



Γεώργιος Δ. Χιώτης

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ
ΚΥΘΝΟΥ



Διπλωματική Εργασία
α: ΚΕΙΜΕΝΟ



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Αλέξανδρος Μαζαράκης Αινιάν
Γιάννης Λώλος
Αλέξανδρος Γούναρης

ΒΟΛΟΣ 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7940/1 τ.1
Ημερ. Εισ.: 21-12-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
930.102 8
ΧΙΩ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ, ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΠΣ «ΔΙΕΣΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ,
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ»

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΧΙΩΤΗΣ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ
ΚΥΘΝΟΥ

Διπλωματική Εργασία

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Αλέξανδρος Μαζαράκης Αινιάν
Γιάννης Λώλος
Αλέξανδρος Γούναρης

ΒΟΛΟΣ 2009

Σε όσους με βοήθησαν
και με βοηθούν

DDC: 930.1 0 285 0 93915
LCC: CC80.6

Φωτογραφικό υπόβαθρο χάρτη εξωφύλλου: Google Earth – Basarsoft,
Cnes/Spot Image, Gisrael, Teleatlas

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|----|
| Εισαγωγή..... | 1 |
| Σύντομη Ιστορία της Κύθνου..... | 4 |
| Μικρό Ιστορικό των Ερευνών στο Βρυόκαστρο..... | 6 |
| Γεωλογία της Νήσου Κύθνου..... | 8 |
| Τι είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών..... | 10 |
| Βασικές Έννοιες Χαρτογραφίας/Τοπογραφίας..... | 12 |
| Μεθοδολογία..... | 21 |
| Άλγεβρα Χαρτών..... | 40 |
| Επιφανειακή Έρευνα..... | 43 |
| Η Κρήνη..... | 54 |
| Υδατοδεξαμενές..... | 58 |
| Επόμενοι στόχοι της έρευνας..... | 62 |
| Εν κατακλείδι..... | 67 |
| Βιβλιογραφία..... | 70 |

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ανά χείρας εργασία πιθανό να μην υπήρχε χωρίς την υποστήριξη και τη βοήθεια αρκετών ανθρώπων, τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου, στενότερη και ευρύτερη, που μου παραστάθηκε ποικιλότροπα καθ'όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης αυτής.

Πολλές ευχαριστίες οφείλω στους καθηγητές μου κο Αλέξανδρο Μαζαράκη Αιινιάνα και κο Γιάννη Λώλο που είχαν και την εποπτεία του όλου εγχειρήματος. Ο κο Μαζαράκης εργάζεται πολλά χρόνια στην Κύθνο και οι βιβλιογραφικές και τοπογραφικές πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το νησί μου ήταν εξαιρετικά χρήσιμες. Ιδιαίτερα τον ευχαριστώ και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε επιτρέποντάς μου να εργαστώ πάνω σε υλικό των δικών του ερευνών. Ο κο Λώλος, ακούρατος ερευνητής της ύδρευσης στην αρχαιότητα και ένθερμος υποστηρικτής και χρήστης των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και ο ίδιος, με υποστήριξε συχνά βιβλιογραφικά σε θέματα ύδρευσης αλλά και με τις γνώσεις του πάνω στα Σ.Γ.Π. και τον ευχαριστώ θερμά.

Ευχαριστώ ακόμα θερμά τον καθηγητή μου κο Αλέξανδρο Γούναρη ο οποίος και χωρίς την ιδιότητα του επιβλέποντος με συμβούλεψε αρκετές φορές σε ζητήματα που αφορούσαν τόσο την Κύθνο όσο και την αρχιτεκτονική του νερού.

Πρέπει επίσης να ευχαριστήσω μια σειρά φίλων και συναδέλφων που με βοήθησαν με βιβλιογραφικές και άλλες συμβουλές, με πολύ ενδιαφέρουσες συζητήσεις για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, ανθρώπους που διάβασαν κάποια πρωτόλεια κείμενα ή που με συντρόφευσαν στα περπατήματά μου ή κατά τη συγγραφή αυτής της εργασίας ανάμεσα σε άλλα. Οι άνθρωποι αυτοί είναι μεταξύ άλλων η Χριστίνα Μητσοπούλου, η Εύα Χαραλαμπίδου, η Αφροδίτη Βλάχου, η Όλγα Κακλαμάνη, ο Γιαννάκης Τιμοθέου και η Βασιλική Παπάζογλου.

Ευχαριστώ, τέλος, για τη συμπαράστασή τους τον κο Ευάγγελο Αυδίκο και τον κο Κωνσταντίνο Μπαγιάτη. Σε όλους αυτούς τους ανθρώπους και σε όλους όσους με βοήθησαν και με βοηθούν αφιερώνεται το παρόν.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το παρόν πόνημα υποβάλλεται ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για τη λήψη του διπλώματος του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Διεπιστημονικές προσεγγίσεις στις Ιστορικές, Αρχαιολογικές και Ανθρωπολογικές Σπουδές» που οργανώνεται από το τμήμα Ιστορίας, Αρχαιολογίας και Κοινωνικής Ανθρωπολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Δε μπορεί λοιπόν παρά να υπακούει στις προσταγές του βασικού άξονα του προγράμματος σπουδών του για διεπιστημονικότητα.

Με τον όρο διεπιστημονικότητα δεν εννοούμε εδώ τόσο τη διαπλοκή των τριών γνωστικών αντικειμένων του προγράμματος, τα οποία ούτως ή άλλως είναι αρκούντως συναφή μεταξύ τους, σε βαθμό μάλιστα κάποια να αντιμετωπίζονται από κάποιες σχολές σκέψης ως κλάδος το ένα του άλλου, ή ως επικουρικό το ένα του άλλου¹. αναφερόμαστε περισσότερο στη γόνιμη σύνδεση των «δικών μας» επιστημονικών πεδίων με άλλα, λιγότερο συναφή εκ πρώτης όψεως, κυρίως των θετικών επιστημών.

Η εργασία αυτή εντάσσεται στο θεματικό κύκλο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος που αφορά την Καθημερινή Ζωή και τον Υλικό Πολιτισμό και στην κατεύθυνση της Αρχαιολογίας. Ασχολείται με μια όψη της αρχαίας τεχνολογίας που έπαιζε (και παίζει ακόμα) σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή και επιβίωση του ανθρώπου, την παροχή του νερού· για να το κάνει αυτό αποδοτικότερα καταφεύγει στη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας, συγκεκριμένα στο σχετικά νεαρό τομέα της πληροφορικής (όχι πολύ γηραιάς επιστήμης και της ίδιας) που ονομάζεται Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών ή κατ' άλλους Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems). Στην πορεία της συγγραφής της ο γράφων χρειάστηκε να συμβουλευτεί, εκτός βέβαια από τη σχετική με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και τη Χωρική Ανάλυση (Spatial Analysis) βιβλιογραφία, μελέτες γεωλογίας, φυσικής, μηχανικής, τοπογραφίας, τηλεπισκόπισης, φωτογραμμετρίας και

¹ Αναφερόμαστε εδώ περισσότερο στην Αρχαιολογία, η οποία για κάποιους είναι επιστήμη επικουρική της Ιστορίας, ενώ κατ' άλλους είναι κλάδος της (Ιστορικής) Ανθρωπολογίας, ο οποίος μελετά κοινωνίες του παρελθόντος μέσα από τα υλικά τους κατάλοιπα.

εφαρμοσμένων μαθηματικών, στα οποία βασίζεται μεγάλο μέρος της θεωρίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών —αλλά και της θεωρίας της πληροφορικής γενικότερα. Ο κύριος πυρήνας των πηγών της είναι ωστόσο κατά βάσει η αρχαιολογική βιβλιογραφία, αλλά και οι μέθοδοι της αρχαιολογίας και το αρχαιολογικό αρχείο.

Αυτό που επιχειρήσαμε εδώ λοιπόν είναι μια μελέτη περίπτωσης (case study)²· ασχοληθήκαμε συγκεκριμένα με το σύστημα ύδρευσης της (ομώνυμης) αρχαίας πόλης της νήσου Κύθνου, στη θέση Βρούκαστρο. Προσπαθήσαμε να απαντήσουμε σε ερωτήματα σχετικά με την παροχή, την αποθήκευση και τη διανομή/διάθεση του νερού στην πόλη.

Τρεις είναι οι κύριοι άξονες της εργασίας. Πρώτος και κυριότερος και αυτός που μας απασχόλησε περισσότερο και απαίτησε τη μεγαλύτερη προσπάθεια και το μεγαλύτερο χρόνο για να εξεταστεί ήταν η διερεύνηση της πορείας του αγωγού από την πηγή που βρίσκεται σε απόσταση 2,5 χιλιομέτρων περίπου από την αρχαία πόλη, μέχρι και τα τείχη της αρχαίας πόλης και την κρήνη, την οποία αναφέρει ο Joseph Pitton de Tournefort ήδη στα 1717. Με βάση τα ευρήματα των επιφανειακών ερευνών που διεξήγαγε η ομάδα του Καθηγητή Αλέξανδρου Μαζαράκη Αιινιάνος στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και γνωρίζοντας τη θέση της πηγής, η οποία μας υποδείχτηκε από τους ντόπιους, με τη χρήση εφαρμογών χωρικής ανάλυσης προβλέψαμε την πορεία που θα πρέπει να ακολουθούσε ιδανικά ο αγωγός. Στη συνέχεια, με τη διενέργεια περαιτέρω επιφανειακών ερευνών, εντοπίσαμε επιπλέον τμήματά του, τα οποία μας έδωσαν καινούριες πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου.

Το δεύτερο θέμα που μας απασχόλησε είναι το ίδιο το κρηναίο οικοδόμημα στο οποίο απολήγει το υδραγωγείο². Επιχειρήσαμε να αποσαφηνίσουμε τη μορφή που θα πρέπει να είχε, καθώς και τη λειτουργία του —το ένα προκύπτει από το άλλο άλλωστε. Βάσει κάποιων λιγοστών γνωστών παραλλήλων κάνουμε εδώ μερικές προτάσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

² Διευκρινίζουμε ότι χρησιμοποιούμε εδώ τον όρο υδραγωγείο με την αρχαία και πρωταρχική του έννοια, του αγωγού του νερού δηλαδή, και όχι για να αναφερθούμε σε κάποια άλλη διάταξη ή δεξαμενή που αποτελεί τμήμα του δικτύου παροχής.

Τρίτο και τελευταίο ζήτημα με το οποίο ασχοληθήκαμε, αν και πολύ επιφανειακά, είναι οι υδατοδεξαμενές που έχουν εντοπιστεί εντός των τειχών της αρχαίας πόλης. Θέτουμε κάποια ερωτήματα σχετικά με τη σκοπιμότητά τους· με το αν αυτές ήταν σύγχρονες με το υδραγωγείο και την κρήνη, και αν ναι, αν λειτουργούσαν επικουρικά προς το υδραγωγείο με την κρήνη ή αν το αντικαθιστούσαν για κάποιους μήνες του χρόνου. Ήταν ανεξάρτητες μεταξύ τους, ή κάποιες από αυτές επικοινωνούσαν; Γιατί οι δεξαμενές παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα σε ορισμένα σημεία της πόλης; Ο λόγος που δεν ασχοληθήκαμε περαιτέρω με το θέμα των δεξαμενών είναι ότι για να γίνει κάτι τέτοιο απαιτούνται μεταξύ άλλων εκτεταμένοι καθαρισμοί και αποτυπώσεις, κάτι που απαιτεί αρκετό χρόνο και το οποίο και δεν επεδίωξε για αυτό το λόγο μεταξύ άλλων το ανά χείρας κείμενο. Για την αποτελεσματική εξέταση τους δεν αρκεί η ενδελεχής μελέτη μίας ή δύο εξ αυτών· αντίθετα απαιτείται να μελετηθούν όλες. Μια βασική πληροφορία που χρειαζόμαστε για την εξέταση του δικτύου τους είναι η χωρητικότητά τους, κάτι που δε μπορούμε να πάρουμε χωρίς τον καθαρισμό και την αποτύπωσή τους. Οι υδατοδεξαμενές μπορούν άνετα να αποτελέσουν από μόνες τους αντικείμενο ξεχωριστής μελέτης.

Εκτός από τα παραπάνω, θεωρήσαμε σκόπιμο να δώσουμε κάποιες εισαγωγικές πληροφορίες για την ιστορία του νησιού και της έρευνας στο Βρούκαστρο. Παρουσιάζουμε επίσης μερικές βασικές αρχές τοπογραφίας/χαρτογραφίας για να διευκολύνουμε την κατανόηση του κυρίως μέρους. Ελπίζουμε έτσι να δώσουμε στο μη εξοικειωμένο με την έρευνα της Κύθνου κοινό το βασικό της πλαίσιο και στους μη εξοικειωμένους με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών τα βασικά εργαλεία για την ανάγνωση της περιγραφής των αναλυτικών μεθόδων που εφαρμόσαμε.

ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΚΥΘΝΟΥ

Η Κύθνος βρίσκεται στις Δυτικές Κυκλάδες, σε απόσταση 21 μίλις από τη Σουνιάδα άκρα. Λιγοστές είναι ωστόσο οι αναφορές σε αυτή από τα σωζόμενα έργα των αρχαίων συγγραφέων· ως αποτέλεσμα, έχει καθιερωθεί στη νεώτερη έρευνα η άποψη πως ήταν μάλλον από τα «φτωχά» νησιά των Κυκλάδων.

Στην Κύθνο πιθανολογείται πως έχουμε κατοίκηση για πρώτη φορά στους Μεσολιθικούς χρόνους³, στα βορειοανατολικά του νησιού στη θέση Μαρουλάς, και πάντως σίγουρα στα Νεολιθικά. Στην Πρώιμη Εποχή του Χαλκού φαίνεται πως το νησί κατέχει σημαντική θέση ως πηγή μεταλλευμάτων που προμηθεύει το δυτικό Αιγαίο⁴. Φαίνεται πως η κατάσταση αυτή συνεχίζει και στην Εποχή του Χαλκού⁵.

Στους αρχαίους και τους κλασσικούς χρόνους, η Κύθνος περνά σχεδόν απαρατήρητη από το ιστορικό αρχείο· έχουμε μόνο λιγοστές αναφορές για τη συμμετοχή της στους περσικούς πολέμους, ενώ από επιγραφές γνωρίζουμε ότι ήταν μέλος της Αθηναϊκής συμμαχίας. Στους ελληνιστικούς χρόνους γνωρίζουμε το περιστατικό με την αντίστασή της στη Δεύτερη Νησιωτική Συμμαχία⁶. Στους ρωμαϊκούς χρόνους υπήρξε τόπος εξορίας και ορμητήριο πειρατών, ο Τίτος Λίβιος Ανδρόνικος μάλιστα

³ Βλ. σχετικά: K. Honea, "Archaeological Notes – Prehistoric Remains on the Island of Kythnos", *AJA* 79.3 (06/1975), pp. 277-279.

A. Sampson, K. Koslowski, M. Kaszanowska, B. Giannouli, "The Mesolithic settlement at Maroulas, Kythnos", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 2.1 (06/2002), pp. 45-67.

contra: C. Perlès, *The Early Neolithic in Greece; the first farming communities in Europe*, Cambridge 2004, p. 22.

⁴ Βλ. σχετικά: J. L. Davis, "Review of Aegean Prehistory I: The Islands of the Aegean", *AJA* 96.4 (06/1992), pp. 699-756, pp. 728 ff.

⁵ Βλ. σχετικά και:

Ό. Χατζηαναστασίου, "Σημειώσεις για την Κύθνο" στο Λ. Μενδώνη, Α. Μαζαράκης Αιλιάν (επ.), *Κέα – Κύθνος: Ιστορία και Αρχαιολογία*, Αθήνα 1998, σσ. 259-273.

⁶ Βλ. σχετικά:

K. Sheedy, "The Origins of The Nesiotic League and the Defence of Kythnos", *Historia* 45.1 (1996), pp. 423-449.

παραδίδει το περιστατικό με έναν εξόριστο σκλάβο που παρίστανε το (νεκρό τότε) Νέρωνα.

Στη συνέχεια η Κύθνος από τη Ρωμαϊκή/Βυζαντινή Αυτοκρατορία θα περάσει στα χέρια των Ενετών, για να καταλήξει στο τέλος στους Τούρκους και να ενταχθεί στα 1830 στο νεοσύστατο ελληνικό κράτος μαζί με τις υπόλοιπες Κυκλάδες.

ΜΙΚΡΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΣΤΟ ΒΡΥΟΚΑΣΤΡΟ

Από το Βρυόκαστρο έχουν περάσει αρκετοί περιηγητές (βλ. παρακάτω). Έχουν γίνει κατά καιρούς έρευνες από την Αρχαιολογική Υπηρεσία⁷ και τη δεκαετία του '80 που άρχισε να οικοδομείται η περιοχή του Νότιου Νεκροταφείου, έχουν διεξαχθεί και ανασκαφές. Αυτό όμως που χαρακτηρίζει όλες τις παραπάνω έρευνες είναι η περιστασιακότητα. Οι πρώτες συστηματικές αρχαιολογικές έρευνες στο χώρο έγιναν από τον Καθηγητή Αλέξανδρο Μαζαράκη Αινιάνα και την ομάδα του στις αρχές της δεκαετίας του '90 και συνεχίζονται μέχρι σήμερα. Σε αυτές τις έρευνες είναι που θέλουμε να αναφερθούμε εδώ επί τροχάδην⁸.

Η πρώτη περίοδος έρευνας στο Βρυόκαστρο άρχισε το 1990. Κράτησε πέντε χρόνια και ολοκληρώθηκε το 1995. Είναι ένα από τα λίγα προγράμματα επιφανειακής έρευνας σε αστικό περιβάλλον —παραδοσιακά άλλωστε η επιφανειακή έρευνα θεωρείται εργαλείο μελέτης για την ύπαιθρο χώρα μάλλον, παρά για το άστυ μιας πόλεως. Κατά τη διάρκεια της πενταετίας αυτής τοπογραφήθηκε ο χώρος, και ερευνήθηκε επιφανειακά στο σύνολό του. Μεταξύ άλλων εντοπίστηκε ιερό της Δήμητρας στην ακρόπολη, καθώς και μια σειρά από άλλα δημόσια κτήρια ή και ναοί. Προέκυψαν επίσης μια σειρά από χρήσιμες πληροφορίες για την οργάνωση της πόλης.

Το έτος 2001 πραγματοποιήθηκε μια συμπληρωματική επιφανειακή έρευνα. Κατά τη διάρκειά της, εντοπίστηκαν κοντά στα υπολείμματα ενός κτηρίου που είχε ήδη εντοπιστεί από την προηγούμενη έρευνα μια σειρά από αντικείμενα που συνηγορούσαν στην υπόθεση ότι πρόκειται για ναό. Έτσι το 2002 ξεκίνησε η ανασκαφή στο χώρο. Την πρώτη κιόλας

⁷ Βλ. π.χ. Φ. Ζαφειροπούλου, «Κύθνος», *ΑΔ* 23 (1968) [1969] Β'2, σσ. 382-383.

⁸ Για περισσότερες πληροφορίες βλ.:

A. Mazarakis Ainian, "Inside the adyton of a Greek temple – Excavations on Kythnos (Cyclades)" in M. Yeroulanou, M. Stamatopoulou (eds.), *Architecture and Archaeology in the Cyclades; Papers in Honour of J.J. Coulton*, Oxford 2005, pp. 87-103.

A. Μαζαράκης Αινιάν, Χ. Μητσοπούλου, «Από την επιφανειακή έρευνα στην ανασκαφή: το ιερό της αρχαίας Κύθνου» στο *Έπαθλον*, Αθήνα 2007, τ. 1, σσ. 307-384.

ανασκαφική περίοδο αποκαλύφθηκε το ασύλητο άδυτο του ναού όπου ανασκάφηκαν μια μεγάλη σειρά από πλούσια αναθήματα, όπως πολυτελή αγγεία και μια σειρά από κοσμήματα από πολύτιμους λίθους και μέταλλα.

Η ανασκαφική έρευνα συνεχίστηκε μέχρι και το 2006 οπότε και έληξε η πενταετής αυτή περίοδος. Από την ανασκαφή προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για την οργάνωση του ιερού, ενώ αποκαλύφθηκαν μεταξύ άλλων δύο βωμοί και διαπιστώθηκε ότι στο ιερό τελούνταν διπλή λατρεία, πράγμα που συνάγεται και από τη μορφή του ναού.

Στο μεταξύ, από το 2005 και εξής διεξάγεται στο αρχαίο λιμάνι της Κύθνου στον Όρμο Μανδράκι και ενάλια αρχαιολογική έρευνα και από το έτος 2006 και ανασκαφή, η οποία συνεχίζεται και προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την οργάνωση του χώρου του αρχαίου λιμένα.

Το έτος 2009 συνεχίστηκαν οι ενάλιες ανασκαφικές έρευνες, ενώ άρχισαν εκ νέου οι χερσαίες, οι οποίες είχαν σταματήσει το 2006 και είχε μεσολαβήσει περίοδος μελέτης του υλικού. Τα αποτελέσματα των ερευνών του 2009 δεν έχουν ανακοινωθεί ακόμα.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΥΘΝΟΥ

Θεωρούμε σκόπιμο στο σημείο αυτό να παρουσιάσουμε συνοπτικά ορισμένα γεωλογικά στοιχεία για το νησί γενικότερα, αλλά και ειδικότερα για τους δύο όγκους που περιλαμβάνονται στην υπό μελέτη περιοχή, το Βρουόκαστρο δηλαδή και τον Τρύπιο.

Η νήσος Κύθνος ανήκει στο αττικοκυκλαδικό κρυσταλλικό σύμπλεγμα⁹. Όπως μπορούμε να πληροφορηθούμε και από το σχετικό φύλλο χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών Μελετών¹⁰, το μεγαλύτερο μέρος του νησιού αποτελείται από αλβιτικούς – χαλαζιακούς – μοσχοβιτικούς – χλωριτικούς σχιστόλιθους· ο κύριος τύπος είναι χλωριτο-σερικιτικοί σχιστόλιθοι. Περιέχουν σε μικρά ποσοστά μεταξύ άλλων ασβεστίτη, τιτανίτη και μαγνητίτη.

Γενικότερα, στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού επικρατούν οι σχιστόλιθοι. Δε σπανίζουν και τα μάρμαρα (αν και εμφανίζονται σε πολύ μικρότερο ποσοστό), κιτρινοκαστανόχρωμα κυρίως στα ανατολικά και τεφροκύανα, συχνά με κοιτάσματα σιδήρου, στα βόρεια, τα μεσοδυτικά και τα νότια. Τα μάρμαρα γενικά παρουσιάζουν ελάχιστη ανάπτυξη και μικρό πάχος¹¹. Σε μικρότερο βαθμό εμφανίζονται αλουβιακές αποθέσεις στις κοιλάδες που έχουν σχηματιστεί από ρέματα όπως είναι αναμενόμενο. Υπάρχουν επίσης ελάχιστες μικρές συγκεντρώσεις μεταμορφωμένων γαββρικών πετρωμάτων, ενώ στο νοτιότατο άκρο του νησιού απαντώνται ασβεστιτωμένα ηφαιστειακά πετρώματα πλούσια σε σίδηρο.

Όσον αφορά τώρα ειδικότερα τη γεωλογία του Βρουοκάστρου, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα εξής. Ο κύριος όγκος του Βρουοκάστρου αποτελείται από επιδοτο-ζωισιτικούς σχιστόλιθους, με συγκεντρώσεις αλβιτικών – χαλαζιακών – μοσχοβιτικών – χλωριτικών σχιστολίθων στις

⁹ Μ. Παγούνης, Αχ. Γάκης, Έκθεση υδρογεωλογικής έρευνας για τη βελτίωση της υδρεύσεως των οικισμών του νησιού Κύθνου νομού Κυκλάδων, Αθήνα:ΙΓΜΕ 1980, σ. 4.

M. Keiter, F. Tomaschek, C. Ballhaus, "The structural evolution of Kythnos Island (Cyclades, Greece) – a reconnaissance", *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 159.3 (Sept. 2008), pp. 513-520.

¹⁰ J. B. de Smeth, Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος – Νήσος Κύθνος, Αθήνα:ΙΓΜΕ 1975.

¹¹ Παγούνης – Γάκης, ό.π.π.

περιοχές της αρχαίας ακρόπολης και του μακεδονικού (;) φρουρίου, του λεγόμενου Αντίκαστρου. Οι επιδοτο-ζωισιτικοί σχιστόλιθοι περιβάλλονται από κιτρινοκαστανόχροα μάρμαρα (βλ. π.χ. εικ. 1), τα οποία μάλιστα εμφανίζονται περιμετρικά της αρχαίας οχύρωσης στο βόρειο και δυτικό τμήμα της (βλ. χάρτη 1).

Η περιοχή που συνδέει το Βρυόκαστρο με τον απέναντι ορεινό όγκο, τον Τρύπιο (από τον οποίο θεωρείται πως υδρεύονταν η αρχαία πόλη), η λεγόμενη Διασέλα, αποτελείται από τους συνήθεις για το νησί αλβιτικούς – χαλαζιακούς – μοσχοβιτικούς – χλωριτικούς σχιστόλιθους. Ο ίδιος ο Τρύπιος, ενώ στις παρυφές του αποτελείται από τα ίδια πετρώματα, έχει να εμφανίζονται στο ψηλότερο σημείο του κιτρινοκαστανόχροα μάρμαρα που περικλείονται από μια περιοχή χαλαζιακών-μοσχοβιτικών και χλωριτικών σχιστόλιθων, η οποία κυριαρχεί στο κέντρο του νησιού, γύρω από τον οικισμό της Κύθνου (Χώρας). Η πηγή του Τρύπιου τοποθετείται σε αυτήν την περιοχή, κοντά στα όρια με την περιοχή των κιτρινοκαστανόχρωων μαρμάρων.

Γενικά οι σχιστόλιθοι είναι υδατοστεγανά πετρώματα. Σε σημεία όμως με έντονη τεκτονική δράση, κάτι που είναι επιβεβαιωμένο στην περίπτωση της Κύθνου, μπορεί να υπάρχουν συστήματα ανοιχτών ρωγμών που επιτρέπουν τη δημιουργία υπόγειων αποθεμάτων νερού. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι μεγαλύτερες πηγές που υπάρχουν σήμερα στο νησί και οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ύδρευση των οικισμών¹². Τα μάρμαρα, αν και υδροδιαπερατά, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο μεγαλύτερο μέρος του νησιού, και πάντως όχι στην υπό μελέτη περιοχή, λόγω της περιορισμένης έκτασής τους και της τεκτονικής τους θέσης που δεν επιτρέπει τη διαμόρφωση υδροφόρου ορίζοντα¹³.

¹² όπ. π., σσ. 4-5.

¹³ όπ. π., σ. 5.

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Αν και αναφερόμαστε αρκετά στις ιδιότητες και τις λειτουργίες των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο για τη Μεθοδολογία της έρευνάς μας, θεωρήσαμε σκόπιμο να το εισάγουμε με αυτό εδώ το μικρότερο κεφάλαιο που αναφέρεται περισσότερο σε ορισμούς και στην ιστορία του αντικειμένου.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών άρχισαν να αναπτύσσονται από Πανεπιστήμια και Κυβερνητικούς φορείς στη δεκαετία του '60¹⁴ και προέκυψαν σε μια προέκταση των συστημάτων CADD (Computer Aided Design and Drafting)¹⁵, από τα οποία όμως γρήγορα διαφοροποιήθηκαν. Τα πρώτα χρόνια τα GIS παρέμειναν στην ουσία υπόθεση αυτών των λίγων φορέων και αυτό λόγω της τεράστιας για την εποχή υπολογιστικής ισχύος και των μεγάλων συστάδων αποθηκευτικών μέσων που απαιτούνταν για τη λειτουργία τους. Φτάνοντας στη δεκαετία του '80, όταν άρχισαν οι λεγόμενοι mini computers και στη συνέχεια οι microcomputers (αυτοί που χρησιμοποιούμε και σήμερα σε καθημερινή βάση) να αποκτούν περισσότερες δυνατότητες, άρχισαν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών να γίνονται προσιτά και σε άλλες ομάδες.

Υπάρχει μια πληθώρα από ορισμούς για τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών¹⁶. Ο Keith C. Clarke έδωσε στα 1986 τον εξής ορισμό:

«[...] ένα σύστημα για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση, ανάλυση, προβολή και διαχείριση χωρικών δεδομένων, μέσα σε ένα συγκεκριμένο οργανισμό[...]»¹⁷.

¹⁴ G. B. Korte, *The GIS Book*, Santa Fe NM 1997⁴, pp. ??

¹⁵ J. C. Antenucci, K. Brown, P. Croswell, M. J. Kevany, H. Archer, *Geographic Information Systems: A Guide to the technology*, New York – London 1991, pp. 20-33.

¹⁶ Ο αγγλικός όρος Geographic Information Systems αποδίδεται με δύο τρόπους στα ελληνικά, είτε ως Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είτε —συνηθέστερα— ως Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Δε θα επεκταθούμε εδώ σχετικά με τη διαφοροποίηση στην έννοια· πάντως θα χρησιμοποιούμε σε αυτό το κείμενο τον όρο κύριως με αυτή τη μορφή —Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Νομίζουμε λοιπόν ότι ο παραπάνω ορισμός αποδίδει αρκετά καλά την ουσία των Συστημάτων Γεωγραφικών πληροφοριών. Τα Σ. Γ. Π. έχουν πολλές όψεις και δυνατότητες. Ανάλογα με τις επιδιώξεις του και τις ανάγκες του ο κάθε φορέας που αναπτύσσει ένα σύστημα προκρίνει και άλλες πλευρές. Οι κύριες προσεγγίσεις είναι η διαχειριστική, η χρήση του δηλαδή για αποθήκευση και ανάκτηση χωρικών δεδομένων, η χαρτογραφική, όπου δίνεται περισσότερη έμφαση στην απεικόνιση της γεωγραφικής πληροφορίας, η προσέγγιση της χωρικής ανάλυσης, όπου χρησιμοποιούνται σύνθετα μαθηματικά μοντέλα για να εξαχθεί νέα χωρική πληροφορία από την υπάρχουσα, καθώς και η προσέγγιση της σχεδίασης, η οποία είναι πιο κοντά στην έννοια των CADD¹⁸.

Στην εργασία αυτή, επιλέξαμε να προσεγγίσουμε την πλευρά των Σ. Γ. Π. που έχει να κάνει με τη χωρική ανάλυση. Επιχειρήσαμε να αναπτύξουμε ένα προγνωστικό μοντέλο (predictive model) με σκοπό μεταξύ άλλων τον υπολογισμό της πορείας του υδραγωγείου της αρχαίας πόλης της Κύθνου. Πώς προσεγγίσαμε το εν λόγω αντικείμενο θα δούμε στο μεθεπόμενο κεφάλαιο.

¹⁷ K. C. Clarke, "Advances in geographic information systems" *Computers, Environment and Urban Systems* 10.3/4 (1986), pp. 175-186.

¹⁸ Κ. Κουτσόπουλος, *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*, Αθήνα 2002, σσ. 17-18.

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ / ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί και παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών που αποτελεί τη βάση του μεγαλύτερου πυρήνα της εργασίας, χρησιμοποιείται μια σειρά όρων σχετικών με τους χάρτες και τη χαρτογραφία. Καθώς οι όροι αυτοί μπορεί να ξενίσουν όποιον δεν είναι εξοικειωμένος με αυτά τα αντικείμενα, κρίναμε σκόπιμο να παρουσιάσουμε εδώ κάποιες αρχές χαρτογραφίας. Αρχική μας πρόθεση ήταν το μέρος αυτό να είναι αρκετά πιο σύντομο. Κάτι τέτοιο όμως φάνηκε στην πορεία ότι θα ήταν δύσκολο να γίνει, γιατί αρκετές από αυτές τις έννοιες είναι «προχωρημένες» και δύσκολα περιγράφονται με συντομία.

Η ΈΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΕΙΨΟΕΙΔΟΥΣ¹⁹

«Η γη είναι σφαιρική». Όσο κοινότυπη κι αν ακούγεται αυτή η φράση και όσο και αν τυγχάνει γενικής αποδοχής, εμείς οφείλουμε να ξεκινήσουμε από αυτή. Και αυτό γιατί είναι λανθασμένη, ή έστω ανακριβής. Μπορεί ο Αριστοτέλης να πίστευε πως η γη έχει ένα τέλει σχήμα, σήμερα ωστόσο γνωρίζουμε πως η γη δεν είναι σφαιρική. Από τους πρώτους που στράφηκαν προς τη σωστή κατεύθυνση ήταν ο Newton, ο οποίος προέβλεψε ότι σύμφωνα με την περί βαρύτητας θεωρία του, η γη λόγω της επιτάχυνσής της θα είναι λίγο ευρύτερη στον ισημερινό²⁰. Σε γενικές γραμμές αντίστοιχη είναι η εικόνα που έχουμε για τη γη και σήμερα.

Με λίγα λόγια, μια τομή της γης στους μεσημβρινούς θα είχε σχήμα ελλειψοειδές. Το αντίστοιχο τρισδιάστατο σώμα το ονομάζουμε πεπλατυσμένο ελλειψοειδές ή πεπλατυσμένο σφαιροειδές. Διατυπώνοντάς το διαφορετικά, η ακτίνα της γης από το κέντρο της μέχρι τον (βόρειο ή

¹⁹ A. H. Robinson, J. L. Morrison, P. H. Muehrcke, A. J. Kimerling, S. C. Guptill, *Στοιχεία Χαρτογραφίας*, Αθήνα 2002 [μτφρ. του *Elements of Cartography*, New York 1995⁶], σσ. 52-56.

²⁰ Βλ. σχετικά και J. L. Greenberg, *The problem of the earth's shape from Newton to Clairaut; the rise of mathematical science in eighteenth-century Paris and the fall of 'normal' science*, Cambridge 1995, pp. 1-14.

νότιο) πόλο είναι μικρότερη από ότι η ακτίνα από το κέντρο μέχρι ένα σημείο πάνω στον ισημερινό.

Η ισημερινή ακτίνα λέγεται και μεγάλος ημιάξονας (semimajor axis) και συμβολίζεται με το πεζό λατινικό γράμμα a . Αντίστοιχα, η πολική ακτίνα λέγεται και μικρός ημιάξονας (semiminor axis) και συμβολίζεται με b . Είναι προφανές πως όσο μεγαλύτερο είναι το a τόσο πιο πεπλατυσμένο είναι το σφαιροειδές. Ο λόγος των δύο δίνεται από ένα μέγεθος που ονομάζεται μέτρο επιπλάτυνσης (flattening) το οποίο συμβολίζεται με το γράμμα f και υπολογίζεται από τον τύπο $f = \frac{a-b}{a}$. Συνήθως για διευκόλυνση, επειδή ο αριθμός είναι δεκαδικός, τον εκφράζουμε ως $1/f$, ως κλάσμα δηλαδή με αριθμητή το ένα²¹.

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων με την ανάπτυξη ολοένα και καλύτερων οργάνων και συστημάτων μέτρησης, προκύπτουν μια σειρά ελλειψοειδών, μια σειρά απόψεων δηλαδή στην ουσία για το πόσο είναι ο μικρός και ο μεγάλος ημιάξονας (και συνεκδοχικά και το μέτρο επιπλάτυνσης). Σύμφωνα με τα πλέον αποδεκτά σήμερα ελλειψοειδή, το f ισούται περίπου με $1/298.257$.

Στην πραγματικότητα ούτε τα ελλειψοειδή/σφαιροειδή αποδίδουν με ακρίβεια το σχήμα της γης· η επιφάνεια της γης δεν είναι επίπεδη. Ως αποτέλεσμα, το σχήμα της γης είναι πιο ακανόνιστο. Τα μοντέλα που προσπαθούν να αποδώσουν με αυτό τον τρόπο τη μορφή της γης ονομάζονται γεωειδή. Είναι σαφές ότι οι υπολογισμοί για τα γεωειδή είναι πολύ πιο σύνθετοι. Έτσι, ανάλογα με την κλίμακα του χάρτη επιλέγεται να γίνει αναφορά σε πιο απλό ή σε πιο σύνθετο μοντέλο. Λόγω της πολυπλοκότητας των γεωειδών, χρησιμοποιούνται μόνο σε χάρτες μεγάλης κλίμακας (π.χ. τοπογραφικά διαγράμματα) και μόνο για τον υπολογισμό του υψομέτρου. Συνήθως τα ελλειψοειδή επαρκούν για την απόδοση την άλλων δύο διαστάσεων. Σε ένα χάρτη μικρής κλίμακας, μιας χώρας ή μιας ηπείρου δε χρειάζεται καν να χρησιμοποιηθεί ελλειψοειδές: μπορεί να

²¹ Για να δώσουμε ένα πολύ απλό παράδειγμα, αν για κάποιο λόγο δε θέλουμε να δώσουμε τον αριθμό 0,04 ως δεκαδικό, μπορούμε να πούμε αντ' αυτού $1/25$, καθώς $1/25=0,04$.

χρησιμοποιηθεί το πιο απλό μοντέλο που θεωρεί τη γη κανονική σφαίρα —αυτή είναι η λεγόμενη ισοδύναμη σφαίρα²².

