύγει από τη στενή προσήλωση σε απομονωμένες θεωρητικές αρχές. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αναλυτικών φωτοσκιάσεων βασίζονται κατά κανόνα στη θεωρία υπολογισμού της ανακλαστικότητας της φωτιζόμενης επιφάνειας, δεν εμβαθύνουν όμως σε πιθανές ατέλειες που εμφανίζονται. Η εργασία αυτή προσπαθεί να προσεγγίσει τις ατέλειες αυτές, με μια μεθοδολογία που συγχωνεύει αποτελεσματικά διαφορετικές διευθύνσεις φωτισμού προκειμένου να παραχθούν αξιόλογα και βελτιωμένα προϊόντα σε σύγκριση με την τυπική σκίαση της μίας και μοναδικής φωτεινής πηγής.

## Βιβλιογραφία

- 1 Imhof, E., 1982. *Cartographic Relief Presentation*, (Steward, H.J., Ed.). Walter de Gruyter, Berlin, σελ. 389.
- 2 Horn, B.K.P., 1982. "Hill-shading and the reflectance map", *Geo-Processing*, 2, σελ. 65-146.
- 3 Mark, R., 1992. "Multidirectional, oblique-weighted, shaded-relief image of the Island of Hawaii", U.S. Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/of/1992/of92-422>
- 4 Jenny, B., 2001. "An interactive approach to analytical relief shading", *Cartographica*, Vol. 38, No. 1 & 2, σελ. 67-75.