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι ο συνηθέστερος τρόπος για να προσδιορίσουμε ένα σημείο πάνω στη γη. Χωρίς να μπορούμε σε πολλές λεπτομέρειες, θα πούμε απλουστεύοντας ότι το γεωγραφικό πλάτος (λ) είναι το μέτρο της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στον παράλληλο του σημείου μας και τον ισημερινό (κορυφή της γωνίας είναι το κέντρο της γης). Αντίστοιχα, το γεωγραφικό πλάτος είναι το μέτρο της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στο μεσημβρινό του σημείου μας και τον θεωρούμενο ως πρώτο μεσημβρινό. Σε αντίθεση με τον ισημερινό, που είναι συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της γης, ο πρώτος μεσημβρινός είναι στοιχείο που καθορίζεται από τους ανθρώπους. Τα τελευταία χρόνια έχει καθιερωθεί διεθνώς να θεωρείται πρώτος μεσημβρινός αυτός του Greenwich στη Μ. Βρετανία.

ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η γη όπως είπαμε έχει σχήμα που θυμίζει λίγο σφαίρα. Οι χάρτες όμως (τουλάχιστον όπως τους ξέραμε πριν μερικές δεκαετίες), είναι συνήθως επίπεδα παραλληλόγραμμα. Ο τρόπος με τον οποίο αποδίδουμε στο επίπεδο την επιφάνεια της γης ονομάζεται σύστημα προβολής ή προβολικό σύστημα ή απλώς προβολή. Υπάρχουν αρκετά προβολικά συστήματα και κάποια αποδίδουν καλύτερα από κάποια άλλα συγκεκριμένα σημεία της γης²³. Εμείς εδώ θα ασχοληθούμε με δύο συστήματα που χρησιμοποιούνται για την Ελλάδα

²² Για εμβάθυνση στα σφαιροειδή βλ. G. L. Hosmer, *Geodesy; including astronomical observations, gravity, measurements and method of least squares*, New York 1919, pp. 122-146. Για τα γαιωειδή και περισσότερες πληροφορίες για τη μορφή της γης βλ. *ibid* pp. 185-205.

²³ Δε θα ασχοληθούμε εδώ σε έκταση με τα διάφορα προβολικά συστήματα και τις ιδιότητές τους. Μια εξαιρετική εισαγωγή στο θέμα μπορεί να βρεί κανείς στο 5ο κεφάλαιο των Robinson κ.ά., *οπ. π.* (σσ. 74-111), ενώ μια γρήγορη παρουσίαση αρκετών συστημάτων μπορεί κανείς να βρει εδώ:

Το πρώτο αποδίδει ικανοποιητικά μεγάλο μέρος της γης και χρησιμοποιείται και για την Ελλάδα. Το σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε ονομάζεται Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή. Δε θεωρούμε σκόπιμο να αναφερθούμε εδώ στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της Ε.Μ.Π., ωστόσο για να δώσουμε μια γενική ιδέα μπορούμε να φανταστούμε έναν κύλινδρο του οποίου ο άξονας είναι κάθετος στον άξονα της γης. Ο κύλινδρος αυτός εφάπτεται στη γη ανάμεσα σε δύο μεσημβρινούς. Ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία της επιφάνειας της σφαίρας προβάλλονται στον κύλινδρο είναι η προβολή (βλ. εικ. 2).

Το άλλο σύστημα χρησιμοποιούνταν παλαιότερα για την Ελλάδα· σήμερα χρησιμοποιείται σε μικρότερο βαθμό. Πρόκειται για την Αζιμουθιακή Προβολή. Σε αυτή την περίπτωση, ο χάρτης είναι ένα επίπεδο το οποίο εφάπτεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο της σφαίρας. Και πάλι, τα στοιχεία της επιφάνειας της σφαίρας προβάλλονται κάθετα στο επίπεδο αυτό (βλ. εικ. 3).

Πρέπει επίσης να αναφερθούμε και σε μια τελευταία έννοια, ένα τελευταίο μέγεθος το οποίο χαρακτηρίζει ένα προβολικό σύστημα. Το μέγεθος αυτό λέγεται Συντελεστής Κλίμακας (Scale Factor) και είναι το μέτρο της παραμόρφωσης που δίνει ένα προβολικό σύστημα αναφοράς.

Για να καταλάβουμε τι είναι ο Συντελεστής Κλίμακας²⁴, ας υποθέσουμε για μια στιγμή ότι αντί για επίπεδο χάρτη έχουμε μια υδρόγειο σφαίρα, η οποία μάλιστα έχει το σωστό μέτρο επιπλάτυνσης και γενικότερα είναι πιστή απόδοση της γης σε μικρογραφία. Αν αυτή η υδρόγειος ήταν π.χ. ένα εκατομμύριο φορές μικρότερη από τη γη, μια απόσταση που στην πραγματικότητα είναι 1 εκατομμύριο μέτρα, στην υδρόγειο θα είναι ένα μέτρο. Αν τώρα πάρουμε ένα χάρτη με την ίδια κλίμακα, το ένα εκ. μέτρα δε θα είναι πάντα ένα μέτρο· θα

“USGS – Map Projections Poster”, <http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/MapProjections/projections.html> (Τελ. Ενημέρωση: 03/08/2006) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 25/09/09].

Και για εμβάθυνση: L. M. Bugayevskiy, J. P. Snyder, *Map projections; a Reference Manual*, London – Philadelphia 1995.

²⁴ Όπ. π. σσ. 77 κ.ε.

διαφοροποιείται από μέρος σε μέρος, γιατί ένα προβολικό σύστημα δε μπορεί να αποδώσει με τον ίδιο τρόπο (χωρίς παραμορφώσεις) όλη την επιφάνεια της γης. Ένα απλό παράδειγμα είναι το εξής: αν μετρήσουμε σε ένα συνηθισμένο παγκόσμιο χάρτη (σε κυλινδρική προβολή Miller, με τον θεωρητικό κύλινδρο δηλαδή να έχει τον ίδιο άξονα με τη γη, βλ. και εικ. 4) την απόσταση ανάμεσα στη βόρεια Γροιλανδία και στο Βερίγγειο Πορθμό θα πάρουμε έναν αριθμό πολύ μεγαλύτερο από αυτόν που θα παίρναμε μετρώντας σε μια υδρόγειο σφαίρα. Η σχέση λοιπόν της κλίμακας που έχει ο χάρτης σε ένα συγκεκριμένο σημείο με την ιδανική κλίμακα, αυτή που έχει η υδρόγειος σφαίρα δηλαδή, είναι ο Συντελεστής Κλίμακας. Τον υπολογίζουμε διαιρώντας την πραγματική κλίμακα με την ιδανική. Αν ο χάρτης μας έχει π.χ. σε κάποια περιοχή κλίμακα 1:990.000 αντί για 1:1.000.000 που έχει η αντίστοιχη υδρόγειος σφαίρα, τότε ο Συντελεστής Κλίμακας θα είναι ίσος με $990.000/1.000.000=0,99$.

ΠΡΟΒΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ²⁵

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι ένας καλός τρόπος απόδοσης ενός σημείου πάνω στη γη, συνήθως όμως δεν επαρκούν. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι αυτές που αναφέρονται στην επιφάνεια της γης, για ευκολία όμως αλλά και για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε σωστά τους χάρτες όπου η πληροφορία είναι προβεβλημένη στο επίπεδο, υπάρχουν οι προβολικές συντεταγμένες.

Εν συντομία, για τις προβολικές συντεταγμένες δημιουργείται στο(ν) προβεβλημένο) χάρτη ένας κάρναβος όπου μετράμε μια απόσταση ως μήκος πάνω στην επιφάνεια της γης και όχι σε γωνίες από το κέντρο της γης, σε μέτρα (συνήθως) δηλαδή και όχι σε μοίρες.

Στις τυπικότερες περιπτώσεις, από τις οποίες δε θα παρεκκλίνουμε, δημιουργείται ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (δε θα εξηγήσουμε εδώ την έννοια), πάνω στο οποίο οι συντεταγμένες δίνονται ως αποστάσεις από τον άξονα των X και των Y.

Όταν ένας χάρτης λέμε ότι έχει ένα συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, εννοούμε το συγκεκριμένο κάρναβο πάνω στον οποίο δομείται. Πολλές

²⁵ Βλ. σχετικά όπ. π., σσ. 116 κ.ε.

χώρες έχουν τα δικά τους συστήματα αναφοράς (οι μεγάλες χώρες μπορεί να έχουν περισσότερα από ένα), τα οποία είναι προσαρμοσμένα στο συγκεκριμένο μέρος της γης, ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατό μικρότερες παραμορφώσεις. Κάθε τέτοιος κάρναβος είναι «στημένος» πάνω σε ένα προβολικό σύστημα, το οποίο είναι με τη σειρά του «στημένο» πάνω σε ένα συγκεκριμένο σφαιροειδές. Αυτό θα το δούμε στην πράξη στο επόμενο υποκεφάλαιο που αφορά τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία. Το τελευταίο πράγμα που θέλουμε να πούμε εδώ είναι το εξής. Σε ένα καρτεσιανό σύστημα, όπως είναι αυτά για τα οποία θα μιλήσουμε, χρησιμοποιούμε τους όρους easting (τετμημένη ανατολικά) και northing (τεταγμένη βόρεια) για να αναφερθούμε στις συντεταγμένες. Ο πρώτος αριθμός, το easting, μας δίνει την οριζόντια απόσταση του σημείου (σε μέτρα συνήθως) ανατολικά (δεξιά) από τον κατακόρυφο άξονα, ενώ ο δεύτερος, το northing, δίνει την κατακόρυφη απόσταση του σημείου βόρεια (πάνω) από τον οριζόντιο άξονα. Όταν έχουμε σημεία που είναι δυτικότερα (αριστερά) ή νοτιότερα (κάτω) από το μεσημβρινό και τον παράλληλο που είναι η αρχή των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς, τότε η αντίστοιχη συντεταγμένη είναι αρνητικός αριθμός. Αρκετά συστήματα χρησιμοποιούν κάποια «τεχνάσματα» που θα δούμε παρακάτω για να αποφεύγουν τους αρνητικούς αριθμούς, μεταξύ άλλων για ευκολία στους υπολογισμούς.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΑΜΕ

Το κύριο σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιούμε είναι το τρέχον ελληνικό σύστημα, το λεγόμενο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87). Παραθέτουμε παρακάτω τα στοιχεία για το ΕΓΣΑ87, όπως αυτά δίνονται από το πακέτο λογισμικού ArcGIS, εξηγώντας παράλληλα τους νέους όρους.

- **Προβολή: Εγκάρσια Μερκατορική**
- **Σφαιροειδές: GRS 1980**
 - **Μεγάλος Ημιάξονας: 6.378.137 μ.**
 - **Μικρός Ημιάξονας: 6.356.752,3141403561 μ.**

ο **Μέτρο επιπλάτυνσης: 1 / 298,25722210100002**

- **Κεντρικός Μεσημβρινός: 24,000000**

Ο μεσημβρινός της γης στον οποίο εφάπτεται ο χάρτης. Αυτός είναι ο άξονας των Υ (κατακόρυφος) για αυτό το σύστημα: οι μετρήσεις των Χ ξεκινούν από τον 24ο (24 μοίρες ανατολικά) μεσημβρινό μετά τον πρώτο (βλ. παρακάτω)

- **Πρώτος Μεσημβρινός: Greenwich (0.000000000000000000)**

Δηλώνεται ο μεσημβρινός που θεωρείται πρώτος στο προηγούμενο χαρακτηριστικό (δηλαδή 24 μοίρες ανατολικά του Μεσημβρινού του Greenwich).

- **Πλάτος Εκκίνησης: 0,000000**

Αυτός είναι ο άξονας των Χ (οριζόντιος) για αυτό το σύστημα: οι μετρήσεις των Υ ξεκινούν από τον 0 παράλληλο βόρεια του ισημερινού (από τον Ισημερινό δηλαδή).

- **Συντελεστής Κλίμακας: 0,999600**

Στον κεντρικό μεσημβρινό ο κύλινδρος εφάπτεται στη σφαίρα και ο συντελεστής κλίμακας θα είναι ίσος με 1. Όσο όμως απομακρυνόμαστε προς τα ανατολικά και τα δυτικά, ο συντελεστής μικραίνει. Το σύστημα λοιπόν για να εξομαλύνει τις διαφορές, χρησιμοποιεί τον ίδιο συντελεστή για όλη την περιοχή εφαρμογής του (ο οποίος είναι περίπου ο μέσος όρος των συντελεστών για την περιοχή εφαρμογής).

- **Ψευδοτετμημένη (False Easting): 500.000 μ.**

Η τιμή της τετμημένης ενός σημείου που θα πέφτει ακριβώς πάνω στον άξονα. Πρόκειται για το «τέχνασμα» που αναφέραμε προηγούμενα. Επειδή ο 24ος μεσημβρινός είναι περίπου στην Αθήνα, αν δεν υπήρχε η ψευδοτετμημένη, το easting σε περιοχές δυτικά της θα έπαιρνε αρνητικές τιμές. Με τη χρήση της ψευδοτετμημένης, τα σημεία που συμπίπτουν με τον

24ο μεσημβρινό παίρνουν easting 500.000 μ.²⁶ Έτσι, δεν υπάρχουν σημεία στα όρια της ελληνικής επικράτειας (όπου και εφαρμόζεται το ΕΓΣΑ87) που να παίρνουν αρνητικές τιμές. Ο λόγος που επιλέγεται ο 24ος μεσημβρινός και όχι κάποιος εκτός της ελληνικής επικράτειας (ώστε να μη χρειάζεται false easting), είναι ότι τα συστήματα που αναφέρονται σε Ε.Μ.Π. αποδίδουν σωστά σε μια μικρή ζώνη. Έτσι, αν το σύστημα θεωρούσε κεντρικό μεσημβρινό π.χ. τον 14ο, θα υπήρχαν μεγαλύτερες παραμορφώσεις στην ελληνική επικράτεια.

- **Ψευδοτεταγμένη (False Northing): 0 μ.**

Το αντίστοιχο με το παραπάνω για τον ισημερινό. Εδώ δεν υπάρχει ανάγκη για ψευδοτεταγμένη, γιατί το ΕΓΣΑ87 δεν εφαρμόζεται για περιοχές νότια του ισημερινού.

Για να γίνουν καλύτερα αντιληπτά τα περί τετμημένων, τεταγμένων, ψευδοτετμημένων και ψευδοτεταγμένων, θα δώσουμε ένα απλό παράδειγμα. Η κρήνη στην αρχαία πόλη της Κύθνου έχει συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ87 περ. 534.645 easting και 4.139.753 northing. Αυτό σημαίνει ότι βρίσκεται $534.645 - 500.000 = 34.645$ μέτρα ανατολικά του 24ου μεσημβρινού και 4.139.753 μέτρα βόρεια του ισημερινού.

Το άλλο σύστημα με το οποίο χρειάστηκε να έρθουμε σε επαφή είναι το παλιότερο ελληνικό σύστημα, το HATT. Τα διαγράμματα 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού είναι φτιαγμένα βάσει αυτού· σε αυτό έχει αναφερθεί και η τοπογράφηση του Βρουοκάστρου. Η προβολή του HATT ονομάζεται **ισαπέχουσα αζιμουθιακή**. Το σφαιροειδές που

²⁶ Για να το πούμε πιο απλά: έστω ότι έχουμε ένα σημείο 1.000 μ. δυτικά του 24ου μεσημβρινού, ένα σημείο πάνω στον 24ο μεσημβρινό και ένα σημείο 1.000 μ. στα ανατολικά του. Με τη χρήση του false easting το easting θα είναι σε αυτά 499.000, 500.000 και 501.000 αντίστοιχα. Αν δεν υπήρχε το false easting, θα είχαν αντίστοιχα -1.000, 0 και 1.000.

χρησιμοποιείται είναι το **Bessel 1841**²⁷ (Μεγ. Ημ/νας: 6377397,1550000003 μ., Μικ. Ημ/νας: 6356078,9628181886 μ., Μέτρο Επιπλάτυνσης: 1 / 299,15281279999999). Η αρχή των αξόνων είναι διαφορετική για κάθε φύλλο χάρτη 1:100.000 της ΓΥΣ και είναι στο κέντρο του φύλλου. Έτσι, δημιουργούνται αρκετές δεκάδες «υπο-συστήματα»: για παράδειγμα, η Κύθνος και η Σίφνος ανήκουν στο ίδιο φύλλο χάρτη (και άρα έχοντας ένα ζεύγος συντεταγμένων από κάθε νησί με απλές μαθηματικές πράξεις μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία), ενώ η Αμοργός ανήκει σε ένα άλλο (και άρα ένας αντίστοιχος υπολογισμός δεν είναι τόσο απλός). Στο σύστημα HATT δε χρησιμοποιούνται false eastings και northings και έτσι μπορούν να υπάρχουν αρνητικές τιμές τόσο στον άξονα των X, όσο και στον άξονα των Y. Παραθέτουμε και ένα παράδειγμα συντεταγμένων στο σύστημα HATT. Ο Βωμός 1 στο ιερό που ανασκάπτεται την τελευταία δεκαετία στο Μεσαίο Πλάτωμα του Βρυοκάστρου έχει συντεταγμένες περίπου X: -6475 και Y: 17475. Όταν όμως αναφέρουμε κάπου τις τιμές αυτές πρέπει να πούμε και σε ποιο φύλλο χάρτη αναφερόμαστε.

Το τελευταίο σύστημα αναφοράς το οποίο χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε ήταν το European Datum 1950 (ED50). Σε αυτή την περίπτωση είχαμε να κάνουμε μόνο με γεωγραφικές συντεταγμένες, οπότε δε θα αναφερθούμε εδώ σε προβολικό σύστημα. Το μόνο που χρειάζεται να πούμε λοιπόν είναι ότι το ED50 χρησιμοποιεί το σφαιροειδές **International 1924** (Μεγ. Ημ/νας: 6.378.388 μ., Μικ. Ημ/νας: 6.356.911,9461279465 μ., Μέτρο Επιπλάτυνσης: 1 / 297)²⁸.

²⁷ Τα στοιχεία για το σφαιροειδές προέρχονται και εδώ από το πακέτο ArcGIS.

²⁸ Και πάλι πληροφορίες από το πακέτο ArcGIS.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρήσαμε μεταξύ άλλων να χρησιμοποιήσουμε τα αναλυτικά εργαλεία διάφορων λογισμικών πακέτων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, τόσο εμπορικών, όσο και ανοικτού κώδικα, για να προβλέψουμε τη διαδρομή που θα ακολουθούσε ο αγωγός από τη θεωρούμενη ως πηγή τροφοδοσίας της αρχαίας πόλης στη θέση Τρύπιος έως τα τείχη της πόλης και τη δεξαμενή με το κρηναίο οικοδόμημα.

Η θέση της δεξαμενής/κρήνης ήταν ήδη γνωστή στους περιηγητές²⁹. Τοπογραφήθηκε και αποτυπώθηκε κατά τους πρώτους χρόνους (1990–1995) του προγράμματος επιφανειακών ερευνών της αρχαίας πόλεως Κύθνου που διηύθυνε ο Α. Μαζαράκης-Αινιάν.

Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για την πηγή· ο Βάλληνδας³⁰ αναφέρει την παράδοση σύμφωνα με την οποία η αρχαία πόλη υδρεύονταν από την πηγή στη θέση Τρύπιος, η οποία, όπως λέει, απέχει γύρω στη μισή ώρα από την αρχαία πόλη. Αυτή είναι και η μόνη γραπτή αναφορά που έχουμε στην πηγή την οποία αναπαράγει και ο Γούναρης³¹ και η οποία αναπαράγεται και στα δημοσιεύματα που προέκυψαν από τις επιφανειακές έρευνες³²,

²⁹ J. P. de Tournefort, *Relation d' une Voyage du Levant Fait par Ordre du Roy*, Paris 1717, v. I p. 329.

L. Ross, *Reisen auf den griechischen Inseln des ägäischen Meeres*, Stuttgart – Tübingen 1840, B. 1 SS. 116-117.

J. T. Bent, *The Cyclades; or, Life Among the Insular Greeks*, London 1885, p. 442.

³⁰ Α. Βάλληνδας, *Κυθνιακά· ήτοι τῆς νήσου Κύθνου χωρογραφία και ιστορία μετά τοῦ βίου τῶν συγχρόνων Κυθνίων ἐν ᾧ ἦθη και ἔθη και γλώσσα και γέννη κλπ.*, Ἐρμούπολη 1882, σ. 44.

³¹ Α. Γούναρης, *Ἡ Κύθνος· Γεωγραφία – Ἱστορία – Ἡθῆ – Ἔθιμα*, Ἀθήναι 1938, σ. 69.

³² λ.χ. Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές Έρευνες στην αρχαία πόλη της Κύθνου», *Επετηρίς Εταιρείας Κυκλαδικῶν Μελετῶν ΙΗ'* (2002-3) [2005], σσ. 154-186, 163.

Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Κύθνος», *Ἔργον* 1995 [1996], σσ. 57-63, 63.

Α. Μαζαράκης-Αινιάν, "Ricognizioni Archeologiche all'isola di Kithnos" in E. Lanzilotta, D. Schilardi (eds.), *Atti del seminario internazionale di studi su Le Cicladi ed Il Mondo Egeo – Roma 19-21 Novembre 1992*, Roma 1996, pp. 245-273, 252-256.

Α. Μαζαράκης-Αινιάν, «Ἐπιφανειακές ἀρχαιολογικὲς ἔρευνες στὴν Κύθνο (1990-1995)», *ΠΑΕ* 1995, σσ. 137-209, 189-193.

χωρίς όμως να δίνεται πιο συγκεκριμένα η θέση της. Ο Hauttecœur, ο οποίος επισκέφθηκε το νησί στα τέλη του 19ου αιώνα, αν και αναφέρεται διεξοδικά στις πηγές της Κύθνου³³, δεν κάνει καμιά αναφορά στην πηγή του Τρύπιου. Αυτή μου υποδείχθηκε τελικά από ντόπιους, τους οποίους ευχαριστώ και από αυτή τη θέση.

Η εν λόγω πηγή ήταν ενεργή και εμφανής μέχρι πολύ πρόσφατα. Σήμερα δεν είναι δυνατό να την εντοπίσει κανείς αν δε γνωρίζει τη θέση της. Βρίσκεται στην κορυφή σχεδόν νεροσυρμής, περί τα 200 μ. από το παρεκκλήσι της Παναγίας του Τρύπιου. Καθώς η καθεαυτή πηγή είναι μπαζωμένη, δεν κατέστη δυστυχώς δυνατή η μελέτη των πιθανών διατάξεων υδρομάστευσης και συλλογής του ύδατος εν γένει.

Για την πρόβλεψη της πορείας του αγωγού από την πηγή μέχρι την αρχαία πόλη, χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι Ανάλυσης Συμφορότερης Διαδρομής (LCP – Least Cost Path Analysis). Για να εφαρμοστούν αυτές οι μέθοδοι χρειάστηκε πρώτα να παραχθεί ένα λεπτομερές ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM - Digital Terrain Model) για την υπό μελέτη περιοχή.

Πηγή των μορφολογικών δεδομένων που ψηφιοποιήθηκαν ήταν τοπογραφικά διαγράμματα και χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού. Δευτερευόντως, χρησιμοποιήθηκε και υλικό από τις τοπογραφικές πινακίδες που προέκυψαν από την τοπογράφιση που έγινε το 1993 στα πλαίσια του προγράμματος επιφανειακής έρευνας, από τους Θ. Χατζηθεοδώρου & Α. Μαζαράκη Αινιάννα.

Συγκεκριμένα, εκτός από τις τοπογραφικές πινακίδες, χρησιμοποιήθηκαν για την υπό μελέτη περιοχή τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5000 της ΓΥΣ με αριθμούς φύλλου 7501.8, 7511.2, 7502.7 και 7512.1. Τα εν λόγω τοπογραφικά διαγράμματα παρήχθησαν φωτογραμμετρικά³⁴ το 1987 & 1988 με τη χρήση του αναλυτικού

³³ H. Hauttecœur, “L’ île de Kythnos (Thermia)”, *Bulletin de la Société Royale Belge de Géographie* 21 (1897), pp. 417-447, p. 424 ff.

³⁴ Σχετικά με την εξαγωγή τρισδιάστατης πληροφορίας από ζεύγη αεροφωτογραφιών (στεροεοζεύγη) με φωτογραμμετρικές αναλυτικές μεθόδους βλ. μεταξύ άλλων:

Π. Πατιάς, *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη 1991, σσ. 191-217

εξοπλισμού απόδοσης Aniolyt BC2 της εταιρείας Wild-Heerbrugg, από αεροφωτογραφίες που λήφθηκαν το 1983 & 1986. Η ισοδιάσταση των τοπογραφικών αυτών είναι 4 μέτρα. Αγοράστηκαν από τη ΓΥΣ για τις ανάγκες του προγράμματος επιφανειακής έρευνας.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης ο πορτολάνος υπ' αριθμόν 421.5 της Υδρογραφικής Υπηρεσίας (Αιγαίο Πέλαγος - Ν. Κύθνος - Όρμοι Μέριχα - Επισκοπή - Αποκρείωση), κλίμακας 1:7500, ο οποίος εξεδόθη το 1991 βάσει τοπογραφικών της ΓΥΣ και υδρογραφήσεων-βυθομετρήσεων της Υδρογραφικής Υπηρεσίας μέχρι το 1986. Το αντίγραφο που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει διορθώσεις από το 2007, ενώ διατηρείται ενήμερο βάσει των Αγγελιών προς τους Ναυτιλλομένους. Είναι διαθέσιμο στο κοινό χωρίς ιδιαίτερες διατυπώσεις.

Το επόμενο βήμα στην παραγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους μετά την προμήθεια των χαρτών ήταν η σάρωσή τους. Χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι σαρωτές, από τους οποίους προέκυψαν αρχεία ψηφιδωτών γραφικών (raster) σε μορφή Tagged Image File Format (TIFF) ανάλυσης 200 & 300 dpi, κυρίως σε αποχρώσεις του γκρι (grayscale). Εξαίρεση αποτελεί ο πορτολάνος της Υδρογραφικής Υπηρεσίας ο οποίος ήταν έγχρωμος και σαρώθηκε ως τέτοιος.

Εν συνεχεία, τα αρχεία raster γεωαναφέρθηκαν με το πακέτο ArcGIS 8 που διαθέτει το Εργαστήριο Αρχαιολογίας του Π.Θ. και με εκδόσεις αξιολόγησης του ArcGIS 9. Καθώς τόσο το ArcGIS 8 όσο και το ArcGIS 9, αλλά και τα πακέτα ελεύθερου λογισμικού, όπως το GRASS και το gvSIG δεν υποστηρίζουν το παλαιότερο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς HATT³⁵, το οποίο χρησιμοποιήθηκε τόσο στα τοπογραφικά της ΓΥΣ, όσο

³⁵ Μια τέτοια υποστήριξη μάλιστα δεν προβλέπεται άμεσα· σε αντίθεση με το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 που χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των σημερινών τοπογραφικών και χαρτογραφικών εφαρμογών στην Ελλάδα και προσφέρει ένα ενιαίο σύστημα για όλη την επικράτεια, το HATT χωρίζει την επικράτεια σε τετράγωνα διάστασης 30'x30' (λεπτών της μοίρας), χονδρικά 30x30 ναυτικών μιλίων, για το καθένα από τα οποία υπάρχει ξεχωριστή αρχή των αξόνων στο κέντρο του τετραγώνου. Ως αποτέλεσμα, συχνότατα στις συντεταγμένες υπάρχουν αρνητικοί αριθμοί, οι οποίοι δυσχεραίνουν τους υπολογισμούς και οι οποίοι αποφεύγονται στο ΕΓΣΑ87 τοποθετώντας την αρχή των αξόνων εκτός της ελληνικής επικράτειας. Κυριότερα δε, καθώς η ελληνική

και στην τοπογράφηση του 1993, οι συντεταγμένες έπρεπε να μετατραπούν στο τρέχον Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87 – GGRS87). Αυτό κατέστη δυνατό με τη χρήση ελεύθερου λογισμικού, συγκεκριμένα με το πρόγραμμα COORD_GR του Γιάννη Συγγρού το οποίο μπορεί κανείς να προμηθευτεί πολύ εύκολα από διάφορες πηγές στο διαδίκτυο. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αξιοποιεί και τους Πίνακες Συντελεστών έκδοσης ΟΚΧΕ/ΓΥΣ/ΕΜΠ, επιτυγχάνοντας έτσι αβεβαιότητες της τάξης των 0,10 μ. κατά τη μετατροπή των συντεταγμένων (σε αντίθεση με αβεβαιότητες ~ 10 μ. χωρίς τη χρήση των πινάκων).

Η διαδικασία της γεωαναφοράς έχει ως εξής³⁶. Το προς γεωαναφορά αρχείο εισάγεται στο πρόγραμμα. Καθώς το πρόγραμμα δε γνωρίζει τις συντεταγμένες στις οποίες πρέπει να τοποθετηθεί ο χάρτης ούτε και την κλίμακά του, κατ' αρχάς τον αντιμετωπίζει βάσει των διαστάσεων του αρχείου σε εικονοστοιχεία (pixels). Για παράδειγμα, ένα αρχείο που έχει μήκος 5000 pixels και ύψος 3000, θα έχει συντεταγμένες 0,0 στην κάτω αριστερή γωνία του και 5000,3000 στην πάνω δεξιά.

Ακολούθως ο χρήστης καλείται να επιλέξει σημεία γνωστών συντεταγμένων και να πληκτρολογήσει τις πραγματικές τους συντεταγμένες στο επιλεγέν σύστημα αναφοράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως σημεία στα οποία διασταυρώνονται οι γραμμές του καννάβου και των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές. Δημιουργείται έτσι ένας πίνακας όπου π.χ. στο εικονοστοιχείο 50,60 του αρχείου αντιστοιχίζονται οι συντεταγμένες 538800,4135000 και ούτω κατ' εξής. Συνήθως για τη γεωαναφορά ενός καλά σαρωμένου χάρτη αρκούν 4-5 σημεία. Εισάγοντας πάνω από 3 σημεία, το πρόγραμμα μας δίνει κάθε φορά το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των αντιστοιχίσεων αυτών. Σε

επιχράτεια έχει έκταση περίπου 7 μοίρες από νότο προς βορρά και 10 μοίρες από δύση ως ανατολή, δημιουργούνται για το σύνολό της περί τα 280 (!) τετράγωνα. Ένα πακέτο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών θα αντιμετώπιζε κάτι τέτοιο ως 280 διαφορετικά συστήματα αναφοράς. Βλ. και τις σχετικές συζητήσεις στα fora της ESRI: <http://forums.esri.com/Thread.asp?c=93&f=984&t=121976> και <http://forums.esri.com/Thread.asp?c=93&f=984&t=80319>

³⁶ Κ. Κουτσόπουλος, Ν. Ανδρουλακάκης, *Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS*, Αθήνα 2003, σσ. 138-144.

περίπτωση μεγάλων σφαλμάτων η διαδικασία της γεωαναφοράς πρέπει να επαναληφθεί από την αρχή.

Αντίθετα, στην περίπτωση του πορτολάνου δεν έγινε μετατροπή των συντεταγμένων σε ΕΓΣΑ87, καθώς ήταν ήδη σε σύστημα αναφοράς που υποστήριζε το λογισμικό, συγκεκριμένα στο European Datum 1950 (ED50), το οποίο χρησιμοποιείται και από τη ΓΥΣ στους χάρτες με το μωβ κάναβα που προορίζονται για εσωτερική (στρατιωτική) χρήση. Στην πράξη ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι ήταν δύσκολη η ταυτόχρονη προβολή και χρήση χαρτών στα δύο διαφορετικά συστήματα αναφοράς (κάτι που είναι καλό σε γενικές γραμμές να αποφεύγεται), χωρίς καν να συνυπολογίσουμε το γεγονός ότι ο πορτολάνος είχε γεωγραφικές και όχι προβολικές συντεταγμένες. Το πρόγραμμα σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιεί εξειδικευμένους αλγόριθμους για να μετατρέψει ακριβέστερα το ένα σύστημα στο άλλο. Καθώς όμως δεν υπάρχει (τουλάχιστον στις εκδόσεις που χρησιμοποιήθηκαν) αλγόριθμος για τη μετατροπή από ED50 σε ΕΓΣΑ87 και το αντίστροφο, δημιουργούνταν μεγάλες παραμορφώσεις. Μια άλλη λύση που δοκιμάστηκε ήταν η προβολή όλων των χαρτών στο Διεθνές Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS84), για το οποίο υπάρχουν οι αλγόριθμοι για μετατροπή από και προς το ED50 και το ΕΓΣΑ87. Το αποτέλεσμα ήταν σχετικά ικανοποιητικό, αλλά η λύση αυτή τελικά δεν προτιμήθηκε, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του υλικού μας ήταν στο ΕΓΣΑ87 και δε θεωρήθηκε σκόπιμο να προβάλλεται σε άλλο σύστημα, εισάγοντας έτσι επιπλέον αβεβαιότητες, σφάλματα και παραμορφώσεις.

Προτιμήθηκε έτσι η εναλλακτική λύση να αναφερθεί χειροκίνητα ο πορτολάνος της Υδρογραφικής Υπηρεσίας πάνω στα ήδη αναφερόμενα τοπογραφικά της ΓΥΣ. Καθώς στον πορτολάνο σημειώνονται αρκετές από τις υψηλές κορυφές που υπάρχουν στα διαγράμματα 1:5000 της ΓΥΣ, επιλέχθηκαν κάποια από αυτά τα σημεία και αντιστοιχίστηκαν με αυτά στους γεωαναφερόμενους χάρτες της ΓΥΣ. Η λύση αυτή κρίθηκε συμφορότερη, καθώς και η ταύτιση ήταν αρκούντως ικανοποιητική, αλλά και αποφεύχθηκε η προβολή του μεγαλύτερου μέρους του υλικού που ήταν ήδη αναφερόμενο σε ΕΓΣΑ87 σε άλλο σύστημα. Η λύση να μετατραπούν οι ΗΑΤΤ συντεταγμένες των χαρτών της ΓΥΣ και των τοπογραφικών

πινακίδων από την αρχή σε ED50 ή WGS84 με το COORD_GR επίσης απορρίφθηκε, καθώς το πρόγραμμα κάνει αυτές τις μετατροπές με λιγότερη ακρίβεια (αβεβαιότητα 1,20 μ. για το WGS84 και 12 μ. για το ED50, σε σύγκριση με τα 0,10 μ. για το ΕΓΣΑ87).

Το σημαντικότερο, ωστόσο, στάδιο στη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους είναι η παραγωγή διανυσματικών (vector) γραφικών³⁷. Ενώ τα ψηφιδωτά (raster) γραφικά αποτελούνται από έναν κάρναβο εικονοστοιχείων με συγκεκριμένες πεπερασμένες διαστάσεις, όπου κάθε εικονοστοιχείο έχει συγκεκριμένες ιδιότητες³⁸, τα (δι)ανυσματικά (vector) γραφικά, που στα πακέτα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να είναι τριών ειδών —σημειακά, γραμμικά και πολυγωνικά³⁹— αποτελούνται από ζεύγη συντεταγμένων και έτσι δεν τίθενται ζητήματα μεγάλης ή μικρής ανάλυσης. Στο πακέτο ArcGIS οι ισοϋψείς, οι ισοβαθείς, οι υψηλές κορυφές και τα σημεία των βυθομετρήσεων για να αξιοποιηθούν πρέπει να μετατραπούν σε διανυσματικά γραφικά, γραμμικά και σημειακά αντίστοιχα.

³⁷ A. S. Bury, "Raster to vector conversion: a methodology" in *GIS/LIS '89: Proceedings*, Orlando 1989, v. 1 pp. 9-11.

³⁸ Συνήθως σε ένα κοινό αρχείο εικόνας bitmap κάθε εικονοστοιχείο έχει 3 τιμές από το 0 έως το 255 που αντιστοιχούν στην περιεκτικότητα στα τρία βασικά χρώματα, κόκκινο, πράσινο και μπλε – αντίστοιχα τα grayscale αρχεία έχουν μόνο μία τιμή από το 0 ως το 255.

³⁹ Το πακέτο Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ανοικτού κώδικα GRASS υποστηρίζει επιπλέον πραγματική τρισδιάστατη πληροφορία (σε αντίθεση με το ArcGIS όπου το υψόμετρο είναι απλώς μια ιδιότητα του στοιχείου σαν όλες τις υπόλοιπες). Έτσι, στο GRASS μπορούν να αποδοθούν και τρισδιάστατοι όγκοι. Παράδειγμα χρήσης τέτοιων layers σε αρχαιολογικές εφαρμογές μπορεί να δει κανείς π.χ. στο U. Lieberwirth, "Voxel-based 3D GIS: modeling and analysis of archaeological stratigraphy" in B. Frischer, A. Dakouri-Hild (eds.), *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for discovery in archaeology*, Oxford 2008, pp. 85-94, όπου χρησιμοποιούνται για την τρισδιάστατη απόδοση αρχαιολογικών στρωμάτων. Στο πακέτο ArcGIS αντίθετα, δεν έχουμε να κάνουμε με πραγματικά τρισδιάστατους όγκους και μια ανάλογη προσέγγιση, όπως π.χ. στο M. Katsianis, S. Tsipidis, K. Kotsakis, A. Kousoulakou, "A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS", *Journal of Archaeological Science* 35.3 (03/2008), pp. 655-667 δε θεωρούμε ότι έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ο ψηφιδωτός χάρτης που εισάγαμε περιέχει όλες τις πληροφορίες σε ένα επίπεδο (layer) και το πρόγραμμα δε μπορεί να τις διακρίνει, να τις κατανοήσει και να τις αξιοποιήσει. Πρέπει βάσει του παραδοσιακού σαρωμένου χάρτη να δημιουργήσουμε διαφορετικά, διακριτά επίπεδα πληροφορίας. Έτσι, για παράδειγμα, οι ισούψεις δε θα είναι στο ίδιο επίπεδο (στο ίδιο αρχείο) με τους δρόμους, οι υψηλές κορυφές δε θα είναι στο ίδιο επίπεδο με τα σπίτια και ούτω καθεξής.

Ακόμη, κάθε επίπεδο πληροφορίας δε μπορεί να περιέχει στοιχεία διαφορετικών τύπων, δηλαδή για παράδειγμα ένα αρχείο που περιέχει σημεία δε μπορεί να περιέχει και πολύγωνα. Επίσης, ανάλογα με τη λεπτομέρεια που θέλουμε ή που μπορούμε να έχουμε, κάποια στοιχεία μπορούν να αποδοθούν με περισσότερους από έναν τύπους πληροφορίας. Ένας οικισμός, ας πούμε, μπορεί να αποδοθεί ως σημείο, αλλά μπορεί να αποδοθεί και ως πολύγωνο. Αντίστοιχα, ένας δρόμος μπορεί να αποδοθεί ως γραμμή ή ως πολύγωνο. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι για ορισμένες εφαρμογές είναι προτιμότεροι κάποιοι τύποι δεδομένων — βέβαια συνήθως είναι δυνατή με τη χρήση διάφορων εντολών και υποεφαρμογών η μετατροπή από τον έναν τύπο δεδομένων στον άλλο. Για παράδειγμα, στην ανάλυση δικτύων απαιτούνται γραμμικά layers.

Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε έναν αριθμό επιπέδων πληροφορίας (shapefiles, όπως ονομάζονται στο πακέτο ArcGIS). Επιλέξαμε να αποθηκεύουμε τα επίπεδα πληροφορίας για κάθε φύλλο χάρτη ξεχωριστά, για λόγους κυρίως που έχουν να κάνουν με το μέγεθος των αρχείων και τους χρόνους επεξεργασίας. Σε κάθε περίπτωση πάντως είναι πολύ εύκολη η συνένωση επιπέδων (του ίδιου τύπου), όπως και η επιλογή και αντιγραφή σε ξεχωριστό αρχείο τμήματος ενός shapefile. Παραθέτουμε εδώ πίνακα με τα shapefiles που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της υπό μελέτην περιοχής. Υπενθυμίζουμε ότι σε όλα χρησιμοποιείται το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ87.

| Όνομα | Τύπος Πληροφορίας | Φύλλο Χάρτη | Πηγή | Κλίμακα Ψηφιοποίησης | Περιγραφή |
|--------------|-------------------|-------------|------|----------------------|---|
| cont_7501_8 | Γραμμική | 7501.8 | ΓΥΣ | 1:5000 | Ισοϋψείς (ισοδιάσταση 4 μ.) |
| cont_7511_2 | Γραμμική | 7511.2 | ΓΥΣ | 1:5000 | Ισοϋψείς (ισοδιάσταση 4 μ.) |
| cont_7502_7 | Γραμμική | 7502.7 | ΓΥΣ | 1:5000 | Ισοϋψείς (ισοδιάσταση 4 μ.) |
| cont_7512_1 | Γραμμική | 7512.1 | ΓΥΣ | 1:5000 | Ισοϋψείς (ισοδιάσταση 4 μ.) |
| Peaks_7501_8 | Σημειακή | 7501.8 | ΓΥΣ | 1:5000 | Υψηλές κορυφές, Τριγωνομετρικά σημεία, Σημεία προσαρμογής αεροφωτογραφιών |
| Peaks_7511_2 | Σημειακή | 7511.2 | ΓΥΣ | 1:5000 | Υψηλές κορυφές, Τριγωνομετρικά σημεία, Σημεία προσαρμογής αεροφωτογραφιών |
| Peaks_7502_7 | Σημειακή | 7502.7 | ΓΥΣ | 1:5000 | Υψηλές κορυφές, Τριγωνομετρικά σημεία, Σημεία προσαρμογής αεροφωτογραφιών |
| Peaks_7512_1 | Σημειακή | 7512.1 | ΓΥΣ | 1:5000 | Υψηλές κορυφές, Τριγωνομετρικά σημεία, Σημεία προσαρμογής αεροφωτογραφιών |
| Isodepth_hn | Γραμμική | 421.5 | ΥΥΠΝ | 1:7500 | Ισοβαθείς (-2 μ., -5 |

| | | | | | |
|-----------------------|----------|-------|---------------------------|--------|--|
| hs_421_5 | | | | | μ., -10 μ., -20 μ., -50 μ., -100 μ.) |
| Bathym_hnh s_421_5 | Σημειακή | 421.5 | ΥΥΠΠΝ | 1:7500 | Βυθομετρήσεις |
| topo_peaks | Σημειακή | — | Τοπο- γράφησ η 1993 | 1:1000 | Τοπογραφημένα σημεία, στάσεις τοπογράφησης |

Σημειώνουμε ότι χρησιμοποιούμε εδώ τον πιο δόκιμο για ψηφιακούς χάρτες όρο «κλίμακα ψηφιοποίησης» αντί του απλού «κλίμακα» των παραδοσιακών χαρτών, καθώς οι ψηφιακοί χάρτες είναι δυναμικοί και μπορούν να απεικονιστούν σε ένα εύρος κλιμάκων. Ο όρος «κλίμακα ψηφιοποίησης» αναφέρεται στην κλίμακα του παραδοσιακού χάρτη από τον οποίο αντλήθηκαν τα δεδομένα.

Κάθε shapfile αποτελείται στην πραγματικότητα από περισσότερα από ένα αρχεία. Ένα σύννηθες shapfile πρέπει να έχει τουλάχιστον τρία αρχεία που περιέχουν τη γεωμετρία και τον πίνακα των δεδομένων που αντιστοιχούν σε κάθε στοιχείο. Μπορεί επίσης να έχει μέχρι και 10-12 ακόμη αρχεία που περιέχουν μεταξύ άλλων πληροφορίες για τη γεωγραφική προβολή, μεταδεδομένα, χωρικούς πίνακες κ.ά.

Το σημείο που διαφοροποιεί τα πακέτα Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών από τα κοινά πακέτα διανυσματικών γραφικών (λόγου χάρη τα εμπορικά πακέτα Adobe Illustrator και Corel Draw ή το πακέτο ανοιχτού κώδικα Inkscape) είναι ακριβώς αυτός ο πίνακας δεδομένων (στο ArcGIS σε μορφή dBase, με επέκταση .dbf). Κάθε στοιχείο σε ένα shapfile αντιστοιχεί σε μία εγγραφή σε έναν πίνακα⁴⁰, έτσι ώστε τα στοιχεία του πίνακα μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω της γεωμετρίας του αρχείου και επιπλέον να αξιοποιηθούν και να αναλυθούν σε συνδυασμό με τα χωρικά στοιχεία. Ένα πακέτο ΣΓΠ δεν είναι δηλαδή σουίτα επεξεργασίας γραφικών, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων

⁴⁰ “ArcGIS Desktop Help 9.2 - Editing attributes” [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=531&pid=474&topicname=Editing attributes](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=531&pid=474&topicname=Editing_attributes) (Τελ. ενημέρωση: 17/08/2007) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 12/06/2009]

με χωρική εξάρτηση (SRDBMS – Spatially Referenced DataBase Management System).

Για τους σκοπούς μας αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε για το κάθε shapefile παρόμοιους πίνακες, δηλαδή ανά τύπο τα shapefile έχουν την ίδια δομή στον πίνακά τους, π.χ. όλα τα αρχεία με ισοΰψεις, αλλά και αυτό με τις ισοβαθείς, περιλαμβάνουν τα ίδια πεδία.

Συγκεκριμένα, εκτός από τα πεδία FID, Shape και Id που δημιουργούνται εξ ορισμού από το πρόγραμμα δημιουργήσαμε για τα αρχεία με γραμμική πληροφορία και τα πεδία Elevation και Normal που δέχονται ακέραιους αριθμούς. Στο πεδίο elevation εισάγουμε για κάθε ισοΰψη γραμμή το υψόμετρό της. Το πεδίο Normal το χρησιμοποιούμε μόνο για απεικονιστικούς λόγους: για να μπορέσουμε να εμφανίσουμε την πληροφορία όπως σε ένα συμβατικό τυπωμένο χάρτη με διαφορετικό τύπο γραμμής για τις ισοΰψεις των 100, των 20 και των 4 μέτρων αντίστοιχα, δίνουμε σε κάθε περίπτωση μία από τις προαναφερθείσες τιμές στο πεδίο. Σημειώνουμε ότι αυτό γίνεται καθαρά για ευκολία στην απεικόνιση, καθώς το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί και αλλιώς, με τη χρήση λογικών τελεστών που θα διαχωρίζουν τα στοιχεία του χάρτη ανάλογα με το αν η τιμή για το κάθε στοιχείο στο πεδίο elevation διαιρείται με τους εν λόγω αριθμούς.

Αντίστοιχα, για τις υψηλές κορυφές χρησιμοποιούμε έναν αριθμό πεδίων στα οποία καταγράφονται το υψόμετρο του σημείου (και πάλι πεδίο με το όνομα Elevation, το οποίο όμως δέχεται πραγματικούς αριθμούς) και ο τύπος του σημείου, δηλαδή αν είναι τριγωνομετρικό, σημείο προσαρμογής αεροφωτογραφίας (ΣΠΑΦ) ή απλό (πεδίο Type όπου εισάγουμε ακέραιους από το 1 ως το 3). Υπάρχουν επίσης δύο ακόμα πεδία που αναφέρονται μονό στα τριγωνομετρικά σημεία, τα πεδία Typ1_Class και Typ1_Name που δέχονται ακέραιους και αλφαριθμητικές τιμές αντίστοιχα, και στα οποία εισάγεται η τάξη και το όνομα του τριγωνομετρικού σημείου.

Η δημιουργία ενός σημειακού shapefile βάσει ενός σαρωμένου παραδοσιακού χάρτη είναι σχετικά απλή διαδικασία. Χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το σαρωμένο χάρτη, ο χρήστης δημιουργεί ένα-ένα τα σημεία με

το ποντίκι και εισάγει τις τιμές για το καθένα. Εναλλακτικά, μπορεί κανείς να δημιουργήσει ένα σημείο δίνοντας τις συντεταγμένες του.

Δεν είναι τόσο απλά όμως τα πράγματα και για τα γραμμικά ή τα πολυγωνικά επίπεδα. Σε ένα γραμμικό shapefile ο χρήστης πρέπει να δημιουργήσει την κάθε γραμμή εισάγοντας με το ποντίκι με τη σειρά τα σημεία από τα οποία θα περνά η γραμμή (το αντίστοιχο πρέπει να γίνει και με τα σημεία του περιγράμματος ενός πολυγώνου). Έτσι, μία συνήθης ισούψης από ένα τοπογραφικό 1:5000 της ΓΥΣ (που μπορεί να έχει μήκος κάποια χιλιόμετρα) χρειάζεται για να αποδοθεί ικανοποιητικά μερικές χιλιάδες σημεία. Στο τέλος (ή και στην πορεία) του σχεδιασμού κάθε γραμμής εισάγονται τα δεδομένα της στον πίνακα. Καθίσταται λοιπόν εμφανές ότι η όλη διαδικασία είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα.

Ευτυχώς, τα νεώτερα πακέτα ΣΓΠ περιλαμβάνουν πρόσθετα εργαλεία που διευκολύνουν τη διαδικασία αυτή. Για το ArcGIS υπάρχει το πρόσθετο πακέτο ArcScan το οποίο περιλαμβάνει εργαλεία αυτόματης μετατροπής raster σε vector (vectorization – διανυσματοποίηση) και το οποίο είναι διαθέσιμο στην έκδοση αξιολόγησης του ArcGIS 9. Τα εργαλεία αυτά χρειάζονται μονόχρωμες εικόνες για να δουλέψουν οπότε απαιτείται μια μικρή προετοιμασία κατά την εισαγωγή της εικόνας στο πρόγραμμα. Δύο εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε κατά κόρον στη δημιουργία των shapefiles ισούψών είναι τα Vectorization Trace και Vectorization Trace Between Points. Βέβαια, τα εργαλεία αυτά δε λύνουν αυτομάτως το πρόβλημα, καθώς στα τοπογραφικά της ΓΥΣ, που είναι ούτως ή άλλως μονόχρωμα, το πρόγραμμα δε μπορεί να διακρίνει τις ισούψεις από άλλα στοιχεία, π.χ. από τον κάρναβο. Πάντως μπορεί κανείς με ένα πάτημα του ποντικιού να εισάγει μερικές εκατοντάδες σημεία. Ένας έμπειρος χρήστης χρησιμοποιώντας αυτά τα εργαλεία χρειάζεται γύρω στα 20-30 λεπτά για να ψηφιοποιήσει μια τυπική ισούψη.

Σε αυτό το σημείο θεωρούμε σκόπιμο να παρουσιάσουμε τις εναλλακτικές λύσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την αγορά από τη ΓΥΣ ψηφιοποιημένων τοπογραφικών διαγραμμάτων. Ο τρέχων τιμοκατάλογος της ΓΥΣ κοστολογεί το κάθε ψηφιακό κομμάτι (με τα στοιχεία του χάρτη σε vector δηλαδή) με κλίμακα ψηφιοποίησης 1:5000 στα €900. Για τα τέσσερα

κομμάτια που χρησιμοποιούνται εδώ θα χρειάζονταν λοιπόν γύρω στα €3600. Επιπλέον, οι ψηφιακοί χάρτες της ΓΥΣ έχουν τη φήμη ότι είναι μερικές φορές κακής ποιότητας. Η δεύτερη λύση περιλαμβάνει τη χρήση αεροφωτογραφιών και τη φωτογραμμετρική τους ανάλυση. Η διαδικασία αυτή, που μπορεί πολλές φορές να αποδώσει με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το ανάγλυφο απ' ό,τι οι ψηφιακοί ή οι ψηφιοποιημένοι χάρτες της ΓΥΣ, απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό ή λογισμικό, όπως το Leica Photogrammetry Suite, τα οποία δε διαθέτει το Εργαστήριο.

Η τρίτη λύση, η οποία είναι η προτιμότερη από την άποψη ότι μπορεί να δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα, είναι η απευθείας ηλεκτρονική τοπογράφηση της ζητούμενης έκτασης με γεωδαιτικό σταθμό (Total Station) στο νέο σύστημα αναφοράς. Η διαφορά μιας τέτοιας τοπογράφησης από την ήδη πραγματοποιηθείσα δεν έχει να κάνει ιδιαίτερα με το σύστημα αναφοράς, αλλά περισσότερο με τους στόχους της και άρα με τη μεθοδολογία της: σε αντίθεση με την τοπογράφηση του 1993, η τοπογράφηση που περιγράφεται εδώ θα είχε ως στόχο την απόδοση του αναγλύφου. Έτσι, για να επιτευχθεί π.χ. η ανάλυση που έχουν οι ψηφιδωτοί χάρτες που έχουμε δημιουργήσει εμείς με ανάλυση 2 μ./εικονοστοιχείο (βλ. παρακάτω), θα πρέπει να τοπογραφηθούν περί τα 250 σημεία ανά στρέμμα. Καθώς η υπό μελέτη περιοχή καλύπτει μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα (η τοπογράφηση του 1993 αποτύπωσε μια έκταση άνω των 270 στρεμμάτων), αντιλαμβάνεται κανείς ότι για να αποδοθεί με τέτοια λεπτομέρεια, θα πρέπει να τοπογραφηθούν πάνω από ένα εκατομμύριο σημεία, πράγμα προφανώς ανέφικτο. Ακόμα και για μικρές εκτάσεις, απαιτούνται ακριβός εξοπλισμός (της τάξης των μερικών χιλιάδων ευρώ) και πολλές εργατώρες. Υποπερίπτωση αυτής της λύσης είναι και η χρήση LiDAR (Light Detection and Ranging) scanner, εξοπλισμού κατά πολύ ακριβότερου από τον προαναφερθέντα (με τιμές της τάξης των αρκετών δεκάδων χιλιάδων ευρώ), ο οποίος μπορεί να αποτυπώνει δεκάδες χιλιάδες σημεία το δευτερόλεπτο στον τρισδιάστατο χώρο, δημιουργώντας νέφη σημείων τόσο πυκνά, που δίνουν σχεδόν την εντύπωση συνεχούς τρισδιάστατης επιφάνειας. Και σε αυτή την περίπτωση, θα απαιτούνταν πολλές μέρες εργασίας, οι οποίες μεταφραζόμενες σε έξοδα ενοικίασης

εξοπλισμού ή/και αμοιβές τοπογράφων θα καθιστούσαν τέτοια εγχειρήματα σε τέτοια κλίμακα εξαιρετικά δαπανηρά.

Έχοντας ολοκληρώσει την ψηφιοποίηση των ισοϋψών/ισοβαθών και των τοπογραφημένων κορυφών και σημείων, είμαστε έτοιμοι για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους μπορεί να έχει δύο μορφές⁴¹. Η πρώτη εξ αυτών ονομάζεται Τριγωνικό Ακανόνιστο Δίκτυο (Triangular Irregular Network - TIN). Το TIN αποτελείται από τρίγωνα που ενώνουν τα προβεβλημένα στον τρισδιάστατο χώρο σημεία με τα γειτονικά τους. Έτσι σχηματίζεται μία συνεχής ψευδοτρισδιάστατη επιφάνεια που αποδίδει το ανάγλυφο της περιοχής⁴².

Στη δεύτερη περίπτωση, από το νέφος σημείων με τη χρήση διάφορων αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής (interpolation)⁴³ παράγεται ένα ψηφιδωτό γραφικό που αποδίδει και πάλι το ανάγλυφο. Να σημειώσουμε εδώ ότι το

⁴¹ D. Wheatley, M. Gillings, *Spatial Technology in Archaeology*, London – New York 2002, pp. 110 - 113.

⁴² Βλ. σχετικά:

M. van Kreveld, "Digital Elevation Models and TIN algorithms" in M. van Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos, P. Widmayer (eds.), *Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*, Berlin 1997, pp. 37-78.

M. de Berg, "Visualization of TINs" in M. van Kreveld et al., op. cit., pp. 79-88.

⁴³ Οι αλγόριθμοι χωρικής παρεμβολής με βάση την τιμή ενός αριθμού σημείων υπολογίζουν τις τιμές στον ενδιάμεσο χώρο. Για να δώσουμε ένα απλό παράδειγμα, αν ένα σημείο ισαπέχει από δύο σημεία με τιμή 10 και 20 αντίστοιχα, τότε αυτό το σημείο θα πάρει την τιμή 15 (βλ. εικ. 5). Πρόκειται για τη μέθοδο την οποία χρησιμοποιεί ένας τοπογράφος για να σχεδιάσει (με το χέρι) ισοϋψείς σε ένα τοπογραφικό διάγραμμα στο οποίο έχουν ληφθεί μετρήσεις υψομέτρου (βλ. εικ. 6). Είναι βέβαια σαφές, στην περίπτωση των πακέτων λογισμικού συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, ότι όσο περισσότερα είναι τα σημεία που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί η τιμή ενός νέου σημείου (μία συνήθης τιμή είναι 12 σημεία), τόσο πιο σύνθετοι και χρονοβόροι είναι οι υπολογισμοί. Βλ. και:

Wheatley–Gillings, op. cit., pp. 113 - 118.

K. Κουτσόπουλος 2002, όπ.π. σσ. 320.

"ArcGIS Desktop Help 9.3 – Understanding raster interpolation" http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Understanding_raster_interpolation (Τελ. ενημέρωση: 23/01/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 12/06/2009]

raster αυτό δεν έχει καμία σχέση με το αρχικό raster που χρησιμοποιήσαμε. Εδώ, το grid (όπως ονομάζεται στο πακέτο ArcGIS) είναι ένας κάρναβος με ψηφίδες και πάλι πεπερασμένων διαστάσεων, ωστόσο κάθε ψηφίδα έχει μία μοναδική ιδιότητα/τιμή, εν προκειμένω το υψόμετρο που έχει υπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ψηφίδα βάσει των γειτονικών της σημείων.

Για την εφαρμογή των αλγορίθμων Συμφορότερης Διαδρομής απαιτούνται Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους του δεύτερου τύπου. Ωστόσο, είναι πολύ πιο χρονοβόρος ο υπολογισμός του grid με αλγόριθμους παρεμβολής βάσει των ψηφιοποιημένων σημείων και γραμμών από ό,τι είναι η δημιουργία ενός TIN⁴⁴ και στη συνέχεια η μετατροπή του σε grid.

Για τους σκοπούς μας, δημιουργήσαμε grids διαφόρων αναλύσεων από τα TINs που είχαμε ετοιμάσει προηγούμενα. Διαπιστώσαμε ότι ήταν συμφορότερη η χρήση grids ανάλυσης 2 μ. (κάθε εικονοστοιχείο δηλαδή απεικονίζει μία περιοχή 2 x 2 μ.), καθώς βάσει δοκιμών δεικνύεται ότι συνδυάζουν μεγάλη λεπτομέρεια με αποδεκτούς χρόνους επεξεργασίας. Καθώς η υπό μελέτη περιοχή καλύπτει μία έκταση περίπου 3700 x 2300 μ., με καλύτερες αναλύσεις προκύπτουν μεγάλα raster με αποτέλεσμα οι υπολογισμοί να απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο. Ο χρόνος μάλιστα αυξάνεται εκθετικά. Για παράδειγμα, υπολογισμοί που για ένα raster με ανάλυση 2 μ. (διαστάσεις ψηφιδωτού γραφικού: 1850 x 1150 = 2127500 εικονοστοιχεία ≈ 2,1 MPixels) απαιτούν 5-10 λεπτά, για ένα raster με ανάλυση 0,5 μ. (που έχει δηλαδή διαστάσεις 7400 x 4600 = 34040000 εικονοστοιχεία ≈ 34 MPixels) απαιτούν περισσότερες από 36 ώρες.

Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι από τα τέλη του Ιούνη του 2009⁴⁵ διατίθεται δωρεάν μέσω του διαδικτύου το Παγκόσμιο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους [Global Digital Elevation Model] που δημιούργησε το Υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας της Ιαπωνίας και η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) των ΗΠΑ. Το μοντέλο

⁴⁴ Για ζητήματα σχετικά με τη δημιουργία TINs από διανυσματοποιημένες ισοϋψείς, βλ. και:

Wheatley – Gillings, op. cit., pp. 118-119.

⁴⁵ “ASTER Global Digital Elevation Map”, <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 08/08/2009]

αυτό, που διατίθεται σε φύλλα διαστάσεων 1°x1°, παρήχθη βάσει εικόνων που λήφθηκαν από το ASTER⁴⁶ (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer — Προηγμένο Διαστημικό Ραδιόμετρο Θερμικής Εκπομπής και Ανάκλασης), μία από τις πέντε διατάξεις τηλεπισκόπησης που είναι εγκατεστημένες στο δορυφόρο Terra⁴⁷ και η ονομαστική του ανάλυση είναι 30 μ. ανά εικονοστοιχείο.

Είναι προφανές ωστόσο ότι κι αν ακόμη τα δεδομένα αυτά ήταν διαθέσιμα όταν ξεκίνησε το όλο εγχείρημα, η ανάλυση τους δεν είναι ικανοποιητική⁴⁸. Τα προηγούμενα διαθέσιμα δεδομένα από την αποστολή SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)⁴⁹ της NASA έχουν ανάλυση 90 μ.

⁴⁶ Για μια σύντομη παρουσίαση των δεδομένων ASTER βλ.

Γ. Χ. Μηλιαρέσης, *Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση*, Αθήνα 2006, σσ. 84-90.

Να σημειώσουμε όμως εδώ ότι όταν γράφτηκε το βιβλίο δεν είχε ολοκληρωθεί η δημιουργία των DEMs, αλλά οι ενδιαφερόμενοι χρήστες του διαδικτύου μπορούσαν να προμηθευτούν στερεοζεύγη και να τα επεξεργαστούν.

⁴⁷ “NASA: TERRA (EOS AM-1) - About Terra”, <http://terra.nasa.gov/About/index.php> [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 08/08/2009]

⁴⁸ Για συγκρίσεις Ψηφιακών Μοντέλων από δεδομένα ASTER με Μοντέλα από ψηφιοποιημένες ισοΰψεις βλ.:

K. Nikolakopoulos, A. Antonakakis, “Creation of DTM with ASTER Data and Statistical Verification of the Accuracy of the Model (W. Peloponnese, Greece)», *Geocarto International* 19.1 (2004), pp. 3-9.

U. Kamp, T. Bolch, J. Olsenhaller, “Geomorphology of Cerro Sillajhuaj (Andes, Chile/Bolivia): Comparison of Digital Elevation Models (DEMs) from ASTER Remote Sensing Data and Contour Maps”, *Geocarto International* 20.1 (2005), pp. 23-33.

Στις παραπάνω μελέτες η απόδοση των δεδομένων από το ASTER κρίθηκε ικανοποιητική. Οι ερευνητές είχαν ωστόσο στη διάθεσή τους χάρτες με μικρή κλίμακα και ισοδιάσταση 20 και 50 μέτρα αντίστοιχα. Σε μια εφαρμογή σαν τη δική μας, δεν αρκεί η λεπτομέρεια της πληροφορίας που δίνει το ASTER.

⁴⁹ Σε αντίθεση με το πρόγραμμα ASTER, όπου τα δεδομένα προέρχονται από όργανα εγκατεστημένα σε τεχνητό δορυφόρο, τα δεδομένα του SRTM προέρχονται από όργανα που είχαν εγκατασταθεί στο διαστημικό λεωφορείο Endeavour κατά τη διάρκεια της 11ήμερης αποστολής με την ονομασία STS-99, το Φεβρουάριο του 2000. Βλ. σχετικά:

“STS-99”, <http://science.ksc.nasa.gov/shuttle/missions/sts-99/mission-sts-99.html> (Τελ. ενημέρωση: 29/06/2001) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 11/08/2009].

“Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Fact Sheet 071-03 (June 2004)”, <http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs07103.html> (Τελ. ενημέρωση: 07/08/2006) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 11/08/2009].

ανά εικονοστοιχείο, που σε καμία περίπτωση δεν είναι επαρκής για την πραγματοποίηση χωρικών αναλύσεων στην κλίμακα που χρειαζόμαστε. Εξάλλου, όσον αφορά το ASTER GDEM, υπάρχουν επικρίσεις σχετικά με το αν η ακρίβειά του είναι ικανοποιητική⁵⁰ και αν η ανάλυσή του είναι πραγματικά σε όλη την επιφάνεια της γης ίση με την ονομαστική — θυμίζουμε εδώ ότι η ανάλυση μίας ψηφιδωτής εικόνας μπορεί να αυξηθεί τεχνητά, δηλαδή για παράδειγμα από κάθε εικονοστοιχείο να προκύψουν τέσσερα νέα με την ίδια τιμή, αυτό όμως δε θα σημαίνει σε καμία περίπτωση ότι η νέα εικόνα θα έχει πράγματι καλύτερη ανάλυση: ένα σχετικό παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα 7. Λέγεται μάλιστα ότι το DEM του SRTM μπορεί να έχει σε πολλές περιπτώσεις μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτό του ASTER⁵¹.

Στους Χάρτες 2 – 4 παρουσιάζονται τρία ψηφιακά μοντέλα εδάφους σε μορφή ψηφιδωτού γραφικού για την υπό μελέτη περιοχή. Το πρώτο είναι αυτό που διατίθεται από τη NASA και προέρχεται από το πρόγραμμα SRTM. Έχει ανάλυση 90 μ. ανά εικονοστοιχείο και διατίθεται σε μορφή grid του ArcGIS. Το δεύτερο είναι από το πρόγραμμα ASTER, έχει ανάλυση 30 μ. ανά εικονοστοιχείο και διατίθεται από το ιαπωνικό Υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας και τη NASA σε μορφή GeoTIFF, ενώ το τρίτο, με ανάλυση 2 μ. ανά εικονοστοιχείο, είναι αυτό που προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων από τοπογραφικά και χάρτες της ΓΥΣ και της Υδρογραφικής, καθώς και από την τοπογράφηση του 1993 και το οποίο χρησιμοποιήσαμε. Οι διαφορές είναι εμφανείς με γυμνό μάτι.

Αντίστοιχα, στους Χάρτες 5 – 7 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα TINs. Στην περίπτωση των Χαρτών 5 και 6, τα TINs παρήχθησαν με βάση τα προαναφερθέντα DEMs από το SRTM και το ASTER. Χρησιμοποιήθηκε η εντολή “Convert raster to TIN” του πρόσθετου 3D Analyst του πακέτου

⁵⁰ Βλ. π.χ. Jonathan de Ferranti, “Virtual Earth Product Reviews – ASTER Digital Elevation Data”, <http://www.viewfinderpanoramas.org/reviews.html> (Τελ. ενημέρωση: 03/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 10/08/2009].

⁵¹ Για μια σύγκριση μεταξύ SRTM και ASTER, βλ. και:

K. G. Nikolakopoulos, E. K. Kamaratakis, N. Chrysoulakis, “SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece”, *International Journal of Remote Sensing* 27[21] (Nov. 2006), pp. 4819-4838.

ArcGIS. Σχετικά με τις παραμέτρους που ορίστηκαν, επιλέξαμε τα παραχθέντα TINs να έχουν ακρίβεια, όσον αφορά τον άξονα Z, τα υψόμετρα δηλαδή, της τάξης των 2 μ., ίσο δηλαδή με το ήμισυ της ισοδιάστασης των τοπογραφικών της ΓΥΣ που χρησιμοποιήσαμε στη δημιουργία του δικού μας ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Το TIN του Χάρτη 7 είναι αυτό που προέκυψε από τις ισοΰψεις και τα σημεία που ψηφιοποιήσαμε από έντυπους χάρτες, και το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του ψηφιδωτού γραφικού του Χάρτη 4.

Αφού λοιπόν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της δημιουργίας του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, σειρά έχει η εφαρμογή των αλγορίθμων Ανάλυσης Συμφορότερης Διαδρομής.

Το πρώτο βήμα στην Ανάλυση Συμφορότερης Διαδρομής είναι η δημιουργία νέου ψηφιδωτού γραφικού (grid) το οποίο να έχει πληροφορίες σχετικά με το αν επιτρέπεται να περάσει από εκεί η διαδρομή και ποιο είναι το σωρευτικό κόστος κάθε εικονοστοιχείου. Αυτό το grid θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για να διαπιστώσει το πρόγραμμα πώς θα φτάσει από την αφετηρία που του ορίζουμε στον προορισμό που θέλουμε έχοντας συγκεντρώσει όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος. Ένα απλό παράδειγμα για την έννοια του σωρευόμενου κόστους και για το πώς η συντομότερη διαδρομή δεν είναι πάντα και η συμφορότερη μπορεί να δει κανείς στην εικόνα 8.

Για να δημιουργήσουμε το εν λόγω grid χρησιμοποιούμε την εντολή Path Distance⁵² στην κατηγορία εργαλείων Spatial Analysis – Distance της υπο-εφαρμογής ArcToolbox του πακέτου λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS. Στο παράθυρο της εντολής, εκτός από τα άλλα στοιχεία, δηλαδή το όνομα του grid που αποδίδει το ανάγλυφο και το shapefile που περιέχει το σημείο εκκίνησης, ορίζουμε και τις λεγόμενες παραμέτρους κατακόρυφου συντελεστή (Vertical Factor Parameters). Αυτό

⁵² Βλ. και A. Mitchell, *The ESRI Guide to GIS Analysis*. Redlands CA 1999, v. 1 pp. 142-147.

“ArcGIS Desktop Help 9.3 - Path Distance”
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6133&pid=6117&topicname=Path_Distance (Τελ. ενημέρωση: 31/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 30/08/2009].

το σημείο είναι αποφασιστικής σημασίας, γιατί είναι αυτό που θα εμποδίσει το πρόγραμμα να χαράξει μια διαδρομή από την πηγή προς την πόλη η οποία να έχει ανωφερικά τμήματα. Οι παράμετροι που βάζουμε λοιπόν είναι πόσες μοίρες ανωφέρεια ή κατωφέρεια επιτρέπεται να έχει η διαδρομή κατά το μέγιστο. Αφήσαμε την προεπιλεγμένη τιμή των 30 μοιρών για την κατωφέρεια, είναι άλλωστε πάρα πολύ —σε τόσο μεγάλες κατωφέρειες είναι δύσκολο να λειτουργήσουν σωστά οι αγωγοί· θεωρήσαμε λοιπόν ότι αποκλείεται ο αγωγός να πέρναγε από σημεία με μεγαλύτερη από 30 μοίρες κατωφέρεια. Όσον αφορά την ανωφέρεια, δεν την ορίσαμε στο μηδέν, αλλά αφήσαμε ένα περιθώριο 2 μοίρες. Σκοπό έχει αυτό το περιθώριο να ξεπεράσει τυχόν σφάλματα στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, αλλά και να συνυπολογίσει το γεγονός ότι τόσο μικρές διακυμάνσεις μπορούν να υπερκεραστούν με τη διάνοιξη βαθύτερης αύλακας, αν πρόκειται για ένα σχετικά μικρό μέρος του δικτύου. Σε πολύ μικρά μέρη, επιπλέον, θα μπορούσε το νερό, λόγω της κινητικής ενέργειας την οποία είχε αποκτήσει να ξεπεράσει μικρά ελαφρώς ανωφερικά τμήματα.

Από τη διαδικασία αυτή, λοιπόν, πήραμε δύο νέα αρχεία grid. Το ένα αποτυπώνει το κόστος για τη διαδρομή σε κάθε εικονοστοιχείο του, ενώ το άλλο αποδίδει τη διεύθυνση που είναι προτιμότερο να έχει η διαδρομή στο κάθε εικονοστοιχείο. Και τα δύο αυτά αρχεία είναι απαραίτητα για την εκτέλεση της επόμενης εντολής. Η εντολή που είναι το επόμενο βήμα λοιπόν είναι η Cost Path, της ίδιας ομάδας εργαλείων του ArcToolbox (Spatial Analyst – Distance)⁵³. Η εντολή παίρνει στην είσοδό της τα δύο grids που δημιουργήσαμε προηγούμενα, καθώς και ένα σημειακό αρχείο με το σημείο προορισμού και δίνει στην έξοδο ένα νέο grid όπου υπάρχουν μόνο τα εικονοστοιχεία από τα οποία περνά το δίκτυο. Το grid αυτό το μετατρέψαμε σε γραμμικό shapefile, με την εντολή Raster to Polyline που υπάρχει στην κατηγορία εργαλείων Conversion Tools του ArcToolbox και την εν λόγω γραμμή την επεξεργαστήκαμε περαιτέρω.

⁵³ “ArcGIS Desktop Help 9.3 - Cost Path”
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=cost_path (Τελ. ενημέρωση: 31/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 30/08/2009]

Είναι αλήθεια ότι η μέθοδος αυτή που σκεφτήκαμε και εφαρμόσαμε δε δούλεψε με την πρώτη προσπάθεια όπως θα θέλαμε. Χρειάστηκαν διάφορες δοκιμές με διάφορες τιμές για τους συντελεστές που απαιτούνται στις εκάστοτε εντολές. Τελικά χρειάστηκε να εφαρμόσουμε τις εντολές τμηματικά και να διορθώσουμε το αποτέλεσμα. Όπως διαπιστώσαμε στο επόμενο βήμα της έρευνας, το οποίο παρουσιάζουμε στο μεθεπόμενο κεφάλαιο περί Επιφανειακής Έρευνας, είναι πολύ πιθανό οι δυσκολίες αυτές να οφείλονται στις ιδιαιτερότητες του δικτύου και ιδιαίτερα στο γεγονός που διαπιστώσαμε, ότι δηλαδή μέρος του δικτύου περνά από σήραγγα σκαμμένη στο βράχο και η οποία προφανώς υπερβαίνει το προβλήματα που θα παρουσίαζε το ανάγλυφο. Ίσως για αυτό το λόγο να προτιμήθηκε άλλωστε και η εν λόγω προσέγγιση από τους κατασκευαστές του δικτύου. Στο Χάρτη 8 παρουσιάζεται διορθωμένη η προβλεφθείσα από το μοντέλο μας διαδρομή του αγωγού.

ΑΛΓΕΒΡΑ ΧΑΡΤΩΝ

Ένα αναλυτικό εργαλείο των πακέτων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών το οποίο χρησιμοποιήσαμε και στο οποίο θέλουμε να κάνουμε ξεχωριστή μνεία είναι η άλγεβρα χαρτών (Εντολή map algebra ή raster calculator, που περιλαμβάνεται στο πρόσθετο Χωρικής Ανάλυσης του πακέτου ArcGIS).

Για την άλγεβρα χαρτών χρησιμοποιούνται ψηφιδωτά (raster) γραφικά. Όχι όμως απλές σαρωμένες εικόνες, αλλά grids του τύπου που περιγράψαμε προηγούμενα. Χρησιμοποιήσαμε εδώ grids τα οποία προέκυψαν από TINs. Καθώς ένα TIN έχει περισσότερες ιδιότητες από ότι ένα grid, κατά τη μετατροπή ενός TIN σε grid ο χρήστης καλείται να δηλώσει την ιδιότητα βάσει της οποίας θα δοθούν τιμές σε κάθε εικονοστοιχείο του grid. Για τις ανάγκες της εργασίας αυτής, δημιουργήσαμε διαφορετικά grid με βάση δύο χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τα TIN. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι το υψόμετρο, το δεύτερο είναι η κλίση (εν προκειμένω σε ποσοστό επί τοις εκατό).

Με την άλγεβρα χαρτών, από την τιμή κάθε εικονοστοιχείου ενός δεδομένου ψηφιδωτού γραφικού προκύπτει βάσει υπολογισμών (ενίοτε και με τη χρήση περισσότερων του ενός ψηφιδωτών γραφικών) η τιμή του αντίστοιχου εικονοστοιχείου ενός νέου γραφικού. Στις εικόνες 8-16 παρουσιάζονται μερικά απλουστευμένα παραδείγματα εφαρμογών άλγεβρας χαρτών, τόσο με χρήση απλών μαθηματικών πράξεων, όσο και με τη χρήση λογικών τελεστών. Στο τελευταίο παράδειγμα (εικ. 17) χρησιμοποιούνται τόσο μαθηματικές πράξεις όσο και λογικοί τελεστές.

Για να περιορίσουμε το χρόνο υπολογισμού για τους αλγόριθμους Συμφορότερης Διαδρομής, δημιουργήσαμε με τη χρήση της άλγεβρας του Boole (Boolean algebra), της άλγεβρας λογικών τελεστών δηλαδή, ένα νέο raster με βάση αυτό που είχαμε παράξει προηγούμενα από το υψόμετρο του σχετικού TIN. Με τη χρήση του λογικού τελεστή AND δημιουργήσαμε ένα raster το οποίο είχε εικονοστοιχεία μόνο στα σημεία τα οποία ικανοποιούσαν δύο συνθήκες: είχαν υψόμετρο ίσο ή μεγαλύτερο από αυτό της κρήνης και ίσο ή μικρότερο από αυτό της πηγής (βλέπε Χάρτη 9). Έτσι, αντί για ένα raster με ~ 2.100.000 εικονοστοιχεία, χρησιμοποιήσαμε για

τους υπολογισμούς μας ένα με λιγότερα από τα μισά, μειώνοντας έτσι σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας, οι οποίοι αυξάνονται εκθετικά όταν αυξάνεται ο αριθμός των εικονοστοιχείων του ψηφιδωτού γραφικού.

Αντίστοιχα, μία εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιήσαμε rasters που είχαν προκύψει από την κλίση του αντίστοιχου TIN, ήταν η δημιουργία χαρτών που για δεδομένες διαστάσεις αγωγών, μας δίνουν την ταχύτητα που θα είχε το νερό στο συγκεκριμένο σημείο αν ο αγωγός περνούσε από εκεί. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Manning, η οποία αν και είναι παλιά και για πολλά χρόνια ήταν αποκλειστικά εμπειρική, αν εφαρμοστεί προσεκτικά μπορεί να δώσει αξιοπρεπή αποτελέσματα.

Σύμφωνα με την εξίσωση του Manning⁵⁴,

$$V = \frac{k}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

όπου V είναι η μέση ταχύτητα του νερού στο συγκεκριμένο σημείο ή τμήμα του αγωγού, k είναι μία σταθερά μετατροπής που ισούται με 1 για τις μονάδες του SI, n είναι η λεγόμενη σταθερά Gauckler-Manning, που έχει να κάνει με το υλικό του αγωγού, S είναι η κλίση (εν προκειμένω σε μέτρα ανά μέτρο) και R_h είναι η υδραυλική ακτίνα του αγωγού.

Η υδραυλική ακτίνα αποτελεί μέτρο της αποδοτικότητας της ροής και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R_h = \frac{A}{P}$$

όπου A είναι το εμβαδόν της τομής της ροής στον αγωγό και P είναι η περίμετρος διαβροχής, το άθροισμα δηλαδή του μήκους των πλευρών της τομής του αγωγού που βρέχονται (Βλ. εικ. 17 & 18). Αν, για παράδειγμα, έχουμε έναν αγωγό τετραγωνικής διατομής 1×1 μ. ο οποίος γεμίζει ως τη μέση, τότε θα έχουμε $A = 1 \mu. \times 0,50 \mu. = 0,50 \mu^2$, $P = 0,50 \mu. + 1 \mu. + 0,50$

⁵⁴

Manning

formula.

http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Manning_formula&oldid=310746553

[Ημ/νία

τελευταίας πρόσβασης: 01/09/2009].

μ. (για τις τρεις πλευρές του αγωγού που βρέχονται) = 2 μ., και άρα $R_h = 0,50 \mu^2 : 2 \mu. = 0,25 \mu.$

Με τη χρήση άλγεβρας χαρτών και με εφαρμογή της εξίσωσης του Manning προέκυψε μια σειρά από νέα ψηφιδωτά γραφικά τα οποία δείχνουν την ταχύτητα που θα είχε το νερό σε κάθε σημείο του χάρτη αν περνούσε από αυτό το σημείο αγωγός με συγκεκριμένες ιδιότητες (υλικό, διαστάσεις, κλίση κτλ.). Παρήχθη ένας αριθμός χαρτών βάσει των διαφορετικών τύπων αγωγών που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια των επιφανειακών ερευνών. Στη συνέχεια, στους εν λόγω χάρτες εφαρμόστηκε εκ νέου άλγεβρα χαρτών με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως· με τη χρήση δηλαδή του λογικού τελεστή AND (με τη δημιουργία μίας έκφρασης της μορφής “(raster1<=x) AND (raster1>=y)”) αποκλείστηκαν περιοχές στις οποίες το νερό θα αποκτούσε ανεπαρκή ή υπερβολική για τη λειτουργία του δικτύου ταχύτητα. Καθώς βέβαια σε αυτή τη φάση της έρευνας δεν έχουμε εντοπίσει τμήματα αγωγών με αποθέσεις ανθρακικού ασβεστίου —γεγονός που ίσως να συνδέεται και με τη γεωλογία του Τρύπιου⁵⁵—, δε μπορούμε να γνωρίζουμε τη μέση στάθμη στην οποία θα έφτανε το νερό μέσα στους αγωγούς, με αποτέλεσμα να μη μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια την υδραυλική τους ακτίνα και οι περί ων ο λόγος υπολογισμοί να είναι σε αυτή τη φάση της μελέτης απλές εκτιμήσεις.

⁵⁵ Σχετικά με τις διαδικασίες εμπλουτισμού των υδάτων με ανθρακικό ασβέστιο και απόθεσής του στα τοιχώματα των αγωγών βλ. W. Müller, „Bildung von Sinterablagerungen in Wassersystemen“ in N. de Haan, G. Jansen (eds.), *Cura Aquarum in Campania*, Leiden 1996, pp. 185-189.

Βλ. επίσης και W. Prochaska, U. Quatember, “The Analysis of Sinter Samples and Hydraulic Mortars from the Nymphaeum Traiani at Ephesus” in G. Wiplinger (ed.), *Cura Aquarum in Ephesus*, Leuven – Paris – Dudley 2006, pp. 509-522.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Έχοντας λοιπόν εντοπίσει τη θεωρούμενη θέση της πηγής από την οποία θα υδρεύονταν η αρχαία πόλη και έχοντας υπολογίσει τη συμφορότερη θεωρητική διαδρομή του αγωγού στο λογισμικό πακέτο ArcGIS, το επόμενο βήμα μας ήταν η επιτόπια επιφανειακή έρευνα για εμφανή κατάλοιπα του δικτύου ύδρευσης.

Το πρώτο μέλημά μας ήταν να καθορίσουμε τη ζώνη στην οποία θα διεξάγονταν η έρευνα. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε την εντολή Buffer από την ομάδα εργαλείων Analysis Tools – Proximity της υποεφαρμογής ArcToolbox του πακέτου ArcGIS⁵⁶. Η εντολή αυτή παίρνει στην είσοδό της ένα shapefile, είτε σημειακό, είτε γραμμικό είτε πολυγωνικό, και παράγει ένα νέο, πολυγωνικό, το οποίο περιέχει τα buffers (ζώνες επιρροής) με δεδομένη ακτίνα γύρω από τα στοιχεία του shapefile που είχε εισαχθεί (βλ. εικόνα 20).

Εφαρμόσαμε την εντολή buffer στο γραμμικό shapefile με την προβλεπόμενη συμφορότερη διαδρομή για τον αγωγό το οποίο προέκυψε από τις αναλύσεις συμφορότερης διαδρομής. Για να αποφασίσουμε την ακτίνα που θα είχε η ζώνη της έρευνάς μας γύρω από τη θεωρούμενη πορεία του αγωγού, συγκρίναμε το προαναφερθέν γραμμικό χαρτογραφικό επίπεδο με τη θέση ήδη γνωστών από τις επιφανειακές έρευνες του 1990-1995 τμημάτων του αγωγού. Διαπιστώσαμε ότι στις χειρότερες περιπτώσεις η προβλεπόμενη πορεία απέιχε έως και 20 μ. από τα γνωστά σημεία και έτσι αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε buffer ακτίνας 20 μ. εκατέρωθεν της θεωρούμενης γραμμής (βλ. χάρτη 10).

Ακολούθως περπατήσαμε την έκταση που προέκυψε από τους προαναφερθέντες υπολογισμούς. Για τον εντοπισμό της περιοχής στο χώρο

⁵⁶ D. Wheatley, M. Gillings, op. cit. , pp. 148-149.

“ArcGIS Desktop Help 9.3 – How Buffer (Analysis) works”
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Buffer%20%28Analysis%29%20works> (Τελ. ενημέρωση: 29/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 01/09/2009]

I. Heywood, S. Cornelius, J. Carver, *An Introduction to Geographical Information Systems*, New York 1998, pp. 108-110.

αλλά και για την επισήμανση νεοευρεθέντων τμημάτων του αγωγού, χρησιμοποιήσαμε μια συσκευή GPS χειρός, τύπου Garmin eTrex Legend. Οι συσκευές αυτού του τύπου δεν επιτυγχάνουν ακρίβειες καλύτερες από 3 μ. Θεωρήσαμε ωστόσο ότι η ακρίβεια αυτή είναι ικανοποιητική για εργασίες της συγκεκριμένης κλίμακας.

Δε θα πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο πως η παροχή νερού μιας πόλης έχει διαχρονικά μεγάλη στρατηγική σημασία. Είναι επόμενο λοιπόν οι αγωγοί που τροφοδοτούν μία αρχαία οχυρωμένη θέση, ιδιαίτερα μια πόλη, να είναι επιμελώς κρυμμένοι, ειδικά στα εκτός των τειχών τμήματά τους. Αν το δίκτυο είναι εμφανές και εντοπιστεί από τους εχθρούς, η πόλη είναι καταδικασμένη. Αν βασίζεται σε αυτό σε μεγάλο βαθμό, τότε αν αυτό καταστραφεί από τους εχθρούς, η πόλη θα πέσει γρήγορα σε μια πολιορκία. Ως αποτέλεσμα, είναι και για μας σήμερα πολλές φορές δύσκολο να εντοπίσουμε την πορεία τέτοιων αγωγών.

Ακολουθεί στη συνέχεια η παρουσίαση και περιγραφή των γνωστών πλέον σε εμάς τμημάτων του δικτύου, όπως προέκυψαν είτε από τις παλαιότερες επιφανειακές έρευνες της δεκαετίας του '90, είτε από τις νεώτερες έρευνες του γράφοντος. Υπενθυμίζουμε ότι οι παρατιθέμενες (προβολικές) συντεταγμένες ανήκουν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87). Οι υψομετρήσεις δεν προέρχονται από την προαναφερθείσα συσκευή GPS· σε αντίθεση με τις συντεταγμένες στους άξονες X και Y, οι συσκευές GPS χειρός δε δίνουν αξιοπρεπή αποτελέσματα για τον άξονα των Z. Τα υψομετρικά που θα αναφέρουμε προέρχονται από εκτιμήσεις που βασίζονται στο παραχθέν ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ενώ ενίοτε μπορεί να αναφέρονται στην άνω επιφάνεια του αγωγού και όχι στον πυθμένα του.

ι) ΘΕΣΗ ΠΗΓΗΣ

X: 536659 Y: 4139263 Z: ~ 158 μ.

Η θέση της πηγής, όπως αναφέραμε, δε μας είναι γνωστή σήμερα με ακρίβεια. Σύμφωνα με τους ντόπιους, είναι πια μπαζωμένη. Νερό ανάβλυζε μέχρι πριν λίγα χρόνια, ωστόσο, οπότε και γνωρίζουμε πού θα πρέπει να ήταν, καθώς η θέση της είναι γνωστή σε ανθρώπους που έχουν κτήματα στον Τρύπιο. Η πηγή βρίσκεται στην κορυφή σχεδόν ρεματιάς που

Ξεκινά περίπου από την περιοχή της εκκλησίας της Παναγίας του Τρύπιου, διακόπτεται από το σύγχρονο δρόμο (βλ. εικ. 21) που συνδέει τη Χώρα με το λιμάνι περί τα 300 μ. νοτιότερα από το διάσελο που ενώνει τον Τρύπιο με το Βρυόκαστρο, για να καταλήξει στη συνέχεια στην κοιλάδα της Επισκοπής. Πιστεύουμε πως η πηγή θα πρέπει να βρίσκεται σε ακτίνα λίγων δεκάδων μέτρων από το σημείο που αναφέρουμε εδώ.

Στο ως άνω σημείο, ωστόσο, υπάρχει σύγχρονη διάταξη συλλογής νερού που έχει κατασκευαστεί την τελευταία πενταετία (βλ εικ. 22 – 24). Πρόκειται για αρκετά μεγάλης κλίμακας επέμβαση στο τοπίο: έχει ανοιχτεί με μηχανικό εκσκαφέα τομή στο φυσικό (σχιστολιθικό) βράχο με ύψος ~5-6 μ. πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και άλλο τόσο κάτω από αυτή. Στη δεξαμενή που σχηματίζεται υπάρχει νερό και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ ο ιδιοκτήτης του κτήματος στο οποίο βρίσκεται έχει εγκαταστήσει υποβρύχια αντλία για να αντλεί νερό για τις ανάγκες του. Θεωρούμε απίθανο το νερό αυτό να συσσωρεύεται εκεί από τη βροχή, καθώς τόσο το ανάγλυφο της κοντινής περιοχής όσο και η ίδια η μορφή του ορύγματος (έχει σχηματιστεί φυσική «οροφή» για την κατασκευή) θα δυσχεραίνανε κάτι τέτοιο. Πιστεύουμε πως είναι μάλλον πιθανότερο η κατασκευή αυτή να είναι στην ουσία ένα πηγάδι, να έχει δηλαδή συναντήσει τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Στην άποψή μας αυτή συνηγορεί και το γεγονός ότι στην εν λόγω δεξαμενή υπήρχε νερό τόσο στα τέλη Ιουνίου, όσο και στις αρχές του Σεπτεμβρίου που επισκεφθήκαμε το χώρο για τελευταία φορά. Καθώς από βάθος ~2-3 μ. κάτω από το έδαφος και κάτω δεν είναι εμφανή στο εν λόγω όρυγμα τα σημάδια από το μηχανικό εκσκαφέα, όπως πιο πάνω, ίσως να έχει παραβιάσει παλαιότερη διάταξη συλλογής ύδατος. Σημειώνουμε τέλος ότι σε απόσταση ~30 μ. βορειοανατολικά από το περί ου ο λόγος όρυγμα υπάρχει συκιά.

ii) «ΦΡΕΑΤΙΑ»

X: 536159 Y: 4139196 Z: ~ 108 μ.

Γύρω στα 500 μ. παρακάτω στην πορεία του ρέματος (δυτικότερα της πηγής) εντοπίσαμε λίθινη πλάκα η οποία κάλυπτε τετραγωνικό άνοιγμα επιμελώς κατασκευασμένο, διαστάσεων ~ 0,40 x 0,40 μ. (βλ εικ. 25 & 26). Το άνοιγμα αυτό παρείχε πρόσβαση σε όρυγμα σκαμμένο στο φυσικό έδαφος της κοίτης του ρέματος (βλ. εικ. 27), με ύψος ~ 1,70 μ. και πλάτος

~ 0,50 μ., το οποίο ήταν καλυμμένο με σχιστολιθικές πλάκες. Φαίνεται πως πρόκειται για τμήμα του αγωγού, ο οποίος στο σημείο εκείνο κινούνταν εντός του ρέματος. Το άνοιγμα αυτό θα πρέπει να είναι μία «φρεατία», μία διάταξη επίσκεψης δηλαδή η οποία χρησιμεύει στον καθαρισμό ή και την επισκευή αν χρειάζεται του αγωγού⁵⁷.

Το τμήμα αυτό του αγωγού λίγα μέτρα δυτικότερα (προς την κατεύθυνση της πηγής) έχει γεμίσει με φερτά υλικά, καθώς έχει παραβιαστεί από τις ρίζες ενός κυπαρισσιού που φυτρώνει στο σημείο. Αντίστοιχα, αμέσως στα δυτικά του ανοίγματος, ο αγωγός φαίνεται να είναι χτισμένος (βλ εικ. 28). Το χτίσιμό του είναι χαλαρό ωστόσο, οπότε πιστεύουμε πως είτε πρόκειται για μεταγενέστερη επέμβαση, είτε πιθανότερα πρόκειται για διάταξη υδρομάστευσης (φιλτραρίσματος του νερού). Σε αυτό συντελεί και το γεγονός ότι υπάρχει διάταξη επίσκεψης τόσο κοντά: αν πραγματικά το νερό φιλτραριζόταν σε αυτό το σημείο, θα χρειαζόταν να καθαρίζεται ο χώρος σχετικά συχνά. Ίσως πάλι να πρόκειται για διάταξη συλλογής νερού από το ρέμα: ίσως ο αγωγός δεν ξεκινούσε από την αρχή της ρεματιάς, κοντά στη σύγχρονη κατασκευή που αναφέραμε προηγουμένα, αλλά κοντά στο σημείο της εν λόγω φρεατίας. Το νερό τότε ίσως θα εισέρεε στον αγωγό από το άνοιγμα αυτό και θα φιλτραριζόταν σε αυτή την κατασκευή, για να συνεχίσει μετά την πορεία του ανατολικότερα. Το άνοιγμα αυτό θα μπορούσε σε τέτοια περίπτωση να χρησιμοποιείται ως θυρίδα επίσκεψης και καθαρισμού της διάταξης υδρομάστευσης τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν δε θα υπήρχε νερό στο ρέμα —ή, εν πάσει περιπτώσει, η στάθμη του θα ήταν αρκετά χαμηλότερη και η ροή του σαφώς μετριασμένη. Ίσως, αν ισχύουν οι υποθέσεις αυτές, να μην έφτανε τρεχούμενο νερό στην πόλη τους καλοκαιρινούς μήνες και να τροφοδοτούνταν τότε αποκλειστικά από τις υδατοδεξαμενές.

iii) ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ

X: 536136 Y: 4139191 Z: ~108 μ.

⁵⁷ R. Ginouves, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine*, Athènes – Rome 1992, v. II, p. 41, s.v. Regard.

Βλ. σχετικά και: Ἡρώνας, *Διόπτρα*, 20.

Σε απόσταση περί τα 25 μ. δυτικότερα από την προαναφερθείσα θυρίδα επίσκεψης, εντοπίσαμε τη συνέχεια του αγωγού· στο σημείο αυτό η αύλακα συνεχίζεται, αλλά λείπουν οι περισσότερες από τις καλυπτήριες πλάκες (βλ. εικ. 29 & 30). Φαίνεται να έχει και εδώ ανάλογα χαρακτηριστικά με το προηγούμενο τμήμα, ωστόσο λόγω της βλάστησης στο εσωτερικό του, δεν κατέστη δυνατόν να το εξετάσουμε περαιτέρω ή και να το ακολουθήσουμε δυτικότερα. Λίγα μέτρα πιο δυτικά εμφανίζεται πυκνή συστάδα από πικροδάφνες, η οποία συνεχίζει και φτάνει μέχρι την κοιλάδα της Επισκοπής (βλ. εικ. 21). Αξίζει να σημειώσουμε εδώ ότι γύρω στα 300 μέτρα παρακάτω (δυτικότερα), υπήρχαν το μήνα Ιούνιο συγκεντρώσεις νερού ανάμεσα στις πικροδάφνες, όπου ζούσαν μάλιστα αρκετές χελώνες.

Από το σημείο αυτό, και για τα επόμενα 800 περίπου μέτρα της θεωρούμενης πορείας του αγωγού, δεν εντοπίσαμε/ταυτίσαμε κανένα κατάλοιπο· λόγω της πυκνότητας της βλάστησης, η έρευνα μέσα στο ρέμα, από όπου και θεωρούμε ότι θα περνούσε το μεγαλύτερο μέρος αυτού του τμήματος του αγωγού, ήταν κάθε άλλο παρά επαρκής. Η έρευνα στο πρηνές πάνω από τη βόρεια όχθη επίσης δεν απέδωσε καρπούς. Πιθανολογούμε ότι ο αγωγός εξακολουθούσε ως κάποιο σημείο μέσα στο ρέμα με τη μορφή που τον συναντήσαμε παραπάνω (ανατολικότερα), ενώ σε κάποιο σημείο θα πρέπει να κάμπτονταν προς τα βόρεια και είτε να ακολουθούσε την κλιτύ του Τρύπιου μέχρι τη Διασέλα, είτε να περνούσε αυτό το τμήμα του Τρύπιου μέσω σήραγγας με τη μορφή που τον εντοπίσαμε αμέσως μετά να «μπαίνει» στον όγκο του Βρυοκάστρου.

iv) ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΟ ΒΡΥΟΚΑΣΤΡΟ X: 535570 Y: 4139410 Z: ~ 73 μ.

Στον αυχένα που ενώνει τον Τρύπιο με το Βρυοκάστρο, στη λεγόμενη Διασέλα (βλ. εικ. 31), δυτικά του σύγχρονου δρόμου Χώρας – Μέρικα, εντοπίσαμε το επόμενο τμήμα του αγωγού. Ένα άνοιγμα που αρχικά είχαμε θεωρήσει ότι ήταν απλός κερματισμός του σχιστόλιθου (βλ. εικ. 32 & 33), ήταν τελικά η απόληξη μιας σήραγγας, τριγωνικής περίπου διατομής, με πλάτος ~ 0,80-0,90 μ. και το ίδιο περίπου ύψος. Η εν λόγω σήραγγα, είναι επιμελώς σκαμμένη στο φυσικό πέτρωμα· καθώς για τη δημιουργία καρστικών σχηματισμών απαιτούνται ασβεστολιθικά πετρώματα,

αποκλείεται η περίπτωση το εν λόγω όρυγμα να είναι φυσικός σχηματισμός ή να εκμεταλλεύεται κάποιον υπάρχοντα τέτοιο. Υπάρχει ωστόσο η πιθανότητα να εκμεταλλεύεται φυσικές ρωγματώσεις ή ολόκληρο σύστημα διαρρήξεων και κατακλάσεων των σχιστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής—δεν πρέπει να ξεχνάμε άλλωστε την πλούσια τεκτονική ιστορία του νησιού που του έχει προσδώσει και το χαρακτηριστικό ανάγλυφό του⁵⁸. Το συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας προχωρά περί τα 20 - 25 μ. και στη συνέχεια είναι κλεισμένο από φερτά υλικά (βλ. εικ. 34). Τα σημάδια από τα εργαλεία με τα οποία θα διανοίχτηκε δεν είναι ιδιαίτερα εμφανή, πιθανότερα λόγω της δράσης του νερού.

Θα πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι παρ' όλες τις έρευνες στη Διασέλα και τους πρόποδες του Τρύπιου στα δυτικά του σύγχρονου δρόμου, δεν εντοπίσαμε το αντίστοιχο σημείο από το οποίο θα εκπορεύονταν ο αγωγός από τον Τρύπιο. Εικάζουμε ότι το εν λόγω προηγούμενο τμήμα του αγωγού, είτε έχει την ίδια μορφή με αυτό εδώ, τη μορφή δηλαδή σήραγγας σκαμμένης στο εσωτερικό του βράχου, είτε τη μορφή του αγωγού όπως τον εντοπίσαμε στο ρέμα, δηλαδή αύλακας σκαμμένης επί του μητρικού πετρώματος, θα πρέπει να βρίσκεται σήμερα κάτω από την επιφάνεια του δρόμου.

v) ΤΜΗΜΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

X: 535538 Y: 4139410 Z: ~ 75 μ.

Γύρω στα 30-35 μ. δυτικότερα εντοπίζουμε νέο τμήμα της σκαμμένης στο φυσικό σχιστόλιθο σήραγγας. Έχει μορφή παρόμοια με το προηγούμενο τμήμα, καθώς όμως είναι γεμισμένη με υλικά σε αρκετό ύψος (το ελεύθερο ύψος από την κορυφή του αποστρογγυλεμένου τριγώνου μέχρι το επίπεδο της επίχωσης είναι περίπου 0,40 – 0,50 μ.), δε μπορέσαμε να διερευνήσουμε το μήκος στο οποίο προχωρά το συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας απρόσκοπτα (βλ. εικ. 35 & 36).

Σημείωση: Παρ' ότι το δεύτερο αυτό τμήμα της σήραγγας φαίνεται από τις συντεταγμένες να είναι 2 μ. ψηλότερα από το πρώτο, η διαφορά αυτή είναι μέσα στα όρια του αποδεκτού λάθους· πιθανότατα άλλωστε η αποκτηθείσα ορμή από το υπόλοιπο δίκτυο θα επέτρεπε στο νερό να υπερβεί κάποια

⁵⁸ Μ. Παγούνης, Αχ. Γάκης, όπ. π., σ. 4.

μικρά ελαφρώς ανωφερή τμήματα, παρ' όλο που δεν έχουμε να κάνουμε με κλειστό αγωγό. Τέτοιες μικρές ασυνέπειες μπορεί να υπάρξουν και πιο κάτω στο κείμενο.

vi) ΚΑΜΠΗ ΣΗΡΑΓΓΑΣ X: 535342 Y: 4139356 Z: ~ 61 μ.

Διακόσια περίπου μέτρα δυτικότερα από το τμήμα της σήραγγας που αναφέρουμε παραπάνω, εντοπίζονται δύο ορύγματα των οποίων οι πορείες φαίνεται να σχηματίζουν γωνία, σχεδόν ορθή (βλ. εικ. 37, 38, 39). Αυτή τη φορά, οι εν λόγω διανοίξεις δεν έχουν γίνει σε σχιστόλιθο, αλλά σε φλέβα μαρμάρου μικρού σχετικά πάχους που εντοπίζεται στο σημείο. Εικάζουμε ότι ίσως (αν δεν έχουμε να κάνουμε με κάποια φυσική ρωγμάτωση που μας «εξαπατά») πρόκειται για κάποιο σημείο όπου η σήραγγα/αγωγός κάμπτεται έντονα, το οποίο και αποκαλύφθηκε μετά τις εργασίες διάνοιξης του δρόμου της Επισκοπής. Ίσως μάλιστα έχουμε να κάνουμε με το σημείο συνάντησης δύο τμημάτων σήραγγας που σκάβονταν από αντίθετες κατευθύνσεις. Τα ανοίγματα είναι και πάλι γεμισμένα με χώμα, έτσι δε μπορούμε να εξακριβώσουμε αν πρόκειται όντως για τμήματα της σήραγγας και με ποιο τρόπο συνεχίζουν.

vii) ΠΙΘΑΝΟ ΤΜΗΜΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ X: 534966 Y: 4139414 Z: ~ 52 μ.

Περίπου 400 – 450 μέτρα επί της θεωρητικής πορείας τους αγωγού πιο πέρα από τη θεωρούμενη ως καμπή του αγωγού και περί τα 300 μ. πριν από τα τείχη της πόλεως, εντοπίζεται στα όρια της ζώνης έρευνας άλλο ένα όρυγμα τριγωνικής διατομής που βαίνει προς τα βόρεια-βορειοανατολικά και το οποίο είναι επίσης πληρωμένο λίγο μετά την είσοδό του με χώματα. Είναι όμως αρκετά αμφίβολο το κατά πόσον το εν λόγω άνοιγμα (ρωγμάτωση;) αποτελεί μέρος του δικτύου, καθώς βρίσκεται υψομετρικά αρκετά μέτρα χαμηλότερα από τα επόμενα εντοπισθέντα σημεία.

viii) ΤΜΗΜΑ ΑΥΛΑΚΑΣ ΣΤΟ ΝΟΤΙΟ ΝΕΚΡΟΤΑΦΕΙΟ

ΑΠΟ: X: 534865 Y: 4139536

ΈΩΣ: X: 534842 Y: 4139540 Z: ~ 61 μ.

Κάπου 180-200 μ. (επί της θεωρούμενης πορείας του αγωγού) μετά το αμφίβολο όρυγμα που αναφέραμε παραπάνω, εντοπίστηκε κατά τις επιφανειακές έρευνες των ετών 1990-1995 τμήμα αγωγού μήκους ~25 μ. το οποίο έχει τα χαρακτηριστικά των τμημάτων του αγωγού που βρίσκονται εντός των τειχών. Πρόκειται για αύλακα σκαμμένη στο φυσικό βράχο και σκεπασμένη με σχιστολιθικές πλάκες.

ix) ΤΜΗΜΑ ΑΥΛΑΚΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΑ ΤΕΙΧΗ

ΑΠΟ: X: 534784 Y: 4139553

ΈΩΣ: X: 534773 Y: 4139556 Z: ~ 62 μ.

Σε απόσταση περίπου 60 μέτρων, αμέσως έξω από το τείχος, ανάμεσα στους πύργους Δ και Ε, εντοπίστηκε επίσης κατά τα έτη 1990-1995 ένα ακόμα τμήμα του αγωγού, μήκους ~9 μ. Έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το προηγούμενο και με αυτά που θα ακολουθήσουν, τα οποία και θα περιγραφούν εκτενέστερα.

x) ΔΙΠΛΗ ΚΑΜΠΗ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ

X: 534762 Y: 4139559 Z: ~ 61 μ.

Περίπου 10 μέτρα δυτικότερα, αμέσως εσωτερικά του αρχαίου τείχους, συναντάμε μια διπλή καμπή του αγωγού (βλ. εικ. 40, 41, 42, 43). Ενώ ο αγωγός βαίνει με διεύθυνση ~325°, γωνιάζει, κινείται για τέσσερα περίπου μέτρα με διεύθυνση ~235° για να ξαναγωνιάσει εκεί και να επιστρέψει σε πορεία με διεύθυνση ~325°. Αγνοούμε τι σκοπούς μπορεί να εξυπηρετεί μια τέτοια διάταξη. Μια απάντηση που να έχει να κάνει με διόρθωση κατασκευαστικού λάθους θα ήταν μάλλον αφελής. Το τμήμα αυτό του δικτύου είχε εντοπιστεί το 1990-1995, όμως οι φωτογραφίες και οι παρατηρήσεις που παρατίθενται εδώ προέκυψαν από τη νεώτερη έρευνα του γράφοντος. Θεωρούμε πιθανό περί τα 2,5-3 μέτρα μετά την τελευταία καμπή ο αγωγός να χωρίζεται στα δύο (βλ. εικ. 43). Αν ισχύει αυτή η υπόθεση, δε γνωρίζουμε ποιος μπορεί να ήταν ο προορισμός του δεύτερου σκέλους. Ίσως πάλι αυτό που ερμηνεύουμε στη φωτογραφία ως σημείο διακλάδωσης, να είναι απλώς φερτά υλικά που έχουν αποφράξει την

αύλακα. Ο αγωγός γενικά σε αυτά τα εντός των τειχών και περί τα τείχη τμήματα έχει τα εξής χαρακτηριστικά. Πρόκειται για αύλακα σκαμμένη στο φυσικό βράχο. Τα πλαϊνά τοιχώματα είναι επενδεδυμένα με σχιστολιθικές πλάκες. Από σχιστολιθικές πλάκες αποτελείται επίσης και η κάλυψη του αγωγού. Έχει (εσωτερικό) πλάτος γύρω στα 0,70-0,80 μ. και βάθος (από τον πυθμένα μέχρι την κάτω επιφάνεια των καλυπτήριων λίθων) περί τα 0,50-0,60 μ. Στο σημείο της διπλής καμπής που παρουσιάζουμε εδώ το βάθος μπορεί να φτάνει τα 0,80 μ.

xi) ΤΜΗΜΑ ΑΥΛΑΚΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΞΕΡΟΛΙΘΙΑ

ΑΠΟ: X: 534732 Y: 4139611

ΈΩΣ: X: 534731 Y: 4139621 Z: ~ 60 μ.

Περί τα 60-65 μ. ΒΒΔ της διπλής καμπής του αγωγού εντοπίζουμε τμήμα αύλακας μήκους περίπου 9-10 μέτρων, πάνω στις καλυπτήριες πλάκες της οποίας πατά σύγχρονη ξερολιθιά (βλ. εικ. 44, 45, 46). Ο αγωγός έχει λίγο έως πολύ τα προηγούμενα αναφερθέντα χαρακτηριστικά: σχιστολιθικές πλάκες στις παρειές και στην κάλυψη της διαμορφωμένης στο μητρικό έδαφος αύλακας, εσωτερικές διαστάσεις ~ 0,70 x 0,80 μ.

Αυτό είναι και το τελευταίο τμήμα του αγωγού που έχουμε εντοπίσει πριν την κρήνη. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, ανάμεσα σε αυτό το τμήμα και την κρήνη πρέπει να μεσολαβούν γύρω στα 170 – 180 μ. αγωγού.

Ο Χάρτης 11 συνοψίζει τα αποτελέσματα της εν λόγω επιφανειακής έρευνας. Με κόκκινο σημειώνεται η προβλεπόμενη συμφορότερη διαδρομή μετά από διορθώσεις, με ροζ η ζώνη έρευνας και με πράσινο τα εντοπισθέντα τμήματα (το ανατολικότερο πράσινο σημάδι δίνει κατά προσέγγιση τη θέση της πηγής). Φυσικά, το γεγονός ότι μεγάλο τμήμα του αγωγού περνά από σήραγγα σκαμμένη μέσα στο βράχο ακυρώνει κατά κάποιο τρόπο την έννοια της συμφορότερης διαδρομής που υπολογίστηκε με βάση το ανάγλυφο, καθώς ακριβώς αυτό κάνει —υπερβαίνει το ανάγλυφο. Παρ' όλα αυτά, έστω και έτσι, κατορθώσαμε να εντοπίσουμε μερικά τμήματα του αγωγού, ακόμα και κάποια τμήματα που περνούν από σήραγγα. Η μελέτη των τμημάτων αυτών και η περαιτέρω εξερεύνησή τους,

μπορεί να μας πάει ένα βήμα παραπέρα στην έρευνα για την πορεία του αγωγού.

Καθώς η γεωλογία της Κύθνου και ιδιαίτερα η (υδρο)γεωλογία του Τρύπιου δεν ευνοούν το φαινόμενο της επικάθησης αλάτων ασβεστιτικής σύνθεσης στα τοιχώματα των αγωγών, δεν έχουμε την ευκαιρία να δούμε τη στάθμη στην οποία θα έφτανε το νερό στο εσωτερικό του αγωγού. Επομένως, δε μπορούμε να ξέρουμε τον όγκο της παροχής. Θα επιχειρήσουμε εδώ έναν πολύ χονδρικό υπολογισμό, θεωρώντας ότι ο αγωγός θα γέμιζε μέχρι τη μέση. Επιπλέον, μια σωστή μελέτη θα έκανε αυτούς τους υπολογισμούς ανά τμήμα του αγωγού. Καθώς όμως εμείς δεν έχουμε ούτε αρκετά τμήματα του αγωγού, ούτε όπως είπαμε και τη στάθμη, θα αξιοποιήσουμε τις πληροφορίες που έχουμε για την υψομετρική διαφορά, το (προβλεπόμενο) μήκος και τις διαστάσεις του αγωγού στο τέλος σχεδόν του δικτύου και θα κάνουμε μια χονδρική πρόβλεψη για την παροχή του νερού, αν ο αγωγός γέμιζε ως τη μέση. Άλλωστε εμείς θέλουμε εδώ απλώς να παρουσιάσουμε μια προσέγγιση στην αρχαιολογία μέσω της επιστήμης της φυσικής: με την εξίσωση του Manning μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή του νερού, και από αυτή να βγάλουμε συμπεράσματα δημογραφικής φύσης.

Θα χρησιμοποιήσουμε εδώ την εξίσωση του Manning, την οποία παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο για την Άλγεβρα Χαρτών. Ο αγωγός μας έχει διατομή $\sim 0,70 \times 0,80$ μ. Η υδραυλική του ακτίνα λοιπόν θα είναι $R_h = A/P = (0,70 \times 0,40) / (0,40 + 0,70 + 0,40) = 0,28 / 1,50 = 0,18666667$ μ. Η σταθερά του Manning για χτιστούς αγωγούς είναι 0,025.⁵⁹ Όσον αφορά την κλίση τώρα, η προβλεπόμενη διαδρομή είναι 2.568 μ. και η υψομετρική διαφορά είναι περίπου $154 - 55 = 99$ μ. Άρα $S = 99 / 2568 = 0,0385514$ μέτρα ανά μέτρο αγωγού (δηλ. περίπου 3,86%). Έχουμε λοιπόν: $V = (1/0,025) \times (0,18666667)^{2/3} \times (0,0385514)^{1/2} = 40 \times 0,32662 \times 0,196345 = 2,56521$ m/s. Για να βρούμε τον όγκο της ροής Q πολλαπλασιάζουμε την ταχύτητα με το εμβαδόν της τομής του αγωγού (A). Θα έχουμε τότε $Q = V \times A = 2,56521 \times 0,28 = 0,7182588$ m³/s, δηλαδή 2.586 m³ την ώρα, νούμερο προφανώς

⁵⁹ "Manning's n values" <http://www.lmnoeng.com/manningn.htm> [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 28/09/09]

ανέφικτο. Το συμπέρασμα που βγάζουμε λοιπόν είναι ότι όσο χονδρικοί και να είναι οι υπολογισμοί μας και όσο έξω και να έχουμε πέσει στις προβλέψεις για την πορεία του αγωγού, αποκλείεται αυτός να γέμιζε μέχρι τη μέση.

Η κυριότερη πηγή από την οποία υδρεύεται σήμερα η Χώρα της Κύθνου, η πηγή του Αστέρα, έχει παροχή της τάξης των 200 m³ το εικοσιτετράωρο⁶⁰. Αν κάνουμε τους υπολογισμούς λοιπόν αντίστροφα, και για την ιδανική περίπτωση όπου ο Τρύπιος είχε τέτοιας τάξης παροχή στην αρχαιότητα, θα δούμε ότι ο αγωγός δε μπορεί να γέμιζε πάνω από ύψος ενός εκατοστόμετρου.

Κλείνοντας λοιπόν το κεφάλαιο για την επιφανειακή έρευνα και συνοψίζοντας, από την εν λόγω έρευνα προέκυψαν τα εξής.

Εντοπίσαμε την περιοχή στην οποία βρίσκονταν η πηγή. Διαπιστώσαμε ότι το δίκτυο παίρνει διάφορες μορφές για να προσαρμοστεί καλύτερα στις συνθήκες των διαφορετικών σημείων από τα οποία περνάει. Έχουμε έτσι τρεις βασικές μορφές. Κοντά στην πηγή, έχουμε βαθύ (περί το 1,5 μ.) αγωγό σκεπασμένο με πλάκες. Στην περιοχή όπου ο αγωγός μπαίνει στο Βρούκαστρο, έχουμε (περίπου) τριγωνικής διατομής αγωγό σκαμμένο στο εσωτερικό του βράχου με μορφή σήραγγας δηλαδή. Και τέλος, κοντά στα τείχη και στο εσωτερικό της πόλης έχουμε και πάλι σκαμμένη στο βράχο αύλακα με κάλυψη από σχιστόπλακες, με αρκετά μικρότερες διαστάσεις όμως (περίπου 0,60 πλάτος x 0,75 ύψος). Δεν κατορθώσαμε ωστόσο να διασαφηνίσουμε τη χρησιμότητα της διπλής καμπής του αγωγού λίγο μετά την είσοδό του στα τείχη. Επίσης, δεν κατορθώσαμε να εξάγουμε χρονολογικές πληροφορίες σχετικές με το δίκτυο. Έχουμε αρκετά «μεγαλόπνοες» κατασκευές, όπως φάνηκε από τους πρόχειρους υπολογισμούς για τις δυνατότητες του αγωγού, και οι καλοδουλεμένες παρειές της σήραγγας, όσο μπορέσαμε να την εξετάσουμε, μας δελεάζουν να δώσουμε μια πρώιμη χρονολόγηση. Ωστόσο, αυτή είναι απλώς μια εντύπωση που μας δημιουργείται και δε βασίζεται σε θεμελιωμένα στοιχεία.

⁶⁰ Παγούνης – Γάκης, όπ. π., σ. 5.

Η ΚΡΗΝΗ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα επιχειρήσουμε να περιγράψουμε την κρήνη στην οποία φαίνεται πως κατέληγε ο προερχόμενος από τον Τρύπιο αγωγός. Θεωρούμε σκόπιμο να προχωρήσουμε σε μια τέτοια περιγραφή, καθώς η μορφή της παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες που εξεταζόμενες ίσως μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες τόσο χρονολογικής φύσεως όσο και μορφολογικές και πρακτικές, σχετικές δηλαδή με το πώς θα μπορούσαμε να αποκαταστήσουμε τη μορφή της και πώς θα λειτουργούσε. Διευκρινίζουμε ότι με τους όρους κρήνη και κρηναίο οικοδόμημα αναφερόμαστε εδώ (εκτός αν διευκρινίσουμε πως εννοούμε ένα συγκεκριμένο τμήμα) στο σύνολο της υπάρχουσας διάταξης με τη σκαμμένη στο βράχο δεξαμενή και με τη θεωρούμενη ως κρήνη κατασκευή.

Στις αρχές του 18ου αιώνα ο βοτανολόγος Joseph Pitton de Tournefort επισκέπτεται την Κύθνο· στις ταξιδιωτικές του εντυπώσεις που εκδίδει στο Παρίσι στα 1717, περιγράφει μεταξύ άλλων τον περίπατό του στο Βρυόκαστρο. Ιδού λοιπόν τι λέει για την κρήνη:

«[...] μεταξύ αυτών των ερειπίων, μπήκαμε σε τρεις ωραίες κοιλότητες σκαμμένες με τη σμίλη στο βράχο, επικαλυμμένες με κονίαμα για να εμποδίζει τα νερά της βροχής να εκρέουν από τις χαραμάδες [...]»⁶¹

Κάπως έτσι θα ξεκινούσαμε και εμείς την περιγραφή μας σήμερα. Πρόκειται για τρεις διαδρόμους σκαμμένους στο φυσικό βράχο που στο απώτερο άκρο τους τέμνονται και συνδέονται μέσω ενός τέταρτου (βλ. εικ. 47). Οι τρεις στοές έχουν μήκος περί τα 8 μ. και η εγκάρσια περί τα 7,50 μ. Τα ανοίγματα αυτά έχουν την όψη ισοσκελούς τριγώνου, του οποίου όμως οι δύο πλευρές πλην της βάσης δεν είναι ευθύγραμμα τμήματα, αλλά καμπύλες (βλ. εικ. 48 & 49). Έχουν δηλαδή τη μορφή τόξου που καταλήγει σε γωνία.

⁶¹ J. P. de Tournefort, op. cit., v. I p. 329 (μετ. δικ.). Παρόμοια είναι και η περιγραφή του Βάλληνδα (όπ.π).

Το πλάτος των τριών στοών ποικίλει από 1,80 μ. έως 2,50 μ., ενώ η εγκάρσια έχει πλάτος 1,70 μέτρα⁶². Είναι επιχρισμένες εσωτερικά με υδραυλικό κονίαμα. Στην πίσω πλευρά διακρίνονται ρωγματώσεις στο επίχρισμα και ίσως από κάπου εκεί εισέρχονταν το νερό στη δεξαμενή. Περίπου 6 μ. δυτικά της προσόψεως της δεξαμενής, σώζονται έξι όρθιες σχιστολιθικές πλάκες (ορθοστάτες;).

Η μορφή της σκαμμένης στο βράχο κρήνης φέρνει βέβαια άμεσα στο νου τις ρωμαϊκές κρήνες της Κορίνθου (ή και της Περαχώρας), ιδιαίτερα τη Γλαύκη⁶³. Έχουμε και εδώ τις τρεις στοές σκαμμένες στο βράχο, αν και με διαφορετική τελείως όψη. Η αρχιτεκτονική της Γλαύκης είναι «αρχαϊζουσα»· αν και ανάγεται στους ρωμαϊκούς χρόνους, προσπαθεί να «περάσει» για αρχαϊκή. Μήπως έχουμε ανάλογη περίπτωση και στην Κύθνο;

Κρήνη με τριμερή διάταξη, που μας θυμίζει πολύ εντονότερα αυτή της Κύθνου, έχουμε σε μια πόλη της Πισιδίας, τη Θερμεσσό⁶⁴. Έχουμε και πάλι τρεις διαδρόμους, οι οποίοι όμως αυτοί τη φορά έχουν τριγωνική απόληξη (βλ. εικ. 50). Εδώ ωστόσο οι διάδρομοι είναι χτιστοί. Πρόκειται για εύρημα των τελών του 19ου αιώνα που δεν έχει ανασκαφεί· έτσι δε γνωρίζουμε περισσότερα για τη μορφή του.

Κρήνη που να έχει στοά τέτοιου είδους με απόληξη ακριβώς ίδια με αυτή στην Κύθνο, οξυκόρυφου τόξου δηλαδή, έχουμε στην Παλιά Σμύρνη⁶⁵ (βλ. εικ. 51 & 52). Εδώ η κρήνη τοποθετείται από τους μελετητές στον 6ο π. Χ. αιώνα. Πρόκειται για μια στοά, χτιστή και πάλι, στο εσωτερικό της οποίας υπάρχει δεξαμενή άντλησης. Καθώς όμως στην Κύθνο δεν έχουμε

⁶² Α. Μαζαράκης-Αϊνιάν, ΠΑΕ 1995 σ. 191.

⁶³ B. H. Hill, *The Springs; Peirene, Sacred Spring, Glauke (Corinth I,VI)*, Princeton NJ 1964, pp. 200-228.

⁶⁴ C. Dorl-Klingelschmid, *Prunkbrunnen in kleinasiatischen Städten – Funktion im Kontext*, München 2001, S. 249-250.

K. G. Lanckoronski, *Städte Pamphylens und Pisidiens*, Wien 1892, B. II SS. 58-60.

⁶⁵ Dorl-Klingelschmid, op. cit., SS. 247-248.

E. Akurgal, *Alt-Smyrna I – Wohnsichten und Athenatempel*, Ankara 1983, S. 42.

M. Akurgal, "Ein früharchaisches Brunnenhaus in Alt-Smyrna", *InstMitt* 46 (1996), SS. 131-134.

ίχνη τέτοιων εγκάρσιων τοίχων εσωτερικά, μάλλον θα πρέπει να αποκλείσουμε την περίπτωση να λειτουργούσε και αυτή η κρήνη έτσι.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν κάποια πήλινα αντίγραφα κρηνών/νυμφαίων σε σπήλαια, τα οποία βρίσκονται σήμερα στο μουσείο του Reggio di Calabria⁶⁶ (βλ. εικ. 53). Και από αυτά μπορούμε να πάρουμε μερικές ιδέες για τη μορφή που θα πρέπει να είχε και η κρήνη της Κύθνου. Ρίχνοντας μια ματιά όμως στην τομή της κρήνης της Κύθνου (βλ. εικ. 54), διαπιστώνουμε ότι δε θα μπορούσαν οι όρθιες πλάκες, με την υψομετρική διαφορά που έχουν με τη δεξαμενή, να παίζουν τέτοιο ρόλο, να σχηματίζουν δηλαδή μια δεξαμενή άντλησης, ή μια δεξαμενή υπερχειλίσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως μπροστά από ή μέσα στις στοές θα πρέπει να υπήρχε κάποια διάταξη που να εμποδίζει το νερό να βγει έξω.

Πιστεύουμε λοιπόν ότι η κρήνη είτε είχε κάποια επιμαρμάρωση, είτε οι είσοδοι των στοών της ήταν χτισμένες. Προτείνουμε δύο ερμηνείες: είτε οι είσοδοι ήταν χτισμένες/καλυμμένες μέχρι την κορυφή και σε κάποιο ύψος υπήρχαν οχετόκρανα, είτε είχαν χαμηλότερα τοιχάρια ή παραπέτα, τα οποία σχημάτιζαν έτσι δεξαμενές άντλησης, όπου δηλαδή πλησίαζε κάποιος με το αγγείο του και το βύθιζε στο εσωτερικό μιας από αυτές. Μια υπόθεση που συνδυάζει και τις δύο προηγούμενες είναι χαμηλά τοιχάρια/παραπέτα που σχηματίζουν δεξαμενές υπερχειλίσης: κοντά στην ανώτερή τους επιφάνεια θα υπήρχαν ειδικά διαμορφωμένες προχοές ή οχετόκρανα και πάλι, απ' όπου θα μπορούσε κανείς να γεμίσει το αγγείο του.

Όσον αφορά τη στέγαση της κρήνης, θεωρούμε σχεδόν βέβαιο ότι υπήρχε. Βάσει της θέσης των σχιστολιθικών πλακών που περιγράψαμε παραπάνω, αλλά και σειράς δόμων που σώζεται γύρω στα 10 μ. δυτικά των πλακών, πιστεύουμε πως θα πρέπει η κρήνη της Κύθνου να στεγαζόταν με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που αποκαθιστούν οι μελετητές για την κρήνη Β στο Γυμνάσιον της Σικυώνος⁶⁷ (βλ. εικ. 55).

⁶⁶ N. Neuerburg, *L'architettura delle fontane e dei ninfei nell'Italia antica*, Napoli 1965, pp. 33-35.

⁶⁷ Βλ. μεταξύ άλλων:

F. Glaser, *Antike Brunnenbauten (Κρήναι) in Griechenland*, Wien 1983, pp. 52-54.

Διστάζουμε να συζητήσουμε τη χρονολόγηση της κρήνης. Το γεγονός ότι είναι σκαμμένη στο βράχο δίνει και εδώ μία εντύπωση αρχαιότητας, αλλά, όπως και με την περίπτωση της Γλαύκης που αναφέραμε προηγούμενα, δεν αποκλείεται να έχουμε να κάνουμε με ύστερη κατασκευή στην οποία δόθηκε επίτηδες η όψη παλαιότερου αρχιτεκτονήματος. Αν καταφύγουμε στο υδραγωγείο (και εννοούμε εδώ τον αγωγό, όπως είπαμε), η κατάσταση είναι ανάλογη. Έχουμε να κάνουμε με «βαριές» κατασκευές (ιδιαίτερα όσον αφορά τη σήραγγα), όμως αυτό δεν αρκεί από μόνο του για να βγάλουμε χρονολογικά συμπεράσματα. Δεν είναι άλλωστε βέβαιο ότι η κρήνη και ο αγωγός είναι σύγχρονα· θα μπορούσε ο αγωγός να προηγήθηκε της κρήνης και να παρείχε νερό σε κάποια άλλη ανάλογη κατασκευή. Στην εικόνα 56 βλέπουμε μια πρόταση αποκατάστασης του κρηναίου οικοδομήματος.

ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

Αν και οι υδατοδεξαμενές, δεκαοχτώ τον αριθμό, που έχουν εντοπιστεί στο Βρούκαστρο δεν έχουν άμεση σχέση με το κύριο θέμα της παρούσας εργασίας, τον αγωγό και την πορεία του δηλαδή, κρίνουμε αναγκαίο να αναφερθούμε σε αυτές, έστω και συνοπτικά και να παρουσιάσουμε κάποιες εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών που σχετίζονται με αυτές. Σε κάθε περίπτωση πάντως, κάθε άλλο παρά εξαντλητική μπορεί να είναι μια τέτοια παρουσίαση, καθώς η έρευνα δεν έχει κινηθεί πέρα από τον απλό εντοπισμό τους. Για μια ορθή μελέτη των δεξαμενών θα πρέπει να γίνει μεταξύ άλλων μια σειρά μετρήσεων και αποτυπώσεων σε όλες. Γενικότερα, μπορούμε να πούμε ότι οι υδατοδεξαμενές μπορούν να αποτελέσουν άνετα το αντικείμενο μιας ξεχωριστήςπραγματείας από μόνες τους.

Κατά τη διάρκεια των επιφανειακών ερευνών που διεξήχθησαν το πρώτο ήμισυ της δεκαετίας του 1990, εντοπίστηκαν δεκαεπτά υδατοδεξαμενές. Μία ακόμη εντοπίστηκε από το γράφοντα το καλοκαίρι του 2009. Η θέση των δεξαμενών αυτών, με τη συμβατική αρίθμηση που δώσαμε για τις ανάγκες αυτής της εργασίας, παρουσιάζεται στο Χάρτη 12.

Οι δεξαμενές αυτές έχουν όλες παρόμοια γενική μορφή. Έχουν κυκλικό στόμιο και είναι είτε απιόσχημες, είτε φιαλόσχημες —για να διαφοροποιήσουμε ανάμεσα στους δύο τύπους πρέπει μεταξύ άλλων να ξέρουμε τη μορφή του πυθμένα, μια πληροφορία που δεν έχουμε, μιας και οι δεξαμενές δεν έχουν καθαριστεί ή/και αποτυπωθεί. Από τις δεξαμενές αυτές πρέπει να ξεχωρίσουμε τη δεξαμενή υπ' αριθμόν 17, η οποία βρίσκεται στην περιοχή του αρχαίου λιμανιού και η οποία έχει καταστραφεί λόγω της κατολίπησης μεγάλων τεμαχών βράχων στη δυτική ακτή. Για αυτή γνωρίζουμε μόνο το σχήμα του στομίου, κυκλικό και πάλι (βλ. εικ. 57), αλλά μπορούμε να πιθανολογήσουμε με αρκετή ασφάλεια ότι θα έχει ανάλογη μορφή με τις υπόλοιπες.

Κάτι που θα πρέπει να επισημάνουμε, επίσης, είναι ότι αρκετές από τις δεξαμενές δεν είναι σκαμμένες σε σχιστόλιθο, όπως θα περιμέναμε, μιας

και οι σχιστόλιθοι είναι γενικά υδατοστεγανά πετρώματα, αλλά σε μάρμαρο, μικρές φλέβες από το οποίο υπάρχουν σε διάφορα σημεία της αρχαίας πόλης. Επίσης, φαίνεται πως οι πιο πολλές είναι επενδεδυμένες με υδραυλικό κονίαμα.

Από τις δεκαοκτώ δεξαμενές οι οποίες έχουν εντοπιστεί, αρκετές έχουν ακόμη νερό (βλ. π.χ. εικ. 58), το οποίο είτε κατασταλάζει στο εσωτερικό τους με φυσικές διαδικασίες, είτε με αρχαίες διατάξεις, είτε με (σύγχρονη) ανθρώπινη παρέμβαση —κάποιες από τις δεξαμενές χρησιμοποιούνται ακόμα από τους αγρότες της περιοχής.

Επιχειρήσαμε να δούμε αν υπάρχει κάποιο μοτίβο πίσω από το ποιες δεξαμενές έχουν ακόμη νερό και ποιες όχι. Με τη χρήση της διαδικασίας που είναι γνωστή ως Υποβολή Ερωτημάτων με Προϋποθέσεις (Conditional Querying)⁶⁸, με τη χρήση λογικών τελεστών περιορίσαμε τον αριθμό των εμφανιζόμενων στο χάρτη δεξαμενών, διατηρώντας μόνο τις δεξαμενές που έχουν ακόμη νερό. Στο Χάρτη 13 μπορεί κανείς να δει το αποτέλεσμα αυτής της πράξης: με πράσινο χρώμα σημειώνονται οι δεξαμενές που έχουν και τώρα νερό, ενώ με κόκκινο αυτές που δεν έχουν. Με γαλάζιο χρώμα είναι σημειωμένες οι δεξαμενές στις οποίες δε μπορέσαμε να έχουμε πρόσβαση, συνήθως γιατί οι αγρότες που τις χρησιμοποιούν τις κλείνουν με κατασκευές με κλειδαριές. Μπορούμε λοιπόν να υποθέσουμε ότι μάλλον οι περισσότερες από αυτές έχουν και σήμερα νερό.

Εκ πρώτης όψεως δε φαίνεται να υπάρχει κάποιο μοτίβο που να συνδέεται με το ποιες δεξαμενές έχουν νερό και ποιες όχι. Αν σε μεταγενέστερη φάση της έρευνας αποκτήσουμε περισσότερες πληροφορίες για τη μορφή τους, τότε θα μπορούσαμε να δοκιμάσουμε αντίστοιχες εφαρμογές conditional querying που να έχουν να κάνουν με τη χωρητικότητά τους και με άλλα στοιχεία.

Μια άλλη εφαρμογή γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών που θελήσαμε να δοκιμάσουμε με τις υδατοδεξαμενές ήταν τα λεγόμενα πολύγωνα Thiessen/Voronoi⁶⁹. Τα πολύγωνα Thiessen/Voronoi

⁶⁸ Βλ. σχετικά J. Albrecht, *Key concepts & techniques in GIS*, London 2007, pp. 22-23.

⁶⁹ Βλ. μεταξύ άλλων:

χρησιμοποιούνται συχνά για αρχαιολογικές εφαρμογές ανάλυσης γειτνίασης και υπολογιστικού εντοπισμού νέων θέσεων⁷⁰. Με βάση το σημειακό shapefile των υδατοδεξαμενών, δημιουργήσαμε ένα καινούριο με πολύγωνα, χρησιμοποιώντας την εντολή “Create Thiessen Polygons” που ανήκει στην ομάδα εργαλείων Proximity Analysis (ανάλυση γειτνίασης) του υποσυστήματος ArcToolbox του πακέτου ArcGIS. Τα πολύγωνα Thiessen/Voronoi μοιράζουν μια συγκεκριμένη επιφάνεια με τον εξής τρόπο: κάθε μέρος της επιφάνειας αντιστοιχίζεται στο πιο κοντινό σημείο του σημειακού layer. Αυτό δηλαδή που βλέπουμε ουσιαστικά στους Χάρτες 14 και 15 είναι οι περιοχές που θα εξυπηρετούνταν από την κάθε υδατοδεξαμενή. Φυσικά μια τέτοια ανάλυση σε αυτό το σημείο της έρευνας, χωρίς να γνωρίζουμε ούτε καν τη χωρητικότητα κάθε δεξαμενής, είναι μάλλον ενδεικτική. Δεν παύει ωστόσο να έχει ένα ενδιαφέρον, μπορούμε μάλιστα συναγωγικά να πούμε πως όσο μικρότερο είναι ένα πολύγωνο, τόσο πυκνότερη θα ήταν η κατοίκηση σε αυτό. Στους Χάρτες 16 και 17, με τη χρήση της εντολής Path Distance Allocation της κατηγορίας εργαλείων Spatial Analysis του ArcToolbox, έχουμε διορθώσει τα πολύγωνα αυτά λαμβάνοντας υπ’ όψη και το ανάγλυφο, για να υπολογιστεί η πραγματική απόσταση. Προχωρώντας ένα βήμα παραπέρα, στο Χάρτη 18 έχουμε συνυπολογίσει και την κλίση του εδάφους —κάποιος δηλαδή θα προτιμήσει να πάει στη δεξαμενή που είναι λίγα μέτρα μακρύτερα, γιατί δεν είναι τόσο απότομη η ανηφόρα. Για να το κάνουμε αυτό, από το TIN που είχαμε δημιουργήσει, χρησιμοποιώντας την εντολή Convert TIN to Raster δημιουργήσαμε ένα νέο αρχείο grid, το οποίο όμως δεν έχει ως τιμές στα εικονοστοιχεία του το υψόμετρο του σημείου, αλλά την ποσοστιαία κλίση του εδάφους σε εκείνο το σημείο⁷¹. Το grid αυτό το χρησιμοποιήσαμε

P. A. Burrough & R. A. McDonnell, *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford 1998, pp. 114-117.

M. N. Deuers, *Fundamentals of Geographical Information Systems*, New York 2000², pp. 305-307.

C. M. Gold, P. R. Rammele, T. Roos, “Voronoi Methods in GIS”, in M. van Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos, P. Widmayer (eds.), *Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*, Berlin 1997, pp. 21-36.

⁷⁰ Βλ. σχετικά D. Wheatley, M. Gillings, *op. cit.*, pp. 149-151.

⁷¹ Βλ. σχετικά και Κ. Κουτσόπουλος, Ν. Ανδρουλακάκης, *όπ. π.*, σσ. 272-279.

ως grid που αποδίδει το κόστος της κίνησης στο συγκεκριμένο τμήμα εδάφους, και ξανακάναμε τον υπολογισμό Path Distance Allocation. Σε αντίθεση με την προηγούμενη διόρθωση, αυτή επιφέρει αισθητά αποτελέσματα.

Πρέπει πάντως να διευκρινίσουμε ότι τα εν λόγω πολύγωνα θα πλησιάζουν στην πραγματικότητα μόνο αν οι δεξαμενές έχουν όλες την ίδια χωρητικότητα, κάτι που είναι μάλλον απίθανο. Πρέπει η ανάλυση να ξαναγίνει αν αποκτήσουμε νέα δεδομένα και να τα συνυπολογίσει για να είναι ακριβέστερη.

Στο χάρτη 19 τέλος, δίνουμε την εκτιμώμενη σχετική πυκνότητα του πληθυσμού σε κάθε πολύγωνο, βασιζόμενοι όπως είπαμε προηγουμένως στο εμβαδόν κάθε πολυγώνου. Αν γνωρίζαμε τη χωρητικότητα κάθε δεξαμενής, θα μπορούσαμε να συνάγουμε το μέσο αριθμό νοικοκυριών που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει (και άρα θα ζούσαν στο αντίστοιχο πολύγωνο) και να έχουμε ακριβέστερα αποτελέσματα και μάλιστα με συγκεκριμένους αριθμούς και όχι απλώς σχετικά, όπως έχουμε εδώ. Σε μια ενδελεχέστερη μελέτη επίσης θα μπορούσαν να εξαιρεθούν οι δεξαμενές που θα προορίζονταν για βιοτεχνική ή δημόσια λειτουργία (π.χ. η υδατοδεξαμενή 1 πρέπει να ανήκει στα κοντινά ιερά), ή θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε τις συστάδες δεξαμενών (π.χ. τις δεξαμενές 11, 12 & 13) ως ενιαίες μονάδες.

ΕΠΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Όπως κατέστη εμφανές από τα ως τώρα ειπωθέντα, επιχειρήσαμε μία πρώτη μελέτη ορισμένων όψεων της ύδρευσης της αρχαίας πόλεως της Κύθνου. Η μελέτη αυτή δε μπορεί σε καμία περίπτωση να θεωρηθεί εξαντλητική· βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα επιφανειακά, τόσο από τις επιφανειακές έρευνες της εξαετίας 1990-1995, οι οποίες όμως είχαν περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό μέσα στα όρια της αρχαίας πόλης και των νεκροταφείων της χωρίς να επεκταθούν στον απέναντι όγκο του Τρύπιου, όσο και από μικρής κλίμακας επιφανειακές έρευνες του γράφοντος. Παραθέτουμε λοιπόν στη συνέχεια μια σειρά δράσεων που θα πρέπει να επιχειρηθούν στη συνέχεια της έρευνας.

Είναι αναγκαίο να μελετηθούν οι υδατοδεξαμενές μία-μία ξεχωριστά, όπου αυτό είναι δυνατό. Θα πρέπει να γίνουν μετρήσεις και αποτυπώσεις κάθε υδατοδεξαμενής. Επίσης θα πρέπει να καθαριστούν/ανασκαφούν οι δεξαμενές που έχουν γεμίσει με μπάζα για να αποσαφηνιστεί η ακριβής μορφή τους (π.χ. η ύπαρξη ή μη λάκκου καθίζησης στον πυθμένα τους), εν μέρει και για να εξεταστούν χρονολογικά κριτήρια, καθώς και η πιθανή επικοινωνία δύο ή περισσότερων εξ αυτών με αγωγούς —είτε αυτές ανήκουν στην ίδια «συστάδα», είτε όχι. Στη συνέχεια θα μπορέσουμε να μελετήσουμε αποδοτικότερα την κατανομή τους στο χώρο: σε ποια σημεία υπάρχουν μεγαλύτερες δεξαμενές, αν υπάρχει κάποιο μοτίβο στη σειρά κατασκευής τους, αν δηλαδή πιθανόν υπάρχει μια περιοχή με παλαιότερες υδατοδεξαμενές που μπορεί να σχετίζεται με τους πρώτους πυρήνες κατοίκησης του Βρυοκάστρου, αν η ύπαρξη συστάδων δύο ή τριών δεξαμενών, ή αντίστοιχα οι μεγάλες δεξαμενές, μπορούν να συσχετιστούν με χώρους βιοτεχνικής δραστηριότητας —το τελευταίο και σε συνδυασμό με τα κινητά ευρήματα των επιφανειακών ερευνών.

Θα πρέπει επίσης οι περιοχές που έχουν υποδειχθεί από την Ανάλυση Συμφορότερης Διαδρομής να σαρωθούν εκ νέου προσεκτικότερα και να υπολογιστούν μεγαλύτερα buffers (ζώνες προς εξέταση), ιδιαίτερα στα τμήματα που γνωρίζουμε ή έχουμε ενδείξεις ότι ο αγωγός είναι σκαμμένος

εξ ολοκλήρου μέσα στο βράχο και μπορεί να ξεφεύγει αρκετά από την προβλεπόμενη διαδρομή λόγω μικρότερης εξάρτησης από το ανάγλυφο.

Σκόπιμο θα ήταν να εξεταστούν διεξοδικότερα τα ήδη επισημανθέντα σημεία του δικτύου, ιδιαίτερα αυτά των οποίων οι διαστάσεις επιτρέπουν την είσοδο και τη διάσχιση. Εναλλακτικά, ο αγωγός θα μπορούσε να ερευνηθεί περαιτέρω με τεχνικά μέσα.

Θα πρέπει να εξεταστεί η πιθανότητα η πόλη να υδρεύονταν από περισσότερες από μία πηγές. Προσφορότερη προς τέτοια μελέτη φαίνεται να είναι η πηγή του Πύργου, του όγκου που κείται βόρεια του Τρύπιου και βορειοανατολικά του Βρυοκάστρου, η οποία χρησιμοποιείται και σήμερα, κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς⁷², ενώ παλαιότερα στη θέση της λειτουργούσε πλυσταριό⁷³. Θα πρέπει να εντοπισθεί η εν λόγω πηγή και, εφ' όσον βρίσκεται σε ανώτερο υψόμετρο από την κρήνη και την απόληξη του αγωγού, να προσδιοριστούν με τη χρήση άλγεβρας χαρτών τα σημεία των οποίων το υψόμετρο είναι εντός των αποδεκτών ορίων για να περνά ο αγωγός, να γίνουν εκ νέου υπολογισμοί συμφορότερης διαδρομής και να δημιουργηθούν ζώνες προς έρευνα (buffers), οι οποίες και θα ερευνηθούν επιφανειακά. Θα άξιζε επίσης τον κόπο να δοκιμαστεί η χρήση τεχνικών γεωφυσικής επισκόπησης, τόσο σε σχέση με την πιθανότητα ύπαρξης εναλλακτικής πηγής, όσο και για των περαιτέρω εντοπισμό τμημάτων του αγωγού στο Βρυόκαστρο και τον Τρύπιο.

Σχετικά με τη χρήση του αναπτυχθέντος Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών και τις εφαρμογές των αλγορίθμων συμφορότερης διαδρομής θα μπορούσαμε να προσθέσουμε τα εξής: θα ήταν σκόπιμο να μελετηθεί καλύτερα το ανάγλυφο και να γίνουν προσπάθειες να «αποκατασταθεί» η εικόνα που θα υπήρχε στην αρχαιότητα. Η διάνοιξη δρόμων —τόσο του δρόμου προς τον οικισμό της Επισκοπής, όσο και του δρόμου που συνδέει τη Χώρα της Κύθνου με το λιμάνι του Μέρικα— έχει επηρεάσει σημαντικά το ανάγλυφο της υπό μελέτη περιοχής και έχει σίγουρα καταστρέψει και τμήματα του δικτύου. Η ηλεκτρονική αυτή «αποκατάσταση» θα μπορούσε

⁷² Μ. Παγούνης, Αχ. Γάκης, *όπ. π.*, σ. 5.

⁷³ *Όπ. π.*, σχ. 1.

Α. Γούναρης, *όπ. π.*, σσ. 17-18.

να γίνει με τη χρήση παλαιότερων της διάνοιξης αεροφωτογραφιών, εφόσον αυτές υπάρχουν. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει και με τη διενέργεια επί τόπου μετρήσεων να εκτιμηθεί το μέγεθος της αλλοίωσης για να επιχειρηθεί η εν λόγω διόρθωση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους ώστε να αντικατοπτρίζουν την κατάσταση που θα πρέπει να υπήρχε όταν κατασκευάστηκαν οι αγωγοί.

Δε θα θεωρούσαμε άσκοπο να γίνουν αναλύσεις των κονιαμάτων με τα οποία έχουν επιχριστεί τόσο η δεξαμενή της κρήνης, όσο και οι υπόλοιπες υδατοδεξαμενές του Βρυοκάστρου. Ίσως με αυτό τον τρόπο μπορέσουμε και πάλι να πάρουμε κάποια πληροφορία με χωρικές προεκτάσεις, επί παραδείγματι πως μια συγκεκριμένη συστάδα δεξαμενών είναι επιχρισμένη με ένα συγκεκριμένο τύπο κονιάματος, ενώ μια άλλη με κάποιο άλλο, και ούτω καθ' εξής. Ας μην ξεχνούμε άλλωστε ότι τα κονιάματα δύνανται να χρονολογηθούν και με φυσικοχημικές διαδικασίες. Και ενώ η μέθοδος της οπτικά διαγειρόμενης φωταύγειας (Optically Stimulated Luminescence) δε θα μας έδινε ικανοποιητικής ακρίβειας αποτελέσματα⁷⁴, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι όταν τα κονιάματα στεγνώνουν προσλαμβάνουν διοξειδίο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Ο άνθρακας που προσλαμβάνεται με αυτό τον τρόπο, και ο οποίος αντικατοπτρίζει το χρόνο κατά τον οποίο το κονίαμα δημιουργήθηκε/στέγνωσε, μπορεί να υποβληθεί σε χρονολόγηση⁷⁵ με τη μέθοδο του ¹⁴C. Η χρησιμότητα μιας τέτοιας ανάλυσης βέβαια δέον

⁷⁴ Βλ. Ι. Λυριτζής, *Φυσικές Επιστήμες στην Αρχαιολογία*, Αθήνα 2005, σσ. 344-347.

⁷⁵ Βλ. σχετικά R. L. Folk, S. Valastro, Jr., "Technique for Dating of Lime Mortar by Carbon-14", *Journal of Field Archaeology* 3.2 (1976), pp. 203-208.

J. Labeyrie, G. Delibrias, "Dating of Old Mortars by the Carbon-14 Method", *Nature* 201 (15/02/1964), p. 742.

Και παραδείγματα εφαρμογών:

J. P. Matthews, "Radiocarbon Dating of Architectural Mortar: A Case Study in the Maya Region, Quintana Roo, Mexico", *Journal of Field Archaeology* 28.3/4 (2001), pp. 395-400.

C. Malone, S. Valastro Jr., A. G. Varela, "Carbon-14 Chronology of Mortar from Excavations in the Medieval Church of Saint-Bénigne, Dijon, France", *Journal of Field Archaeology* 7.3 (1980), pp. 329-343.

N. Zouridakis, J. F. Saliege, A. Person, S. E. Filippakis, "Radiocarbon Dating of Mortars from Ancient Greek Palaces", *Archaeometry* 29.1(1987), pp. 60-68.

είναι να εκτιμηθεί σε σχέση με την ακρίβεια που μας δίνουν οι καμπύλες βαθμονόμησης της μεθόδου για τη χρονική περίοδο στην οποία εκτιμούμε ότι ανάγονται οι εν λόγω κατασκευές. Δε θα πρέπει βέβαια να παραβλέψουμε την πιθανότητα τα υπάρχοντα κονιάματα να μη συνδέονται με την πρώτη φάση κατασκευής και χρήσης των κατασκευών, αλλά να έχουν εφαρμοστεί ή αντικατασταθεί σε μεταγενέστερη φάση.

Ένα ζήτημα που δε θίξαμε καθόλου σε αυτή την εργασία είναι η περίπτωση ύπαρξης εσωτερικού υδρευτικού δικτύου στην πόλη, η πιθανότητα δηλαδή ύπαρξης και άλλων κρηνών ή σχετικών με το νερό αρχιτεκτονημάτων, τα οποία δεν έχουν εντοπιστεί ακόμα και τα οποία θα τροφοδοτούνταν είτε απευθείας από κάποια διακλάδωση του κεντρικού αγωγού, είτε από κάποια δεξαμενή συγκέντρωσης. Θα είναι χρήσιμο να εξεταστεί αυτή η πιθανότητα, καθώς και η περίπτωση ο αγωγός να μην καταλήγει απευθείας στην κρήνη αλλά σε κάποια από τις δεξαμενές (ή σε κάποια ομάδα δεξαμενών), η οποία θα λειτουργούσε ως δεξαμενή συγκέντρωσης και διανομής του νερού.

Αν περαιτέρω έρευνα μας δώσει αρκετά τμήματα αγωγού/αγωγών και αυτά σχηματίζουν μεταξύ τους δίκτυο, μπορούν να γίνουν εφαρμογές Ανάλυσης Δικτύων (Network Analysis) με το αναπτυχθέν Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Σε αυτή την εργασία δε θίξαμε καθόλου αυτό το ζήτημα, καθώς δεν είχαμε ευρήματα που να μας επιτρέπουν να επιχειρήσουμε τέτοιες αναλύσεις.

Τα ήδη επισημανθέντα τμήματα του αγωγού πάντως, τουλάχιστον αυτά εντός των τειχών και όσα βρίσκονται στην περιοχή του νότιου νεκροταφείου, καλό θα ήταν σε μεταγενέστερη φάση να καθαριστούν και να απαλλαχθούν από σύγχρονες ξερολιθιές που πατούν πάνω τους, αν αυτό δε δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον έδαφος. Χρήσιμο επίσης θα ήταν τα τμήματα αυτά να τοπογραφηθούν λεπτομερώς, καθώς έχουν τοποθετηθεί στο τοπογραφικό του 1993 εκ των υστέρων με το χέρι. Επιπλέον, με την τοπογράφησή τους θα μπορέσουμε να πάρουμε και ακριβέστερα υψομετρικά δεδομένα.

Περαιτέρω έρευνας χρήζει, τέλος, και η ίδια η περιοχή στην οποία τοποθετείται η πηγή στον Τρύπιο. Θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί η μορφή

της σύγχρονης δεξαμενής άντλησης ύδατος που διανοίχτηκε εκεί πριν λίγα χρόνια και το κατά πόσον αυτή μπορεί να πληρώνεται από τον υδροφόρο ορίζοντα, καθώς και η πιθανότητα να αποτελεί ή να έχει καταστρέψει μέρος αρχαίας εγκατάστασης υδροληψίας/υδρομάστευσης.

ΕΝ ΚΑΤΑΚΛΕΙΔΙ

Σε αυτή την εργασία κινηθήκαμε σε δύο άξονες. Επιχειρήσαμε από τη μία να ασχοληθούμε με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και τη χωρική ανάλυση και τις εφαρμογές που αυτά μπορούν να έχουν στην Αρχαιολογία. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε τις νέες αυτές τεχνολογίες στη μελέτη της αρχαίας τεχνολογίας. Προσπαθήσαμε και επιτύχαμε εν μέρει να προβλέψουμε την πορεία του αγωγού που τροφοδοτούσε την πόλη και δοκιμάσαμε να αξιοποιήσουμε κάποια ειδικά εργαλεία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών για να κάνουμε κάποιες προκαταρκτικές παρατηρήσεις σχετικά με τη μορφή που μπορεί να είχε η πόλη: προτείναμε δηλαδή ότι τα πολύγωνα Thiessen που προέκυψαν από τις υδατοδεξαμενές μπορούν να μας δώσουν πληροφορίες για την πυκνότητα της κατοίκησης στα διάφορα σημεία της πόλης. Προφανώς βέβαια για να είναι αξιόπιστη μια τέτοια προσέγγιση θα πρέπει να συνυπολογίσει τη χωρητικότητα κάθε δεξαμενής (και άλλες τεχνικές λεπτομέρειες), την περίπτωση διεξαγωγής βιοτεχνικών δραστηριοτήτων κ.ά. Εμείς εδώ απλώς προτείναμε τη μέθοδο.

Από την άλλη, επιχειρήσαμε μια πιο παραδοσιακή έρευνα και μελέτη ορισμένων στοιχείων του δικτύου. Χρησιμοποιήσαμε την επιφανειακή έρευνα για να επαληθεύσουμε τους υπολογισμούς μας αλλά και για να αντλήσουμε περαιτέρω στοιχεία για τη μορφή του δικτύου. Επίσης, προσπαθήσαμε να δούμε την κρήνη στην οποία κατέληγε το δίκτυο και να την εντάξουμε τόσο στο περιβάλλον της, όσο και στο ευρύτερο περιβάλλον της Μεσογείου. Προσπαθήσαμε ανεπιτυχώς να εξάγουμε χρονολογικά στοιχεία, τόσο από το δίκτυο, όσο και από την κρήνη, καθώς τα χαρακτηριστικά τους είναι αρκετά αντικρουόμενα. Προτείναμε όμως την πιθανότητα χρήσης φυσικοχημικών μεθόδων για αυτή τη δουλειά, για να πάρουμε τουλάχιστο μια γενική κατεύθυνση.

Φαίνεται πως τελικά το παρόν πόνημα περισσότερα καινούρια ερωτήματα δημιούργησε/έθεσε, παρά απάντησε. Πρότεινε όμως νέες μεθόδους για την επίλυση των προβλημάτων της αρχαιολογίας. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και η Χωρική Ανάλυση

χρησιμοποιούνται για αρκετά χρόνια στην αρχαιολογία. Τα μοντέλα πρόβλεψης δεν είναι κάτι καινούριο, ούτε και η χρήση των αλγορίθμων συμφορότερης διαδρομής. Η καινοτομία που εισάγαμε ήταν ωστόσο η χρήση των εν λόγω αλγορίθμων για τη μελέτη ενός αρχαίου υδραγωγείου. Υπάρχουν βέβαια μελέτες αρχαιολογικού περιεχομένου που τους χρησιμοποιούν για τη χάραξη πιθανών διαδρομών μονοπατιών και για την πρόβλεψη νέων αρχαιολογικών θέσεων. Κατά την έρευνά μας ωστόσο, δεν εντοπίσαμε άλλη εργασία που να τους έχει χρησιμοποιήσει για την πρόβλεψη της διαδρομής ενός αγωγού.

Είναι αλήθεια ότι και ο γράφων αποθαρρύνθηκε κάποια στιγμή, καθώς οι παλαιότερες εκδόσεις του ArcGIS δεν είχαν τη δυνατότητα να συνυπολογίσει κανείς με εύκολο τρόπο την ανωφέρεια και την κατωφέρεια στις διαδρομές και να αποκλείσει τη μία από τις δύο κατευθύνσεις. Σε εκείνη τη φάση της εργασίας χρονολογείται και ένα πρόγραμμα που ξεκινήσαμε να αναπτύσσουμε στη γλώσσα προγραμματισμού C, το οποίο θα έπαιρνε τα grids του ArcGIS σε μορφή ASCII (το ArcGIS δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής) και τα ζεύγη συντεταγμένων της αφετηρίας & του τερματισμού και θα υπολόγιζε τη συμφορότερη διαδρομή. Από το πρόγραμμα υπάρχει μόνο μισογραμμένη η ρουτίνα εισαγωγής του αρχείου ASCII σε array, καθώς ήλθε στα χέρια μας η δοκιμαστική έκδοση του ArcGIS 9.3 που έδινε εύκολα τη δυνατότητα που θέλαμε. Στο παράρτημα παρατίθεται για ιστορικούς λόγους το πρώτο διάγραμμα που περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργούσε το πρόγραμμα εκείνο.

Με τη χρήση των Παραμέτρων Κατακόρυφου Συντελεστή τα πράγματα ήταν τώρα (λιγάκι) πιο απλά. Μπορεί το γεγονός ότι το δίκτυο περνά από σήραγγες σε κάποια (μεγάλα;) τμήματά του να μας έβγαλε λίγο έξω στους υπολογισμούς, όμως επιτύχαμε τον πρωταρχικό μας στόχο, που ήταν να προτείνουμε και να εφαρμόσουμε την εν λόγω μέθοδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ⁷⁶

- G. Achilleos, “Errors within the Inverse Distance Weighed (IDW) interpolation procedure”, *Geocarto International* 23.6 (12/2008), pp. 429-449.
- E. Akurgal, *Alt-Smyrna I – Wohnsichten und Athenatempel*, Ankara 1983.
- M. Akurgal, “Ein früharchaisches Brunnenhaus in Alt-Smyrna”, *InstMitt* 46 (1996), SS. 131-134.
- J. Albrecht, *Key concepts & techniques in GIS*, London 2007.
- J. C. Antennuci, K. Brown, P. Croswell, M. J. Kevany, H. Archer, *Geographic Information Systems: A Guide to the technology*, New York – London 1991.
- Α. Βάλληνδασ, *Κυθνιακά: ἤτοι τῆς νήσου Κύθου χωρογραφία καὶ ἱστορία μετὰ τοῦ βίου τῶν συγχρόνων Κυθνίων ἐν ᾧ ἤθη καὶ ἔθη καὶ γλώσσα καὶ γένη κλπ.*, Ἑρμούπολη 1882.
- J. T. Bent, *The Cyclades; or, Life Among the Insular Greeks*, London 1885.
- M. de Berg, “Visualization of TINs” in M. van Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos, P. Widmayer (eds.), *Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*, Berlin 1997, pp. 79-88.
- W. Brinker, *Wasserspreicherung in Zisternen – ein Beitrag zur Frage der Wasserversorgung früher Städte*, Braunschweig 1990.
- L. M. Bugayevskiy, J. P. Snyder, *Map projections; a Reference Manual*, London – Philadelphia 1995.
- P. A. Burrough & R. A. McDonnel, *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford 1998.
- A. S. Bury, “Raster to vector conversion: a methodology” in *GIS/LIS '89: Proceedings*, Orlando 1989, v. 1 pp. 9-11.

⁷⁶ Έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ (με φειδώ) οι καθιερωμένες στην Ελλάδα συντομογραφίες τίτλων περιοδικών.

- E. Χαραλάμπους, «Κονιάματα: Ιστορική αναδρομή στην εφαρμογή τους, προσέγγιση προβλημάτων συντήρησης και δημιουργία τράπεζας δεδομένων», *RDAC* 2007, σσ. 307-326.
- Ό. Χατζηαναστασίου, “Σημειώσεις για την Κύθνο” στο Λ. Μενδώνη, Α. Μαζαράκης Αινιάν (επ.), *Κέα – Κύθνος: Ιστορία και Αρχαιολογία*, Αθήνα 1998, σσ. 259-273.
- K. C. Clarke, "Advances in geographic information systems" *Computers, Environment and Urban Systems* 10.3/4 (1986), pp. 175-186.
- D. P. Crouch, *Water Management in Ancient Greek Cities*, New York – Oxford 1993.
- J. L. Davis, "Review of Aegean Prehistory I: The Islands of the Aegean", *AJA* 96.4 (06/1992), pp. 699-756
- M. Δ. Δερμιτζάκης, Σ. Π. Λέκκας, *Διερευνώντας τη Γη – Εισαγωγή στη γενική γεωλογία*, Αθήνα 1990².
- M. N. Deuers, *Fundamentals of Geographical Information Systems*, New York 2000².
- C. Dorl-Klingelschmid, *Prunkbrunnen in kleinasiatischen Städten – Funktion im Kontext*, München 2001.
- R. L. Folk, S. Valastro, Jr., “Technique for Dating of Lime Mortar by Carbon-14”, *Journal of Field Archaeology* 3.2 (1976), pp. 203-208.
- R. Ginouves, *Dictionnaire méthodique de l’ architecture grecque et romaine*, Athènes – Rome 1992, v. II, p. 41, s.v. Regard.
- C. M. Gold, P. R. Rammele, T. Roos, “Voronoi Methods in GIS”, in M. van Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos, P. Widmayer (eds.), *Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*, Berlin 1997, pp. 21-36.
- F. Glaser, *Antike Brunnenbauten (Κρήνοι) in Griechenland*, Wien 1983.
- Ά. Γούναρης, *Ἡ Κύθνος· Γεωγραφία – Ἱστορία – Ἡθῆ – Ἔθιμα*, Ἀθήναι 1938.

- J. L. Greenberg, *The problem of the earth's shape from Newton to Clairaut; the rise of mathematical science in eighteenth-century Paris and the fall of "normal" science*, Cambridge 1995.
- H. Hauttecoeur, "L' île de Kythnos (Thermia)", *Bulletin de la Société Royale Belge de Géographie* 21 (1897), pp. 417-447.
- F. M. Henderson, *Open channel flow*, New York – London 1996.
- I. Heywood, S. Cornelius, J. Carver, *An Introduction to Geographical Information Systems*, New York 1998.
- B. H. Hill, *The Springs; Peirene, Sacred Spring, Glauke (Corinth I,VI)*, Princeton NJ 1964.
- K. Honea, "Archaeological Notes – Prehistoric Remains on the Island of Kythnos", *AJA* 79.3 (06/1975), pp. 277-279.
- G. L. Hosmer, *Geodesy; including astronomical observations, gravity, measurements and method of least squares*, New York 1919.
- U. Kamp, T. Bolch, J. Olsenhaller, "Geomorphology of Cerro Sillajhuaj (Andes, Chile/Bolivia): Comparison of Digital Elevation Models (DEMs) from ASTER Remote Sensing Data and Contour Maps", *Geocarto International* 20.1 (2005), pp. 23-33.
- M. Katsianis, S. Tshipidis, K. Kotsakis, A. Kousoulakou, "A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS", *Journal of Archaeological Science* 35.3 (03/2008), pp. 655-667
- M. Keiter, F. Tomaschek, C. Ballhaus, "The structural evolution of Kythnos Island (Cyclades, Greece) – a reconnaissance", *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften* 159.3 (Sept. 2008), pp. 513-520.
- G. B. Korte, *The GIS Book*, Santa Fe NM 1997⁴.
- K. Κουτσόπουλος, *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*, Αθήνα 2002.

- K. Κουτσόπουλος, Ν. Ανδρουλακάκης, *Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS*, Αθήνα 2003.
- M. van Kreveld, “Digital Elevation Models and TIN algorithms” in M. van Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos, P. Widmayer (eds.), *Algorithmic Foundations of Geographical Information Systems*, Berlin 1997, pp. 37-78.
- J. Labeyrie, G. Delibrias, “Dating of Old Mortars by the Carbon-14 Method”, *Nature* 201 (15/02/1964), p. 742.
- K. G. Lanckoronski, *Städte Pamphyliens und Pisidiens*, Wien 1892, B. II SS. 58-60.
- R. Laurini, D. Thompson, *Fundamentals of Spatial Information Systems*, London 1992.
- U. Lieberwirth, “Voxel-based 3D GIS: modeling and analysis of archaeological stratigraphy” in B. Frischer, A. Dakouri-Hild (eds.), *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for discovery in archaeology*, Oxford 2008, pp. 85-94.
- I. Λυριτζής, *Φυσικές Επιστήμες στην Αρχαιολογία*, Αθήνα 2005.
- C. Malone, S. Valastro Jr., A. G. Varela, “Carbon-14 Chronology of Mortar from Excavations in the Medieval Church of Saint-Bénigne, Dijon, France”, *Journal of Field Archaeology* 7.3 (1980), pp. 329-343.
- J. P. Matthews, “Radiocarbon Dating of Architectural Mortar: A Case Study in the Maya Region, Quintana Roo, Mexico”, *Journal of Field Archaeology* 28.3/4 (2001), pp. 395-400.
- Ά. Μαζαράκης-Αϊνιάν, «Έπιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες στην Κύθνο (1990-1995)», *ΠΑΕ* 1995, σσ. 137-209, 189-193
- Ά. Μαζαράκης Αϊνιάν, «Κύθνος», *Έργον* 1995 [1996], σσ. 57-63.
- A. Μαζαράκης-Αϊνιάν, “Ricognizioni Archeologiche all’isola di Kithnos” in E. Lanzilotta, D. Schilardi (eds.), *Atti del seminario internazionale di studi su Le Cicladi ed Il Mondo Egeo – Roma 19-21 Novembre 1992*, Roma 1996, pp. 245-273.

- A. Μαζαράκης Αινιάν, «Αρχαία Κύθνος, Ιστοριογραφία και Αρχαιολογικές Έρευνες» στο Λ. Γ. Μενδώνη, Α. Μαζαράκης Αινιάν (επ.), *Κέα – Κύθνος, Ιστορία και Αρχαιολογία*, Αθήνα 1998, σσ. 49-63.
- A. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές Έρευνες στην αρχαία πόλη της Κύθνου», *Επετηρίς Εταιρείας Κυκλαδικών Μελετών ΙΗ'* (2002-3) [2005], σσ. 154-186.
- A. Mazarakis Ainian, "Inside the adyton of a Greek temple – Excavations on Kythnos (Cyclades)" in M. Yeroulanou, M. Stamatopoulou (eds.), *Architecture and Archaeology in the Cyclades; Papers in Honour of J.J. Coulton*, Oxford 2005, pp. 87-103.
- A. Μαζαράκης Αινιάν, Χ. Μητσοπούλου, «Από την επιφανειακή έρευνα στην ανασκαφή: το ιερό της αρχαίας Κύθνου» στο *Έπαθλον*, Αθήνα 2007, τ. 1, σσ. 307-384.
- Γ. Χ. Μηλιαρέσης, *Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση*, Αθήνα 2006.
- A. Mitchell, *The ESRI Guide to GIS Analysis*, Redlands CA 1999.
- W. Müller, „Bildung von Sinterablagerungen in Wassersystemen“ in N. de Haan, G. Jansen (eds.), *Cura Aquarum in Campania*, Leiden 1996, pp. 185-189.
- N. Neuerburg, *L' architettura delle fontane e dei ninfei nell' Italia antica*, Napoli 1965.
- K. Nikolakopoulos, A. Antonakakis, "Creation of DTM with ASTER Data and Statistical Verification of the Accuracy of the Model (W. Peloponnese, Greece)», *Geocarto International* 19.1 (2004), pp. 3-9.
- K. G. Nikolakopoulos, E. K. Kamaratakis, N. Chrysoulakis, "SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece", *International Journal of Remote Sensing* 27[21] (Nov. 2006), pp. 4819-4838.
- M. O'Kelly, "Spatial analysis and GIS" in S. Fotheringham, P. Rogerson (eds.), *Spatial analysis and GIS*, London 1994, pp. 65-70.

- M. Παγούνης, Αχ. Γάκης, *Έκθεση υδρογεωλογικής έρευνας για τη βελτίωση της υδρεύσεως των οικισμών του νησιού Κύθνου νομού Κυκλάδων*, Αθήνα:ΙΓΜΕ 1980.
- Π. Πατιάς, *Εισαγωγή στη Φωτογραμμετρία*, Θεσσαλονίκη 1991.
- P. Peregrino, “GIS in archaeological research: prspects and problems” in *GIS/LIS '88: Proceedings*, San Antonio TX 1988, pp. 873-879.
- C. Perlès, *The Early Neolithic in Greece; the first farming communities in Europe*, Cambridge 2004.
- W. Prochaska, U. Quatember, “The Analysis of Sinter Samples and Hydraulic Mortars from the Nymphaeum Traiani at Ephesus” in G. Wiplinger (ed.), *Cura Aquarum in Ephesus*, Leuven – Paris – Dudley 2006, pp. 509-522.
- A. H. Robinson, J. L. Morrison, P. H. Muehrcke, A. J. Kimerling, S. C. Guptill, *Στοιχεία Χαρτογραφίας*, Αθήνα 2002 [μτφρ. του *Elements of Cartography*, New York 1995⁶].
- L. Ross, *Reisen auf den griechischen Inseln des ägäischen Meeres*, Stuttgart – Tübingen 1840.
- A. Sampson, K. Koslowski, M. Kaszanowska, B. Giannouli, “The Mesolithic settlement at Maroulas, Kythnos”, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 2.1 (06/2002), pp. 45–67.
- K. Sheedy, “The Origins of The Nesiotic League and the Defence of Kythnos”, *Historia* 45.1 (1996), pp. 423-449.
- J. B. de Smeth, *Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος – Νήσος Κύθνος*, Αθήνα:ΙΓΜΕ 1975.
- R. Tölle-Kastenbein, *Antike Wasserkultur*, München 1990.
- J. P. de Tournefort, *Relation d' une Voyage du Levant Fait par Ordre du Roy*, Paris 1717.
- D. Wheatley, M. Gillings, *Spatial Technology in Archaeology*, London – New York 2002.
- Φ. Ζαφειροπούλου, «Κύθνος», *ΑΔ* 23 (1968) [1969] Β'2, σσ. 382-383.

N. Zouridakis, J. F. Saliege, A. Person, S. E. Filippakis, "Radiocarbon Dating of Mortars from Ancient Greek Palaces", *Archaeometry* 29.1(1987), pp. 60-68.

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

Jonathan de Ferranti, "Virtual Earth Product Reviews – ASTER Digital Elevation Data", <http://www.viewfinderpanoramas.org/reviews.html> (Τελ. ενημέρωση: 03/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 10/08/2009].

"ArcGIS Desktop Help 9.2 - Editing attributes"
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=531&pid=474&topicname=Editing_attributes (Τελ. ενημέρωση: 17/08/2007)
[Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 12/06/2009].

"ArcGIS Desktop Help 9.3 - Cost Path"
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=cost_path (Τελ. ενημέρωση: 31/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 30/08/2009]

"ArcGIS Desktop Help 9.3 – How Buffer (Analysis) works"
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Buffer%20%28Analysis%29%20works> (Τελ. ενημέρωση: 29/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 01/09/2009]

"ArcGIS Desktop Help 9.3 - Path Distance"
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=6133&pid=6117&topicname=Path_Distance (Τελ. ενημέρωση: 31/07/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 30/08/2009].

"ArcGIS Desktop Help 9.3 – Understanding raster interpolation"
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Understanding_raster_interpolation (Τελ. ενημέρωση: 23/01/2009) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 12/06/2009].

“ASTER Global Digital Elevation Map”,
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> [Ημ/νία τελ. πρόσβασης:
08/08/2009].

Manning formula,
http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Manning_formula&oldid=310746553 [Ημ/νία τελευταίας πρόσβασης: 01/09/2009].

“Manning’s n values” <http://www.lmnoeng.com/manningn.htm> [Ημ/νία τελ.
πρόσβασης: 28/09/09]

“NASA: TERRA (EOS AM-1) - About Terra”,
<http://terra.nasa.gov/About/index.php> [Ημ/νία τελ. πρόσβασης:
08/08/2009]

“Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Fact Sheet 071-03 (June 2004)”,
<http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs07103.html> (Τελ. ενημέρωση:
07/08/2006) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 11/08/2009].

“STS-99”, <http://science.ksc.nasa.gov/shuttle/missions/sts-99/mission-sts-99.html> (Τελ. ενημέρωση: 29/06/2001) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης:
11/08/2009].

“USGS – Map Projections Poster”,
<http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/MapProjections/projections.html> (Τελ.
Ενημέρωση: 03/08/2006) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 25/09/09].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παραθέτουμε παρακάτω για ιστορικούς λόγους ένα πρώτο σχέδιασμα (χωρίς επεμβάσεις) της δομής του προγράμματος που είχαμε ξεκινήσει να αναπτύσσουμε σε γλώσσα C με σκοπό την εύρεση της συμφορότερης διαδρομής με συνυπολογισμό του vertical factor, πριν καταφέρουμε να επιτύχουμε ικανοποιητικό αποτέλεσμα με τα υπάρχοντα εργαλεία των πακέτων λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε. Μαζί δίνονται και τα διαγράμματα μικρότερων βοηθητικών προγραμμάτων. Από την εφαρμογή αυτή έχει γραφτεί μόνο ένα μέρος της ρουτίνας που διαβάζει το grid που εξάγεται από το ArcGIS σε μορφή ASCII. Η μεταγλώττιση (compile) του προγράμματος γίνονταν με το GNU C Compiler σε native Windows environment, ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της διαθέσιμης μνήμης του συστήματος.

LCP – downhill

- Βιβλιοθήκες
- Μεταβλητές
- Ρουτίνα που διαβάζει το όνομα του πίνακα από τα arguments
- Ρουτίνα που διαβάζει τον πίνακα
- Prompt για σημείο εκκίνησης
- Prompt για σημείο τερματισμού
- Έλεγχος αν τα σημεία είναι εντός του πίνακα
- Έλεγχος αν το σημείο εκκίνησης είναι ψηλότερα από το σημείο τερματισμού — αν όχι prompt για να αντιστραφούν ή να ξαναπληκτρολογηθούν

- Copy σε πίνακα με 3 διαστάσεις: διάσταση 1 & 2 ως άνω — διάσταση 3: στις σειρές 0 ως 8 οι τιμές & των γειτονικών πεδίων ως εξής: 0=ενεργό, 1=N, 2=NE, 3=E, 4=SE, 5=S, 6=SW, 7=W, 8=NW⁷⁷.
- Κελί εκκίνησης, σύγκριση με τις τιμές των γειτονικών, απόρριψη των μεγαλύτερων, επιλογή του υψηλότερου των αποδεκτών.
- Κίνηση στο επιλεγθέν κελί – επανάληψη – εγγραφή της διαδρομής σε πίνακα: 2 διαστάσεις, αριθμός διαδρομής και κατεύθυνση (1-8).
- Επανάληψη μέχρι την επίτευξη του στόχου.
- Σε περίπτωση αδιεξόδου, επιστροφή ένα κελί πίσω και επιλογή του αμέσως χαμηλότερου.
- Μετά από τερματισμό επιστροφή στο προηγούμενο κελί και επανάληψη.
- Αν εξαντληθούν οι πιθανότητες επιστροφή στο πιο πριν και επανάληψη.
- Εγγραφή όλων των δυνατών διαδρομών στον πίνακα. Στη θέση 0 του 2διάστατου πίνακα με τις κατευθύνσεις, 0 για αδιέξοδες διαδρομές, 1 για ολοκληρωμένες.
- Σύγκριση αριθμού βημάτων των διαδρομών και επιλογή της συντομότερης ολοκληρωμένης
- Εξαγωγή του πίνακα με τις ολοκληρωμένες σε αρχείο (χωρίς τη θέση 0 της 2ης διάστασης)
- Εξαγωγή της συντομότερης διαδρομής σε δισδιάστατο πίνακα με τις αρχικές διαστάσεις (όνομα αρχείου με prompt ή από τα arguments) ως εξής: τιμή 0 στα κελιά που δε χρησιμοποιούνται, τιμή 1 (ή αριθμός βήματος) στα κελιά που χρησιμοποιούνται. Εναλλακτικά, ξεχωριστό πρόγραμμα που εξάγει όποια διαδρομή διαλέγει ο χρήστης.

⁷⁷ Όπως διαπιστώσαμε αργότερα, στις αντίστοιχες εφαρμογές του ArcGIS υπάρχει αντίστοιχη λογική, με τη μόνη διαφορά ότι ενώ στη δική μας εφαρμογή ξεκινάμε με τον αριθμό 1 για το βορρά και συνεχίζουμε δεξιόστροφα, στο ArcGIS το 1 αντιστοιχεί στην ανατολή (και συνεχίζει επίσης δεξιόστροφα).

Πρόγραμμα που χαράσσει σε 2διάστατο πίνακα/raster τις διαδρομές που εξάγει το ως άνω

- Βιβλιοθήκες
- Μεταβλητές
- Ανάγνωση του ονόματος πίνακα από τα arguments
- Ανάγνωση του πίνακα prompt ερώτηση για διαστάσεις αρχικού και σημεία εκκίνησης-τερματισμού
- Εύρεση συντομότερης – ταξινόμηση από συντομότερη ως μακρύτερη
- Prompt για το αν θα εξαχθεί η συντομότερη ή κάποια άλλη.
- Εναλλακτική εύρεση ομαλότερης – ορισμός threshold κλίσης
- Εναλλακτικά (2) ορισμός βαρύτητας ομαλότητας/απόστασης
- Εξαγωγή σε πίνακα όπως περιγράφεται στο προηγούμενο πρόγραμμα
- Εναλλακτικά εξαγωγή όλων των διαδρομών σε αρχεία
(filename:.. arg v2. $\prod_{n=1}^{\infty}$)
- Εναλλακτικά (2): επιλογή > 1 διαδρομών και εξαγωγή των κοινών κελιών
- Εναλλακτικά (3): ορισμός ελάχιστου μήκους σκελών διαδρομής

Πρόγραμμα που αποδίδει αριθμό στήλης και σειράς βάσει δεδομένων συντεταγμένων

- Βιβλιοθήκες
- Μεταβλητές
- Prompt για διαστάσεις πίνακα, N & S Northing, W & E Easting – εναλλακτικά ανάγνωση πίνακα και λήψη μερικών ή όλων των ως άνω

- Υπολογισμός διαστάσεων κελιού
 - Prompt για Easting & Northing ζητούμενου σημείου
 - Υπολογισμός
 - Printf
-

Πρόγραμμα για τον υπολογισμό συντεταγμένων δεδομένων κελιών

- Βιβλιοθήκες
- Μεταβλητές
- Prompt για διαστάσεις πίνακα, N & S Northing, W & E Easting – εναλλακτικά διάβασε από πίνακα
- Υπολογισμός διαστάσεων κελιού
- Υπολογισμός συντεταγμένων ως το κέντρο κελιού.

ABSTRACT

The present thesis deals with the water supply of the ancient city of Kythnos. To do so, it utilizes tools provided by Geographic Information Systems software. More specifically, it uses Spatial Analysis (especially Least Cost Path Analysis) and Map Algebra to predict the optimum pipeline route from the water source on Trypios hill (which is thought to have supplied the city) to the fountain house on Vryokastro, the site of the ancient city. Map Algebra is also used, along with Thiessen/Voronoi Tessellation, to elicit information on city planning and population density, based on cistern placement. More “traditional” approaches are employed as well. Based on the results of the Least Cost Path Analysis, Archaeological Surveying was conducted and the finds are presented here. A chapter on the fountain house is also included, where a reconstruction of the building is attempted.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000073975



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ, ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΠΣ «ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ, ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ
ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ»



Γεώργιος Δ. Χιώτης

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ
ΚΥΘΝΟΥ



Διπλωματική Εργασία

β: ΕΙΚΟΝΕΣ & ΧΑΡΤΕΣ



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Αλέξανδρος Μαζαράκης Αινιάν
Γιάννης Λώλος
Αλέξανδρος Γούναρης

ΒΟΛΟΣ 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7940/2 τ.2
Ημερ. Εισ.: 21-12-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξινόμησης Κωδικός: Δ
930.102 8
ΧΙΩ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ, ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΠΣ «ΔΙΕΣΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ,
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ»

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Δ. ΧΙΩΤΗΣ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ:
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ
ΚΥΘΝΟΥ

Διπλωματική Εργασία

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:
Αλέξανδρος Μαζαράκης Αινιάν
Γιάννης Λώλος
Αλέξανδρος Γούναρης

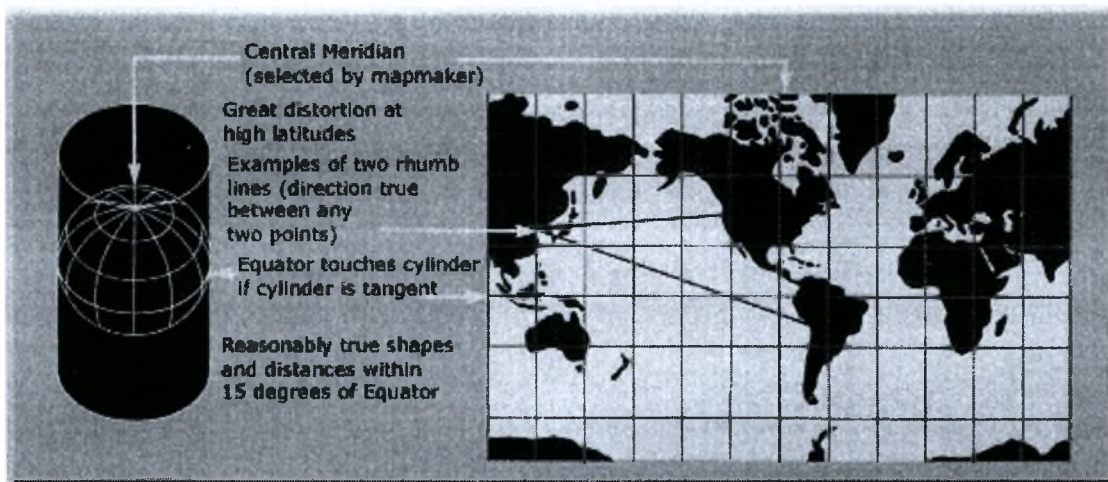
ΒΟΛΟΣ 2009

Φωτογραφικό υπόβαθρο χάρτη εξωφύλλου: Google Earth – Basarsoft,
Cnes/Spot Image, Gisrael, Teleatlas

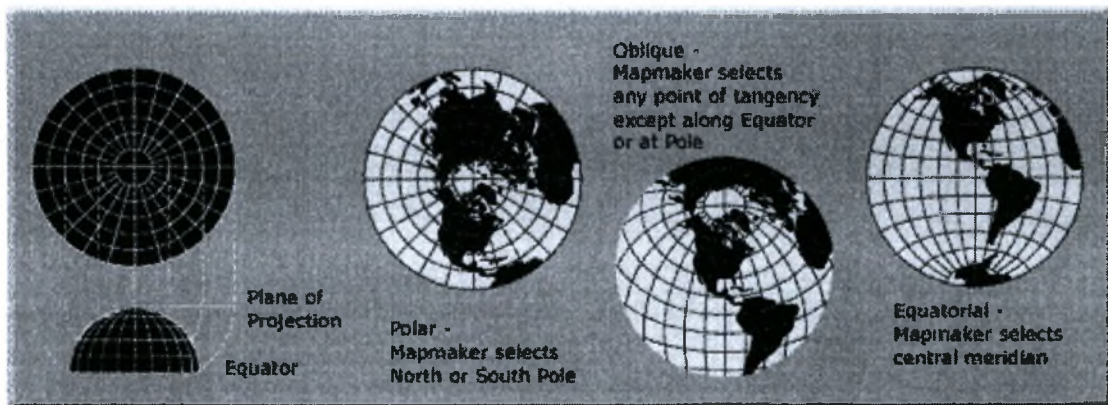
ΕΙΚΟΝΕΣ



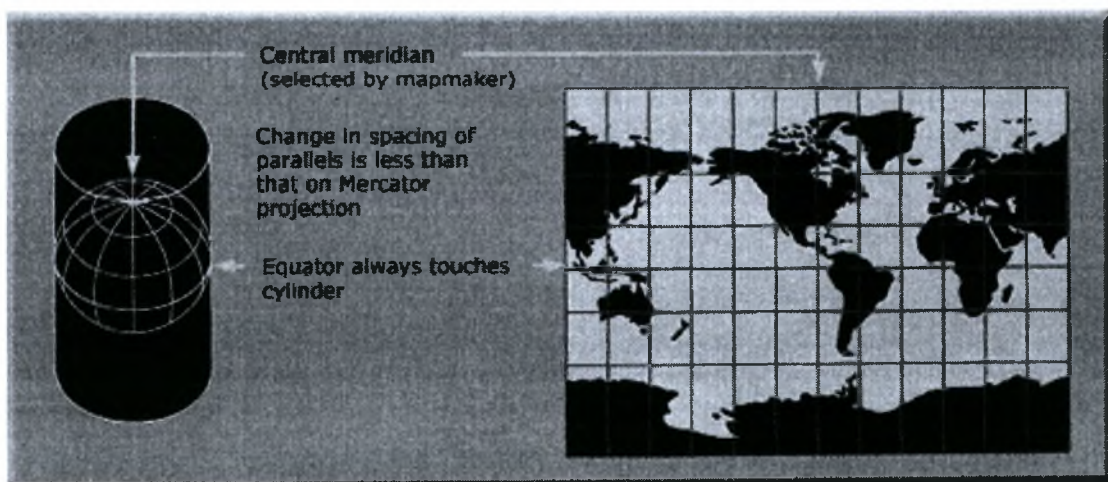
Εικ. 1: Μικρού πάχους φλέβα μαρμάρου στο Βρυόκαστρο.



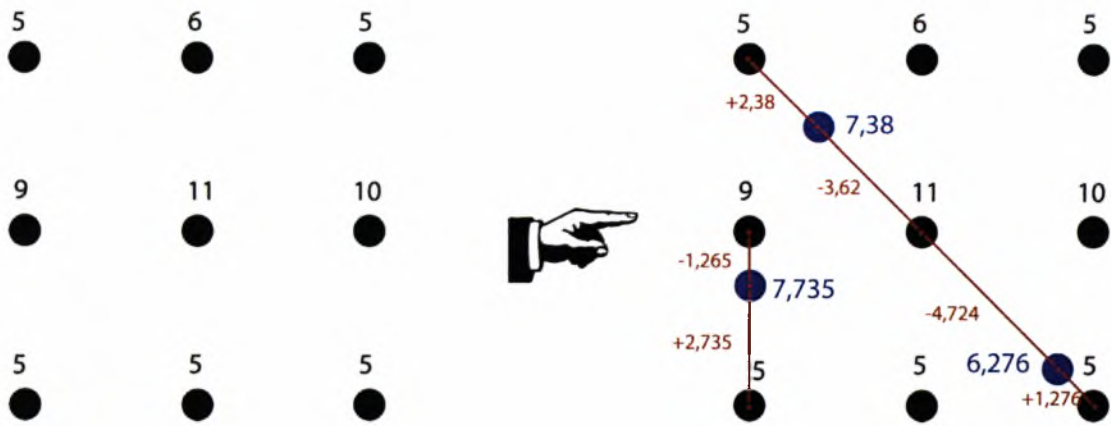
Εικ. 2: Εγκάρσια μερκατορική προβολή (Πηγή εικόνας: “USGS – Map Projections Poster”, <http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/MapProjections/projections.html> (Τελ. Ενημέρωση: 03/08/2006) [Ημ/νία τελ. πρόσβασης: 25/09/09].)



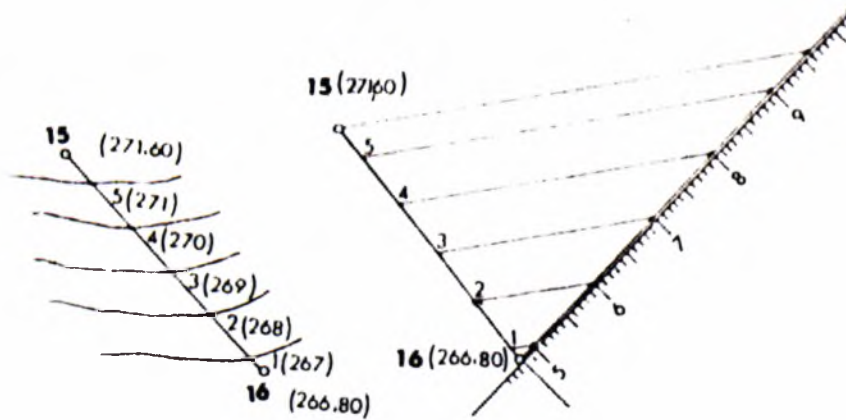
Εικ. 3: Ισαπέχουσα Αζιμουθιακή Προβολή (Πηγή εικόνας: ό.π.)



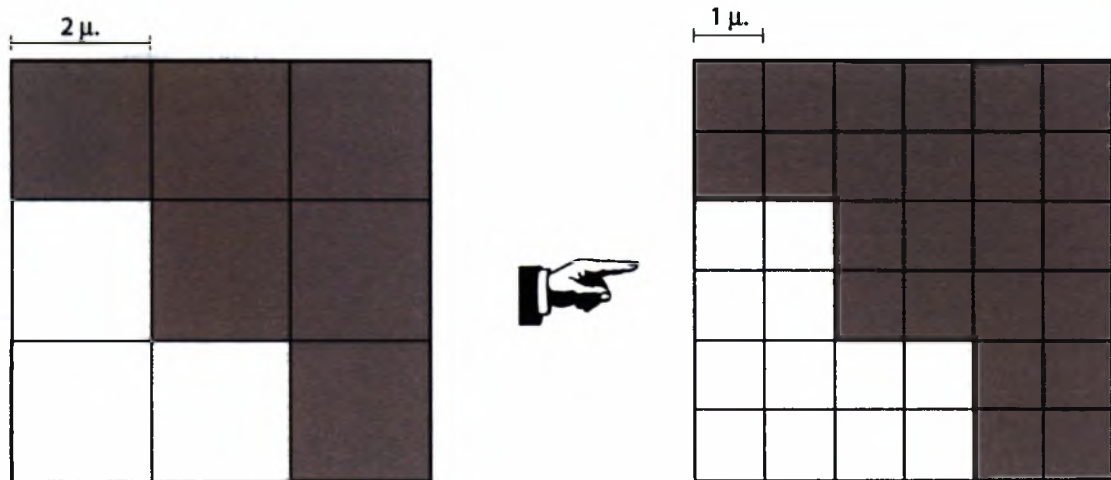
Εικ. 4: Κυλινδρική προβολή Miller (Πηγή εικόνας: ό.π.)



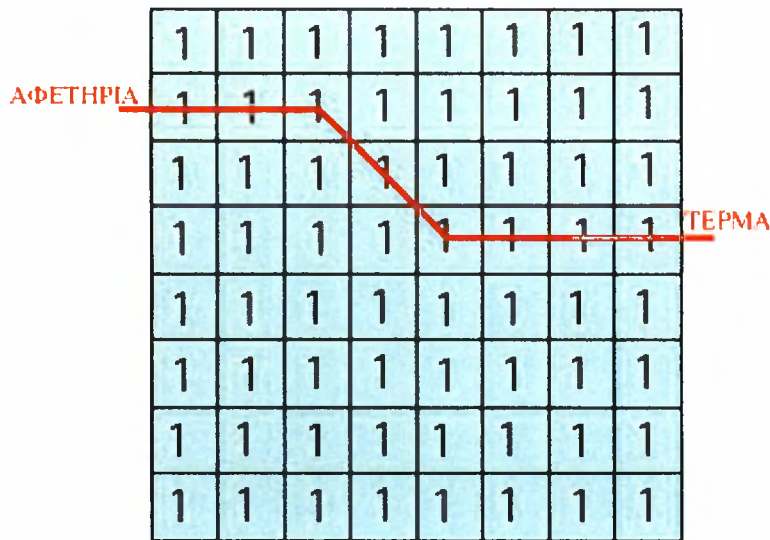
Εικ. 5: Η έννοια της χωρικής παρεμβολής



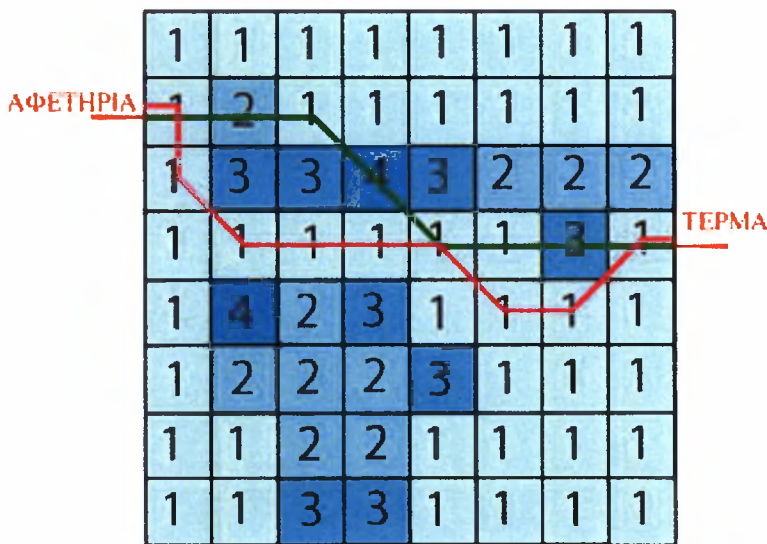
Εικ. 6: Δημιουργία ισοϋψών με τη μέθοδο της χωρικής παρεμβολής (Πηγή εικόνας: Ι. Δ. Κοφίτσας, *Μαθήματα Τοπογραφικού Σχεδίου*, σ. 41, εικ. 5.7)



Εικ. 7: Τεχνητή αύξηση ανάλυσης εικόνας



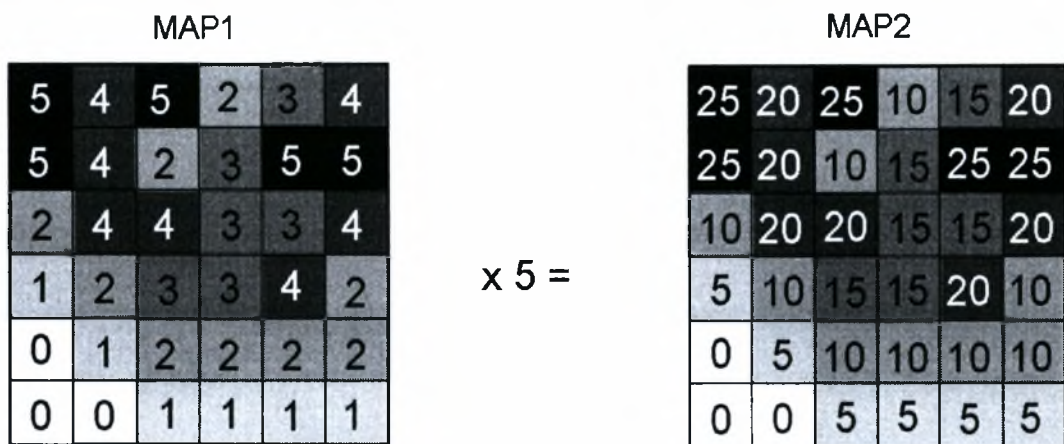
$$1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 8$$



$$1 + 2 + 1 + 4 + 1 + 1 + 3 + 1 = 14 \quad \times$$

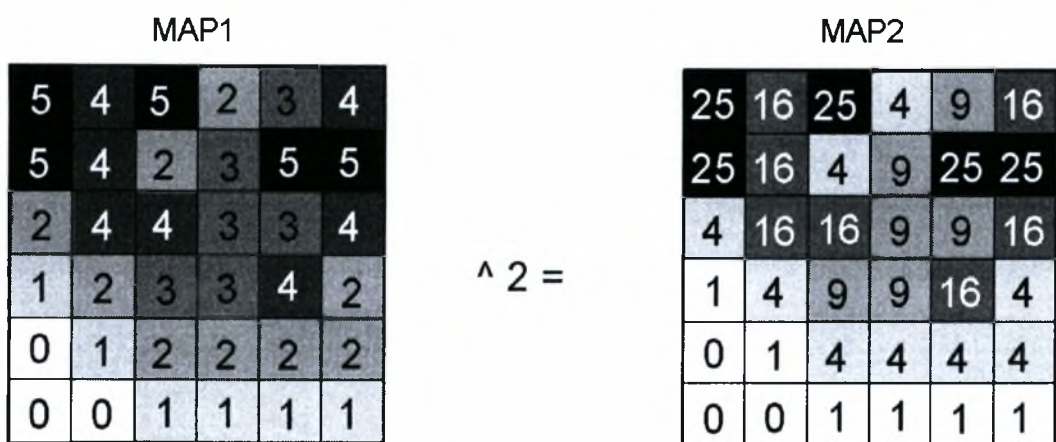
$$1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 9 \quad \checkmark \quad \text{LCP}$$

Εικόνα 8: Η έννοια του σωρευτικού κόστους και της συμφορότερης διαδρομής. Στην πρώτη εικόνα όλα τα κελιά έχουν το ίδιο κόστος, έτσι η συμφορότερη διαδρομή είναι η συντομότερη. Στη δεύτερη εικόνα όμως κάποια από τα κελιά έχουν μεγαλύτερες τιμές κόστους, έτσι η συμφορότερη διαδρομή δεν ταυτίζεται με τη συντομότερη.



$$\text{MAP2} = \text{MAP1} \times 5$$

Εικ. 9: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας



$$\text{MAP2} = \text{MAP1}^2$$

Εικ. 10: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

$$\begin{array}{c}
 \text{MAP1} \\
 \left(\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 5 & 4 & 5 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 5 & 4 & 2 & 3 & 5 & 5 \\ \hline 2 & 4 & 4 & 3 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 2 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \right) - 3 \times 2 = \\
 \text{MAP2} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 4 & 2 & 4 & -2 & 0 & 2 \\ \hline 4 & 2 & -2 & 0 & 4 & 4 \\ \hline -2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ \hline -4 & -2 & 0 & 0 & 2 & -2 \\ \hline -6 & -4 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ \hline -6 & -6 & -4 & -4 & -4 & -4 \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

$$\text{MAP2} = (\text{MAP1} - 3) \times 2$$

Εικ. 11: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

$$\begin{array}{c}
 \text{MAP1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 5 & 4 & 5 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 5 & 4 & 2 & 3 & 5 & 5 \\ \hline 2 & 4 & 4 & 3 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 2 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \\
 - \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 5 & 4 & 5 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 5 & 4 & 2 & 3 & 5 & 5 \\ \hline 2 & 4 & 4 & 3 & 3 & 4 \\ \hline 1 & 2 & 3 & 3 & 4 & 2 \\ \hline 0 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \\
 = \\
 \text{MAP2} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline -5 & -4 & -5 & -2 & -3 & -4 \\ \hline -5 & -4 & -2 & -3 & -5 & -5 \\ \hline -2 & -4 & -4 & -3 & -3 & -4 \\ \hline -1 & -2 & -3 & -3 & -4 & -2 \\ \hline 0 & -1 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ \hline 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

$$\text{MAP2} = - \text{MAP1}$$

Εικ. 12: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

| | | | | | | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|------|----|----|---|---|----|
| MAP1 | | | | | | MAP2 | | | | | |
| 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | -2 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | -2 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | -1 | 0 | 1 | 4 | -2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |

+

=

| | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|
| MAP3 | | | | | |
| 10 | 8 | 9 | 5 | 5 | 4 |
| 10 | 7 | 0 | 5 | 6 | 6 |
| 6 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| 2 | 0 | 2 | 3 | 6 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |

MAP3 = MAP1 + MAP2

Εικ. 13: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

x

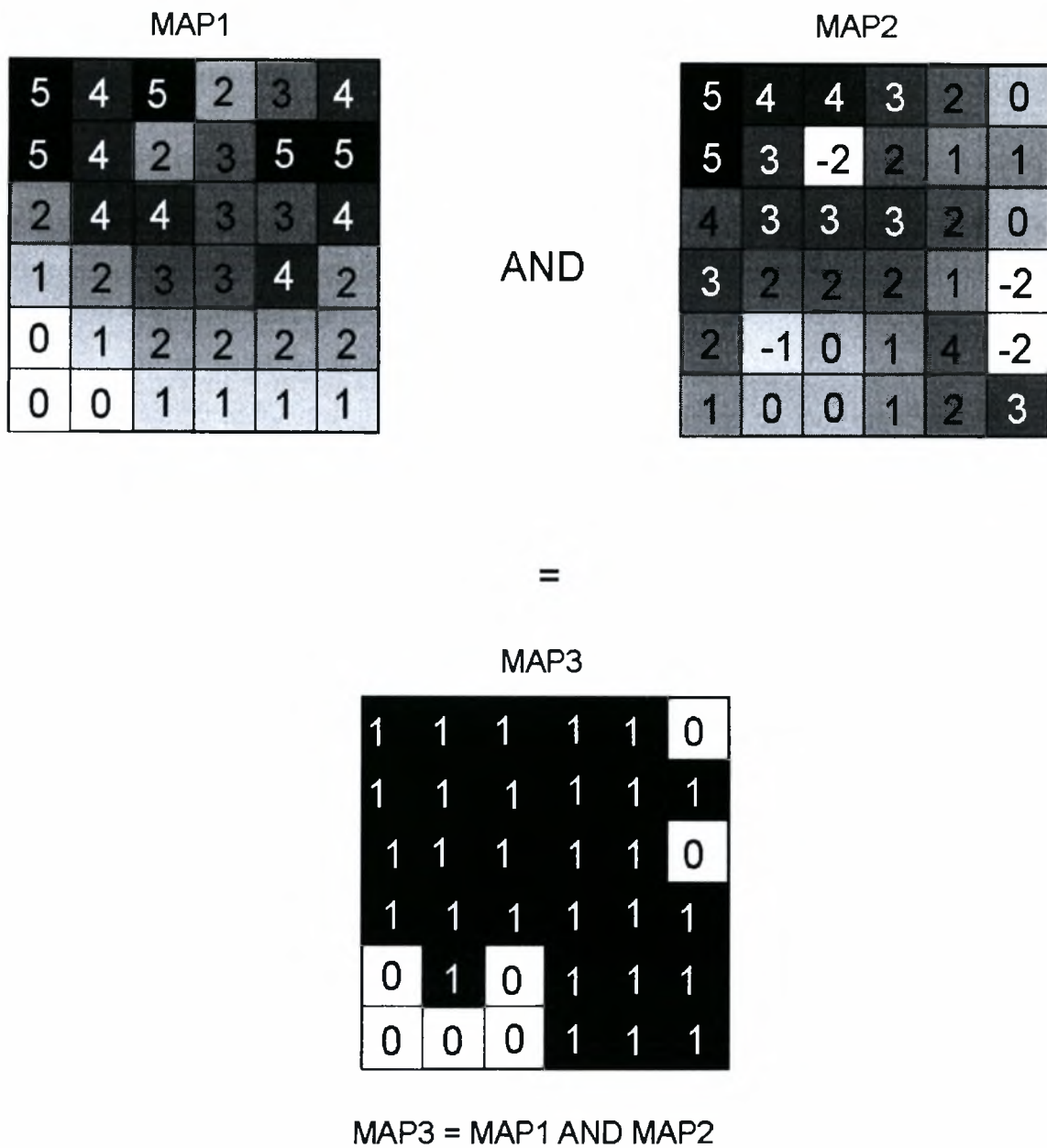
| | | | | | |
|---|----|----|---|---|----|
| 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 5 | 3 | -2 | 2 | 1 | 1 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | -2 |
| 2 | -1 | 0 | 1 | 4 | -2 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |

=

| | | | | | |
|----|----|----|---|---|----|
| 25 | 16 | 20 | 6 | 6 | 0 |
| 25 | 12 | -4 | 6 | 5 | 5 |
| 8 | 12 | 12 | 9 | 6 | 0 |
| 3 | 4 | 6 | 6 | 4 | -4 |
| 0 | -1 | 0 | 2 | 8 | -4 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |

MAP3 = MAP1 x MAP2

Εικ. 14: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας



Εικ. 15: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

MAP1

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 |
| 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

MAP2

| | | | | | |
|---|----|----|---|---|----|
| 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 0 |
| 5 | 3 | -2 | 2 | 1 | 1 |
| 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | -2 |
| 2 | -1 | 0 | 1 | 4 | -2 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 |

OR

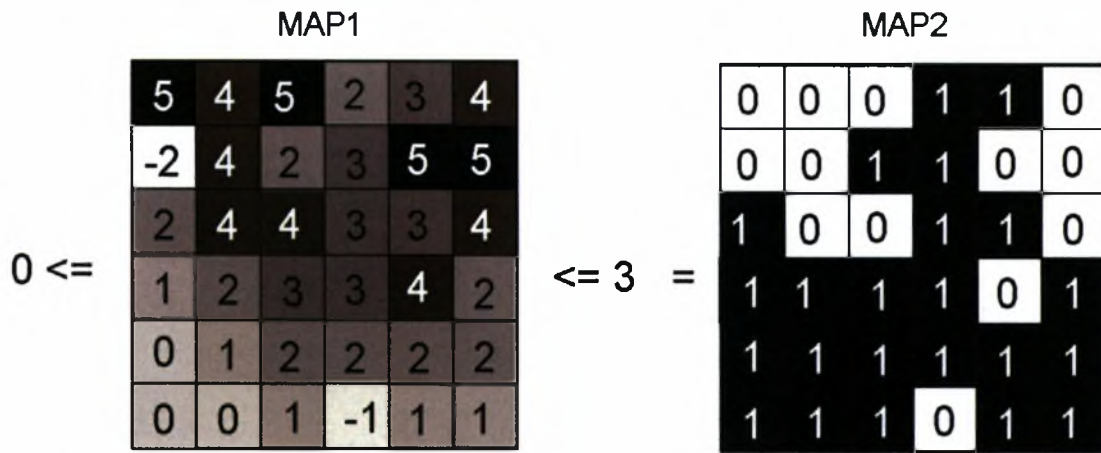
=

MAP3

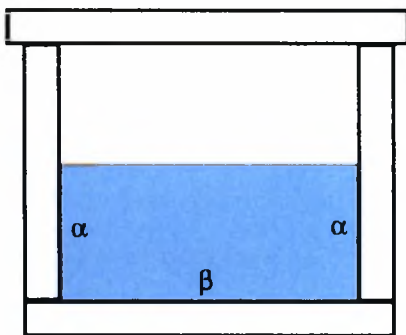
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

$$\text{MAP3} = \text{MAP1 OR MAP2}$$

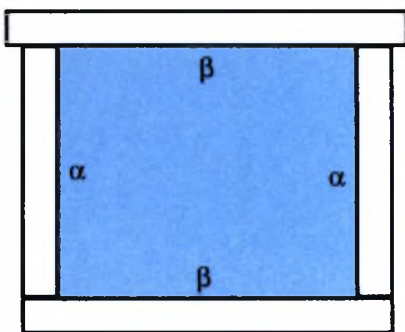
Εικ. 16: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας



Εικ. 17: Παράδειγμα Χαρτογραφικής Άλγεβρας

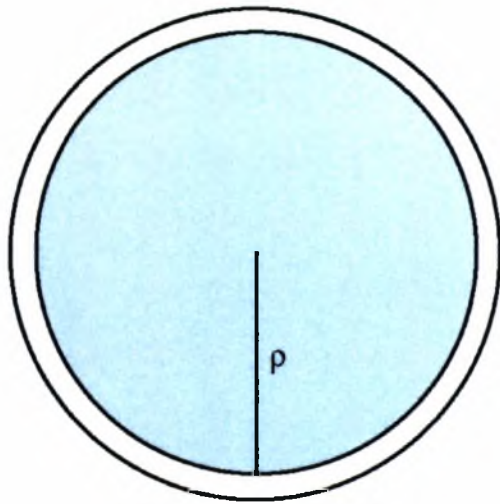


$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\alpha \cdot \beta}{\alpha + \beta + \alpha} = \frac{\alpha \cdot \beta}{2\alpha + \beta}$$



$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\alpha \cdot \beta}{\alpha + \beta + \alpha + \beta} = \frac{\alpha \cdot \beta}{2\alpha + 2\beta}$$

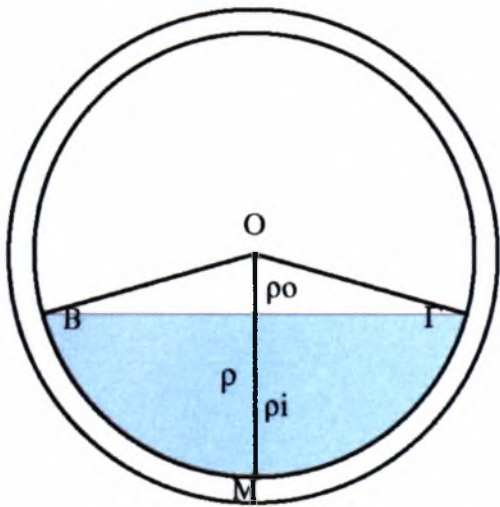
Εικ. 18: Υπολογισμός υδραυλικής ακτίνας για ημιγεμή και πλήρη αγωγό ορθογωνικής διατομής



$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi \cdot \rho^2}{2\pi\rho}$$

$$R_h = \frac{A}{P}$$

$$P = \text{BM}\Gamma$$



$$A = E_{\text{BMI}'} = E_{\text{OBMI}'} - E_{\text{OBI}'}$$

$$\rho o = \rho - \rho i$$

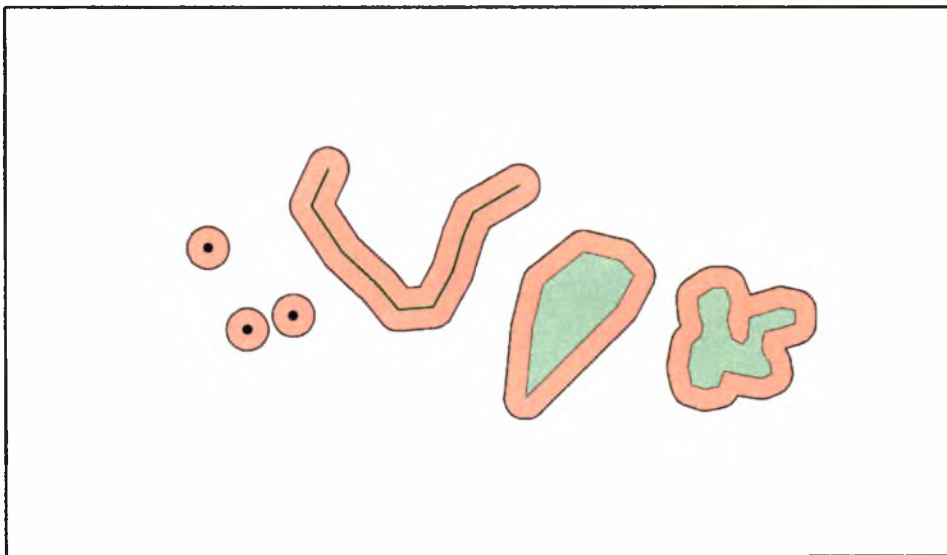
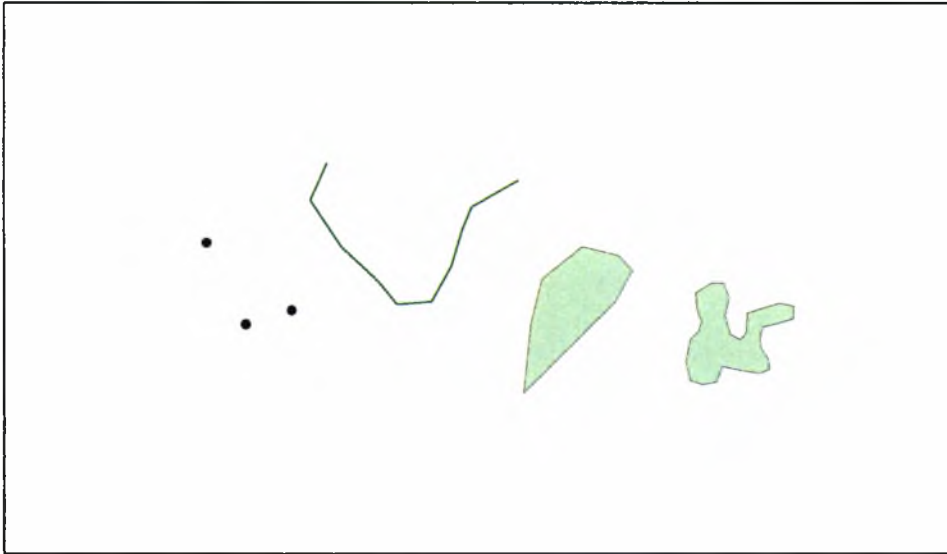
$$E_{\text{OBG}} = \frac{1}{2} \text{B}\Gamma \cdot \rho o$$

$$E_{\text{OBMI}'} = \frac{\pi \rho^2}{360} \cdot \Theta$$

$$\eta \mu \Theta = \frac{\frac{\text{B}\Gamma}{2}}{\text{O}\Gamma} \Rightarrow \Theta = \text{τοξη}\mu \left(\frac{\frac{\text{B}\Gamma}{2}}{\rho} \right)$$

$$R_h = \frac{\frac{\pi \rho^2}{360} \cdot \text{τοξη}\mu \left(\frac{\frac{\text{B}\Gamma}{2}}{\rho} \right) - \frac{1}{2} \text{B}\Gamma \cdot (\rho - \rho i)}{\text{B}\Gamma}$$

Εικ. 19: Υπολογισμός υδραυλικής ακτίνας για ημιγεμή και πλήρη αγωγό κυκλικής διατομής



Εικ. 20: Η έννοια του Buffer (Ζώνη Επιρροής)



Εικ. 21: Άποψη του Τρύπιου και του ρέματός του από το Βρυόκαστρο (φωτομωσαϊκό)



Εικ. 22: Σύγχρονη διάταξη συλλογής/αποθήκευσης νερού στην περιοχή της πηγής



Εικ. 23: Σύγχρονη διάταξη συλλογής/αποθήκευσης νερού στην περιοχή της πηγής



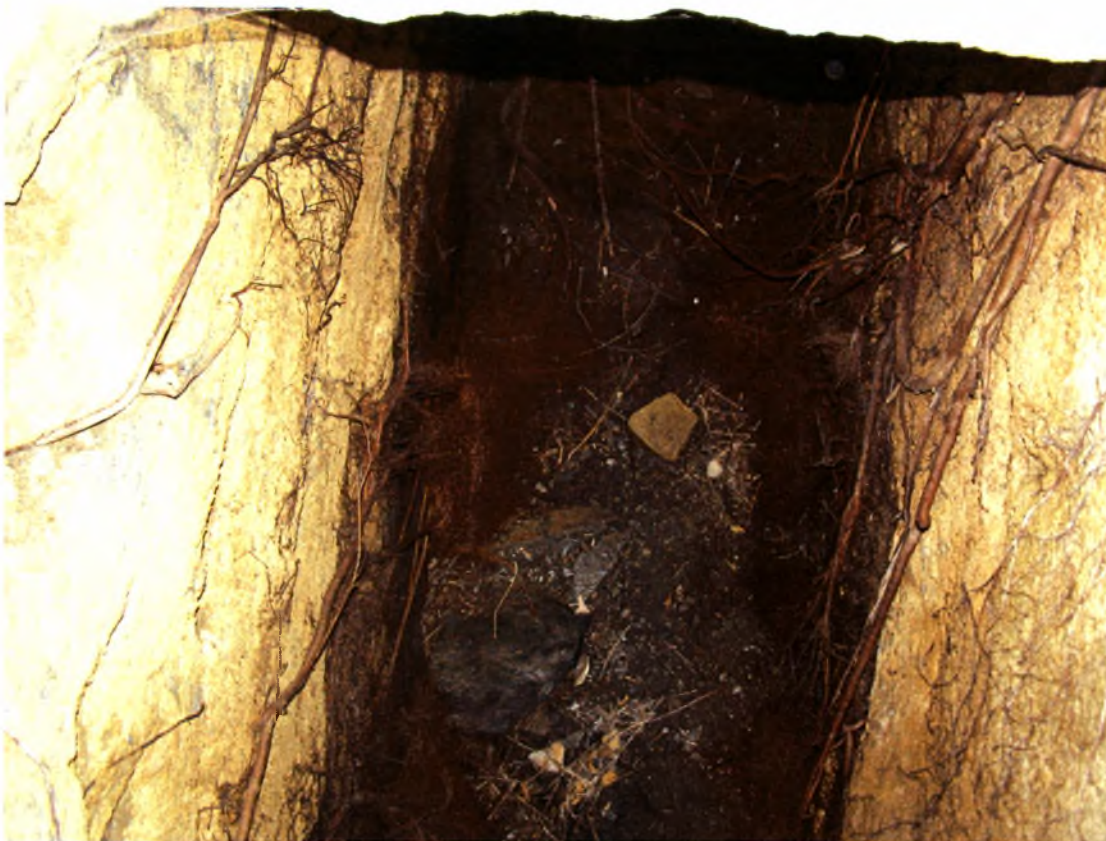
Εικ. 24: Σύγχρονη διάταξη συλλογής/αποθήκευσης νερού στην περιοχή της πηγής



Εικ. 25: «Φρεατία»



Εικ. 26: «Φρεατία»



Εικ. 27: Τμήμα αγωγού στο σημείο της «φρεατίας»



Εικ. 28: Λεπτομέρεια από την τοιχοποιία ανατολικά της «φρεατίας» (φωτομωσαϊκό)



Εικ. 29: Κατεστραμμένο τμήμα αύλακας κοντά στη «φρεατία»



Εικ. 30: Κατεστραμμένο τμήμα αύλακας κοντά στη «φρεατία»



Εικ. 31: Η Διασέλα από τον Τρύπιο



Εικ. 32: Το όρυγμα στη Διασέλα.



Εικ. 33: Το όρυγμα στη Διασέλα (λεπτομέρεια)



Εικ. 34: Το εσωτερικό της σήραγγας στη Διασέλα



Εικ. 35: Δεύτερο τμήμα σήραγγας στο Βρυόκαστρο



Εικ. 36: Δεύτερο τμήμα σήραγγας στο Βρυόκαστρο



Εικ. 37: Πιθανό σημείο καμψής ορύγματος



Εικ. 38: Πιθανό σημείο καμψής ορύγματος — βόρειο τμήμα



Εικ. 39: Πιθανό σημείο καμψής ορύγματος — νότιο τμήμα



Εικ. 40: Διπλή καμπή αγωγού



Εικ. 41: Εσωτερικό διπλής καμπής



Εικ. 42: εσωτερικό διπλής καμπής. Λήψη από ΝΔ



Εικ. 43: εσωτερικό διπλής καμπής. Λήψη από ΒΑ



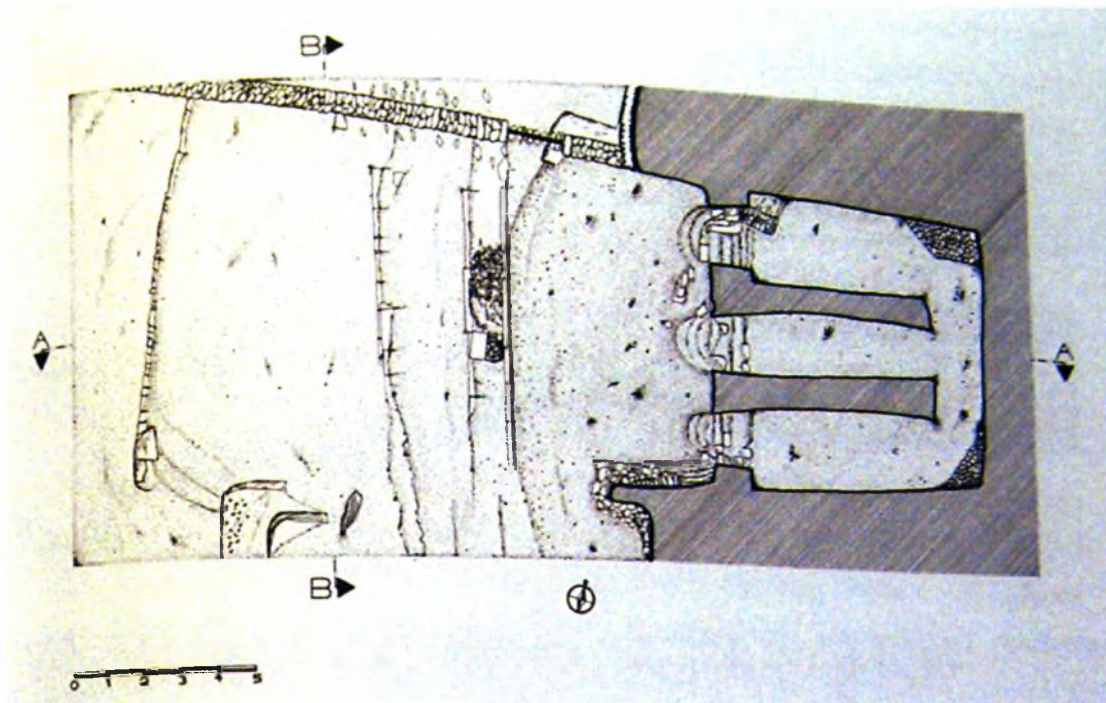
Εικ. 44: Αύλακα κάτω από ξερολιθιά



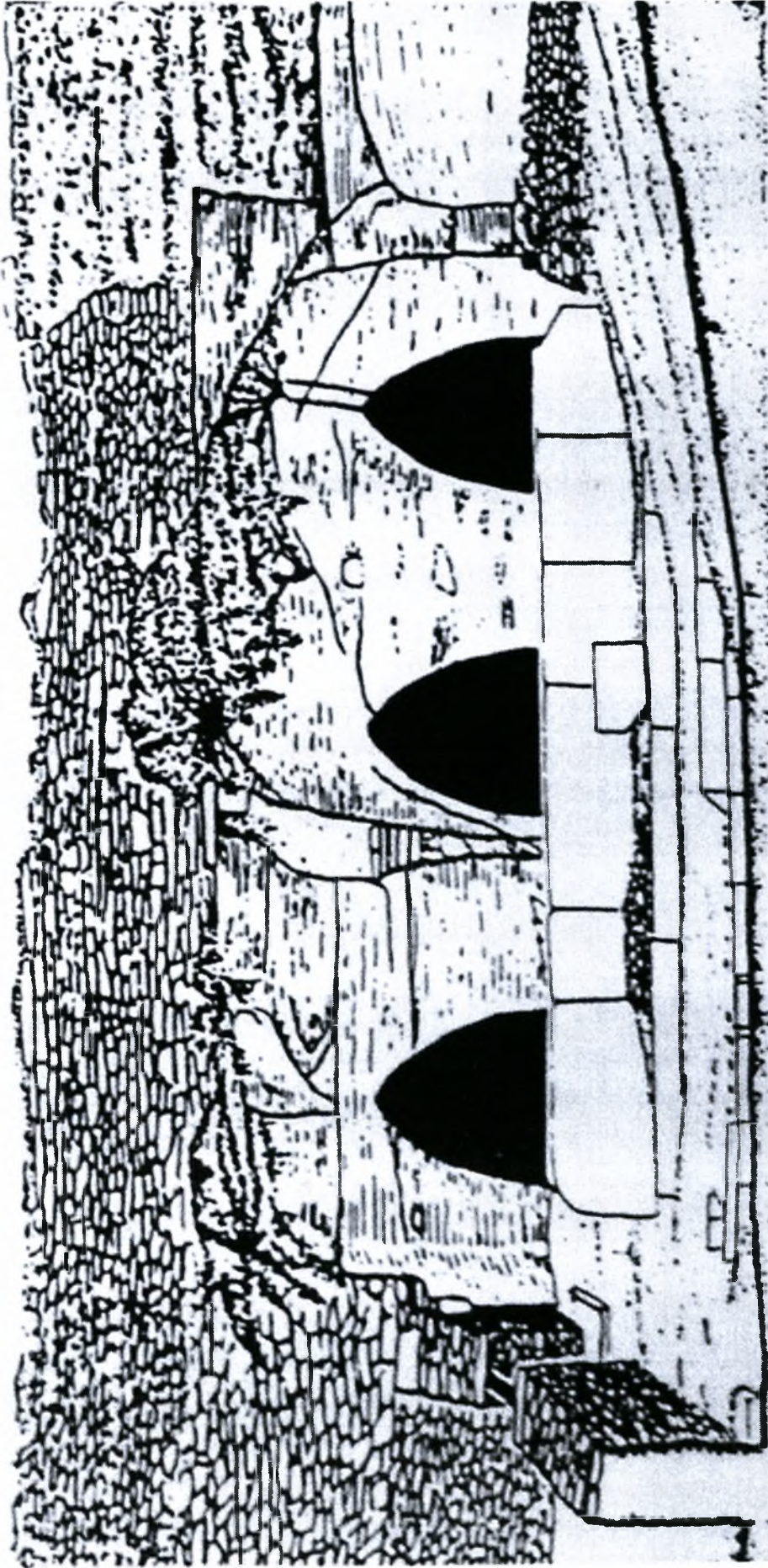
Εικ. 45: Αύλακα κάτω από ξερολιθιά



Εικ. 46: Αύλακα κάτω από ξερολιθιά — εσωτερικό. Λήψη από ΝΔ.



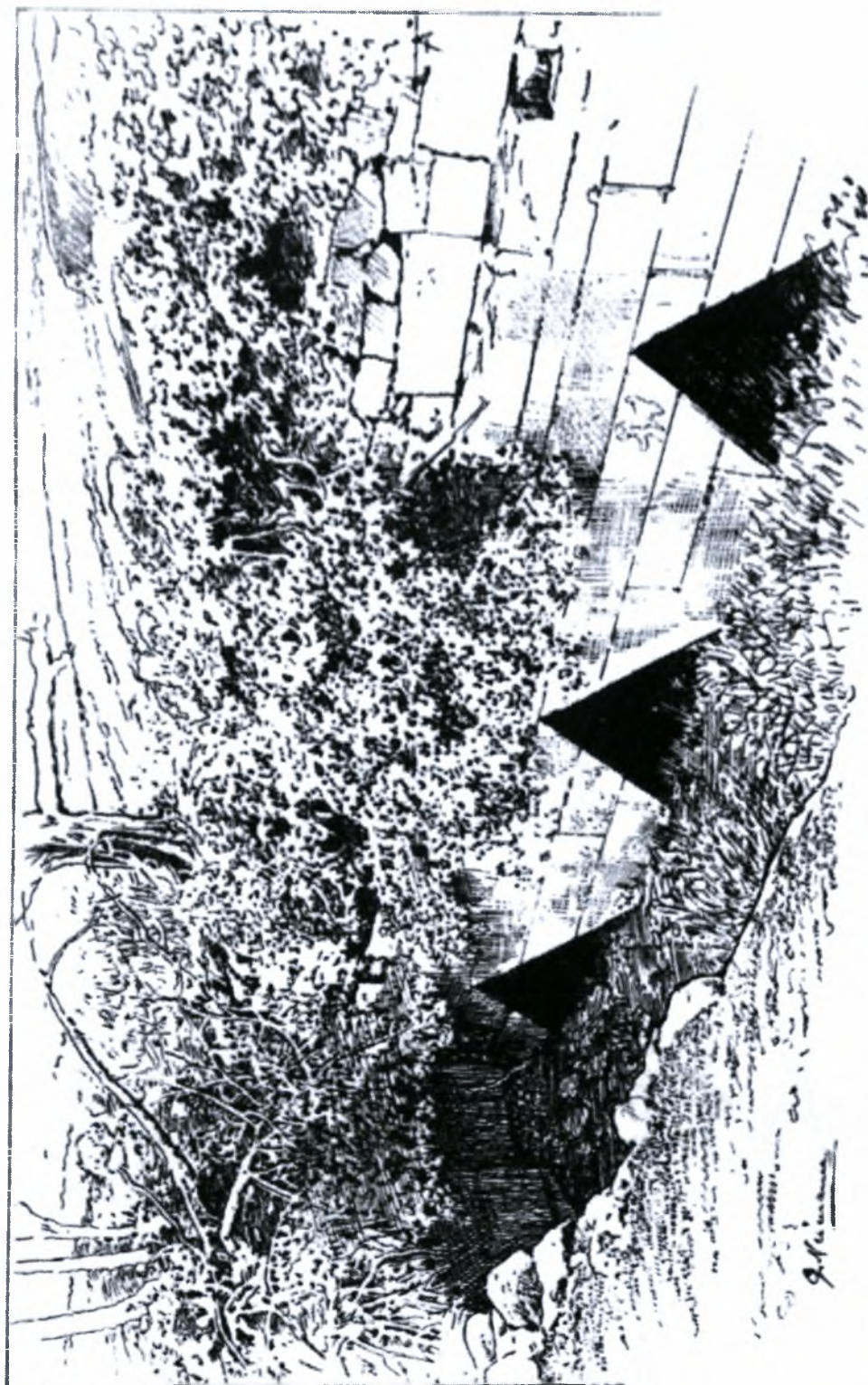
Εικ. 47: Κάτοψη κρήνης (σχ. Α. Γούναρης — πηγή: Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες στην Κύθνο», ΠΑΕ 1995, σ. 191, εικ. 38)



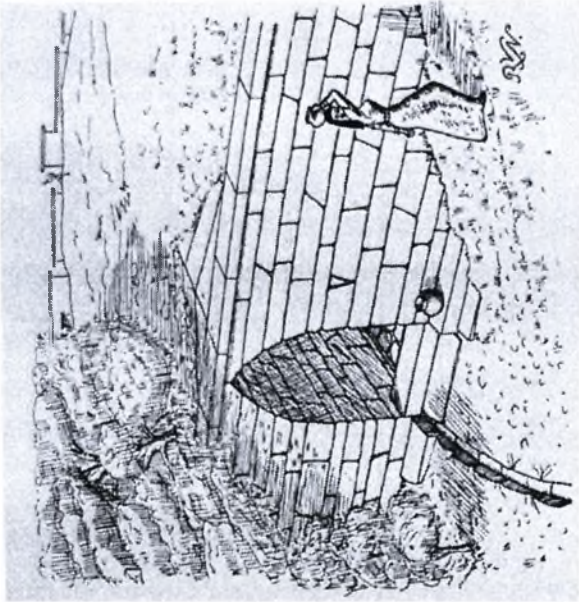
Εικ. 48: Όψη της κρήνης από Δ (τομή ΒΒ στην εικόνα 45) (σχ. Α. Γούναρης — πηγή: Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες στην Κύθνο», Έργον 1995, σ. 62, εικ. 46)



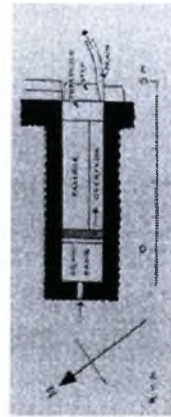
Εικ. 49: Όψη της κρήνης (φωτομωσαϊκό)



Εικ. 50: Κρηναίο οικοδόμημα από τη Θερμεσσό της Πισιδίας (Πηγή εικόνας: K. G. Lanckoronski, *Städte Pamphyliens und Pisidiens*, Wien 1892, B. II S. 59 Fig. 12)



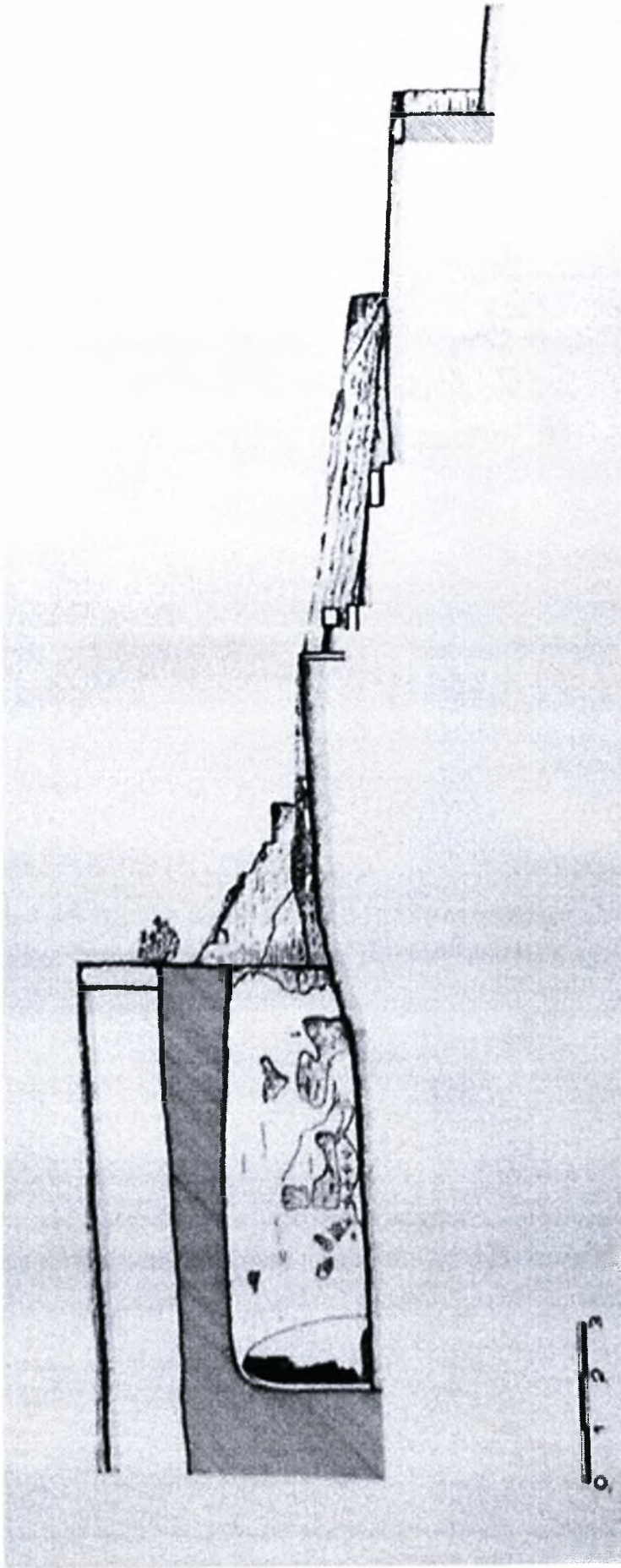
Εικ 51: Αναπαράσταση και κάτοψη κρήνης από την Παλιά Σμύρνη (Πηγή εικόνας: Dorl-Klingelschmid, *Prunkbrunnen in kleinasiatischen Städten – Funktion im Kontext*, München 2001, S. 248, F. 174)



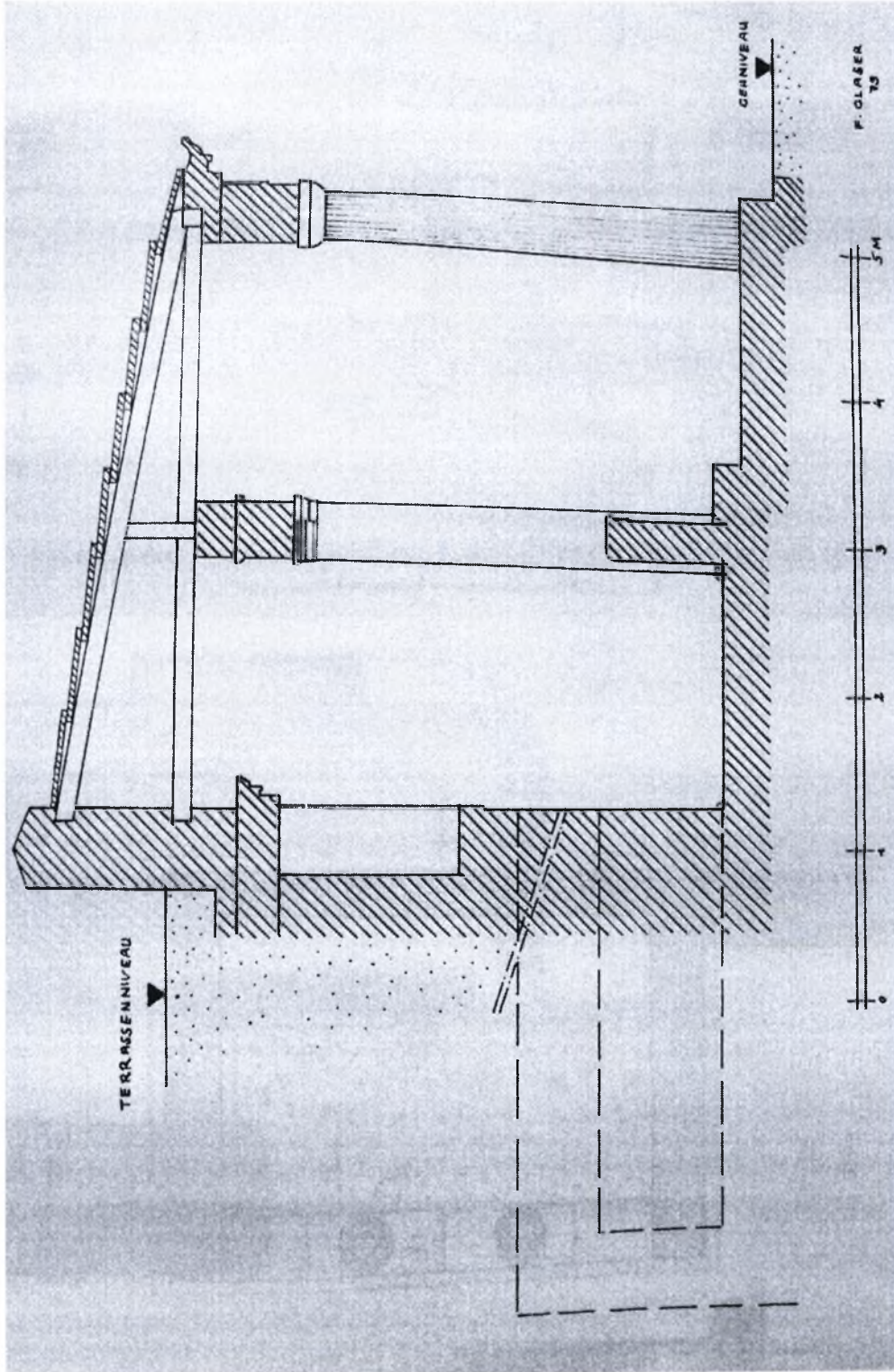
Εικ. 52: Φωτογραφική άποψη της κρήνης της Παλιάς Σμύρνης (Πηγή εικόνας: M. Akurgal, “Ein früharchaisches Brunnenhaus in Alt-Smyrna”, *InstMitt* 46 (1996), Taf. 26)



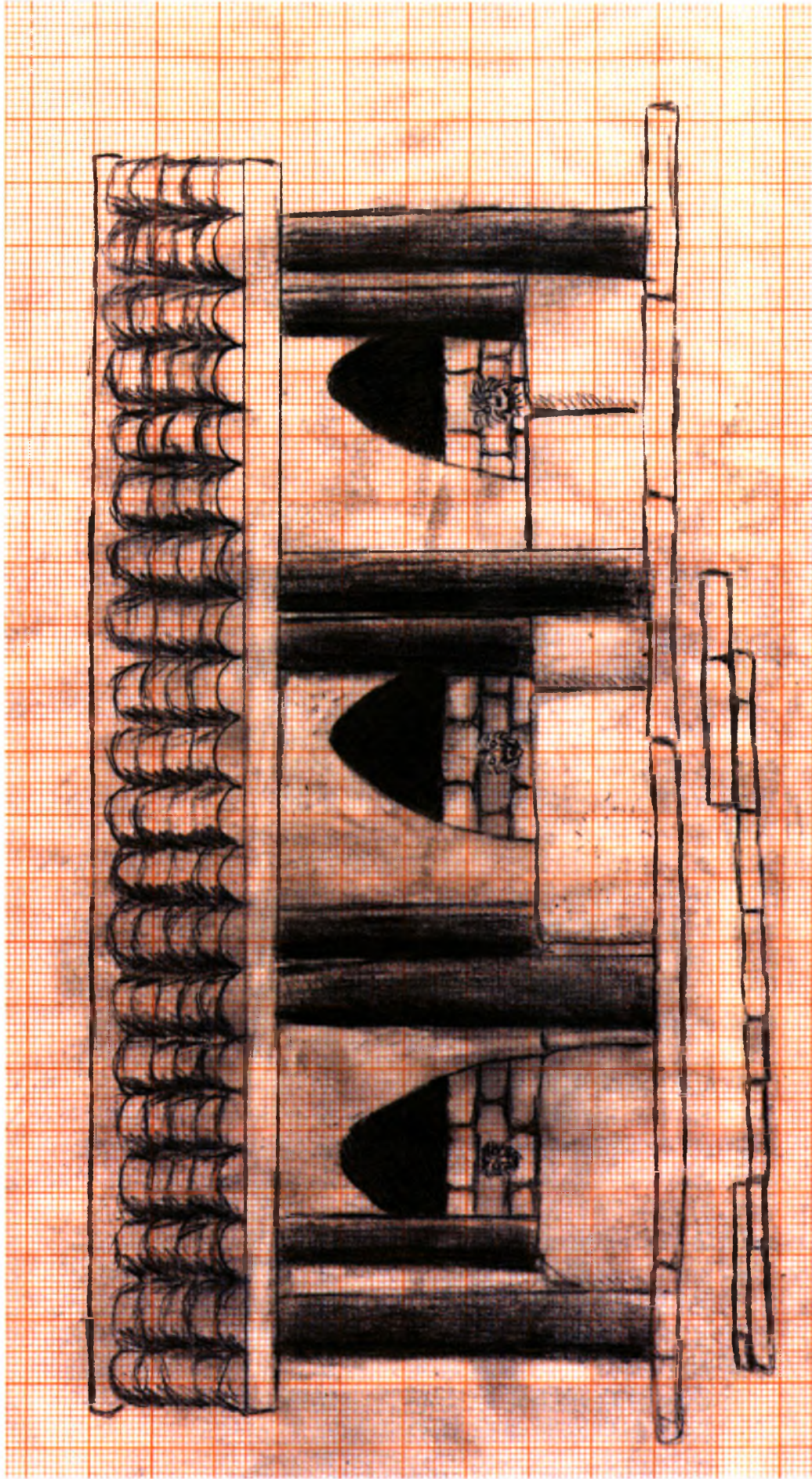
Εικ. 53: Πήλινα ομοιώματα νυμφαίων ή κρηνών σε μορφή σπηλαίου, από το μουσείο του Reggio di Calabria (Πηγή εικόνας: N. Neuerburg, *L' architettura delle fontane e dei ninfei nell' Italia antica*, Napoli 1965, tav. 8-9.)



Εικ 54: Πλευρική τομή της κρήνης της Κύθνου στον άξονα ΑΑ της εικ. 45 (σχ. Α. Γούναρης — πηγή: Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες στην Κύθνο», ΠΑΕ 1995, σ. 192, εικ. 40)



Εικ.55: Πρόταση αποκατάστασης της κρήνης Β του Γυμνασίου της Σικυώνας της Βραχονοστίδας (Πηγή εικόνας: F. Glaser, *Antike Brunnenbauten (Κρήναι) in Griechenland*, Wien 1983, Fig. 102



Εικ. 56: Πρόταση αποκατάστασης του κρηναίου οικοδομήματος (βασίζεται στο σχέδιο του Α. Γούναρη στο Α. Μαζαράκης Αινιάν, «Επιφανειακές αρχαιολογικές έρευνες στην Κύθνο», Έργον 1995, σ. 62, εικ. 46)



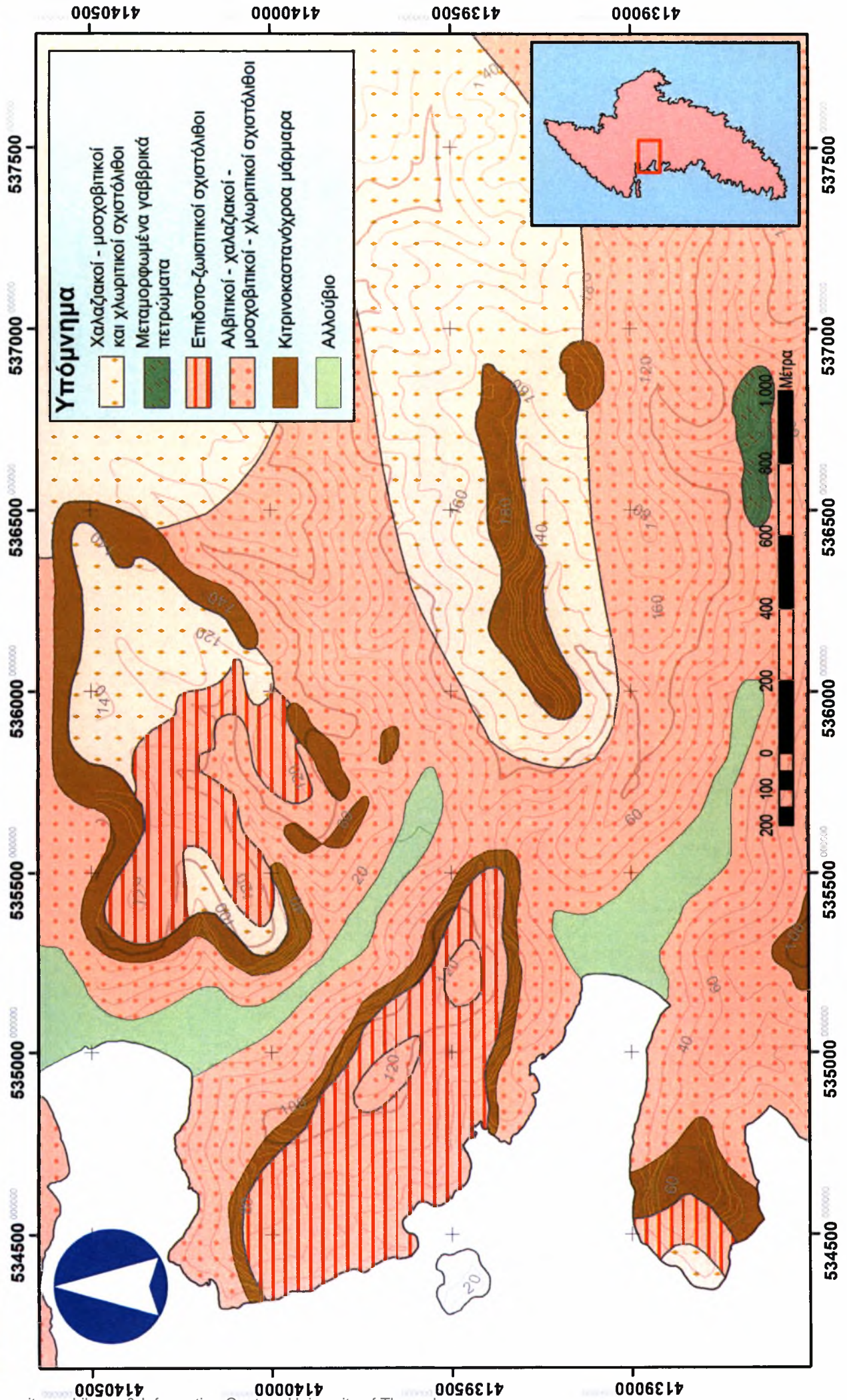
Εικ. 57: Η Υδατοδεξαμενή 17



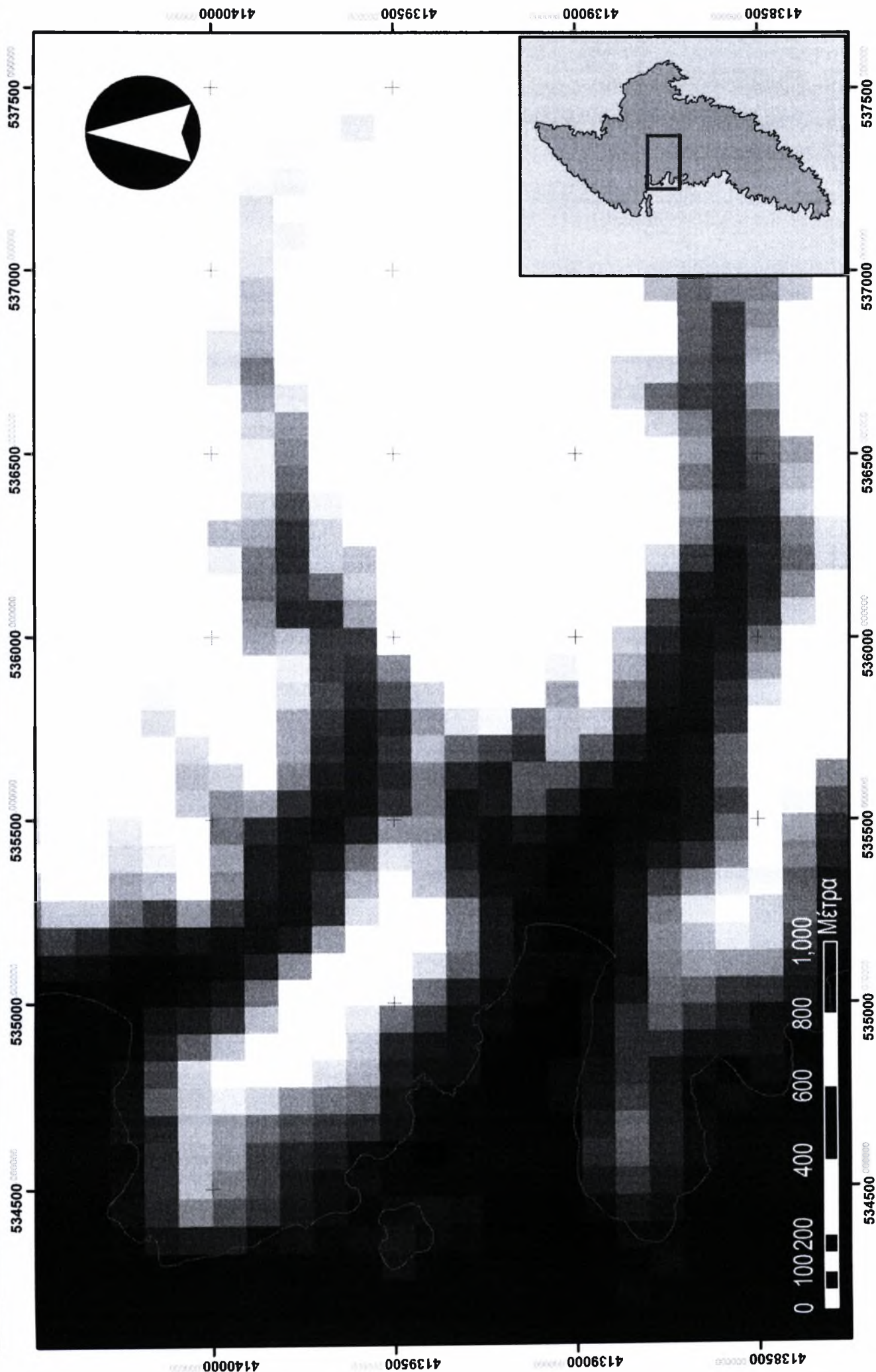
Εικ. 58: Η υδατοδεξαμενή 6

ΧΑΡΤΕΣ

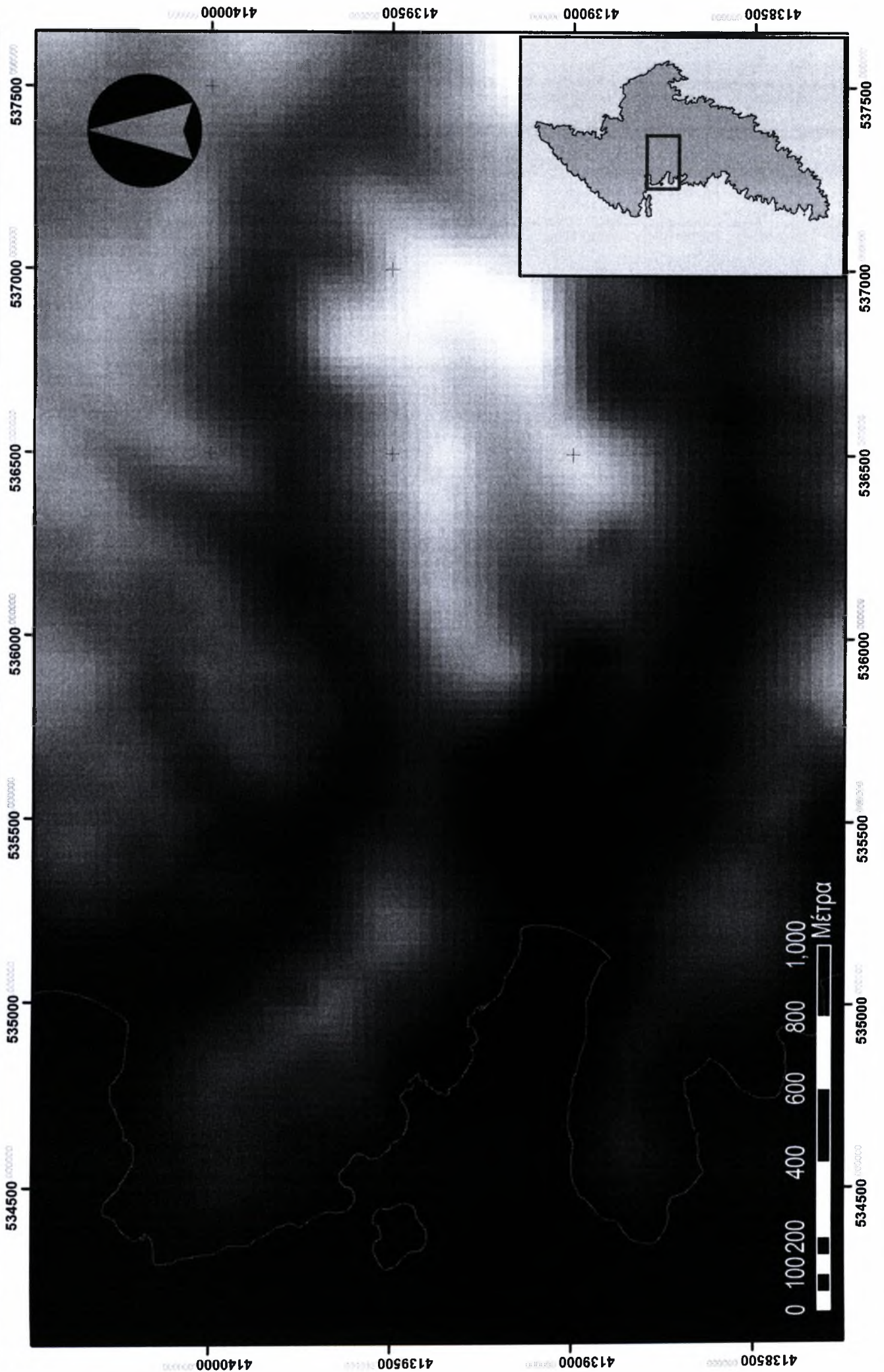
ΧΑΡΤΗΣ 1: ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: ΙΓΜΕ



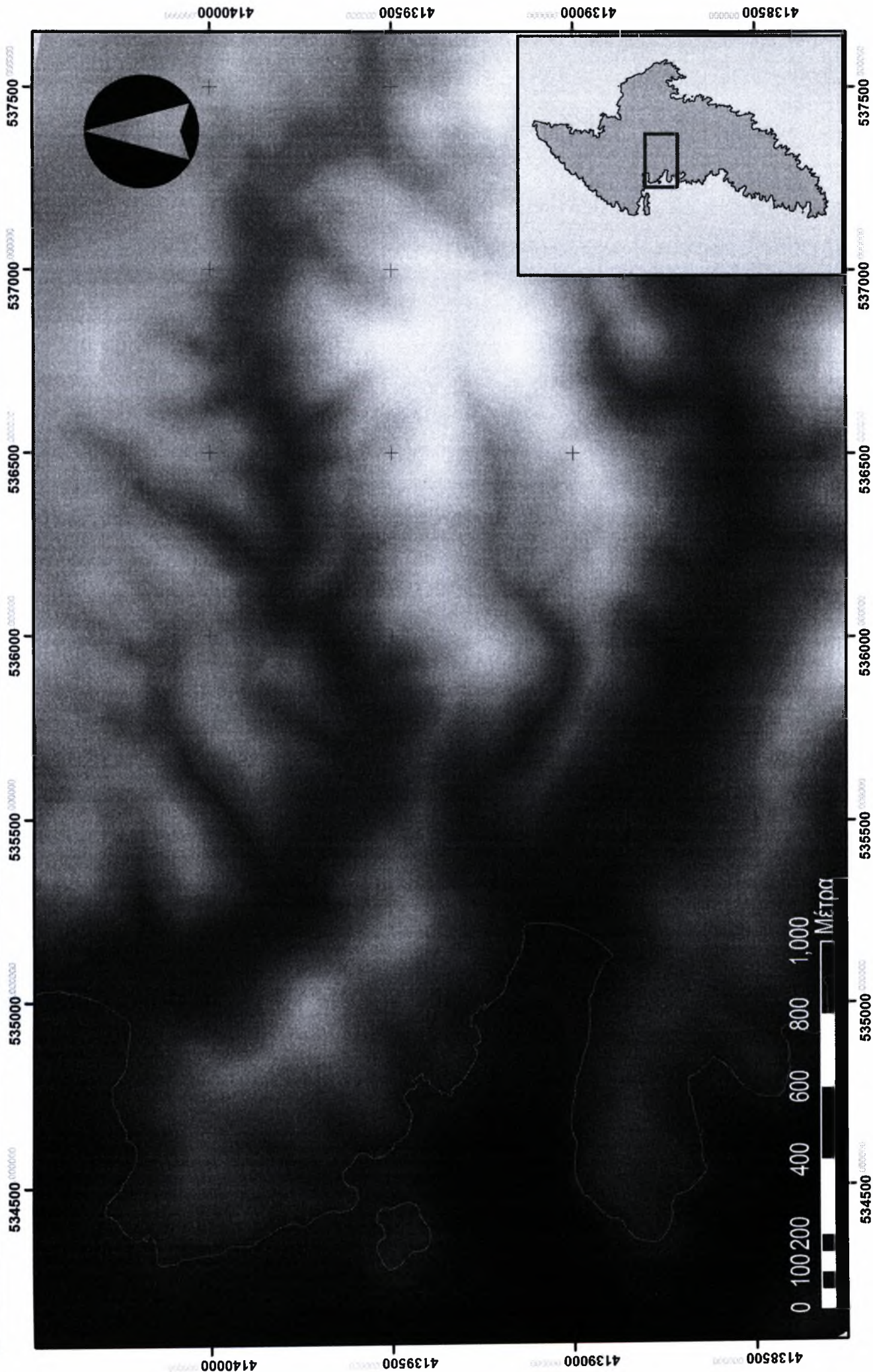
ΧΑΡΤΗΣ 2: SRTM DEM ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ (ανάλυση: 90 μ. ανά εικονοστοιχείο)



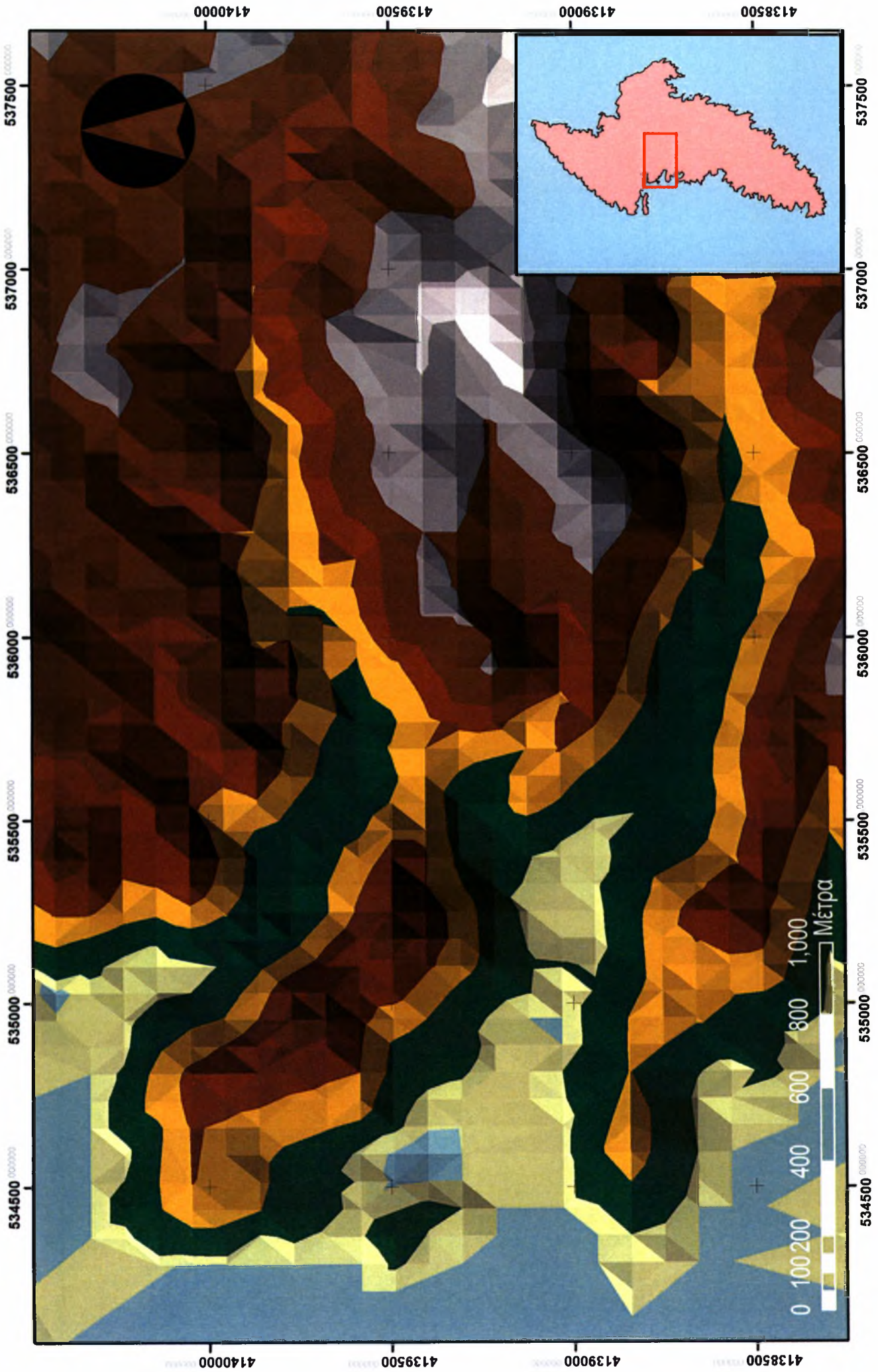
ΧΑΡΤΗΣ 3: ASTER DEM ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ (ανάλυση: 30 μ. ανά εικονοστοιχείο)



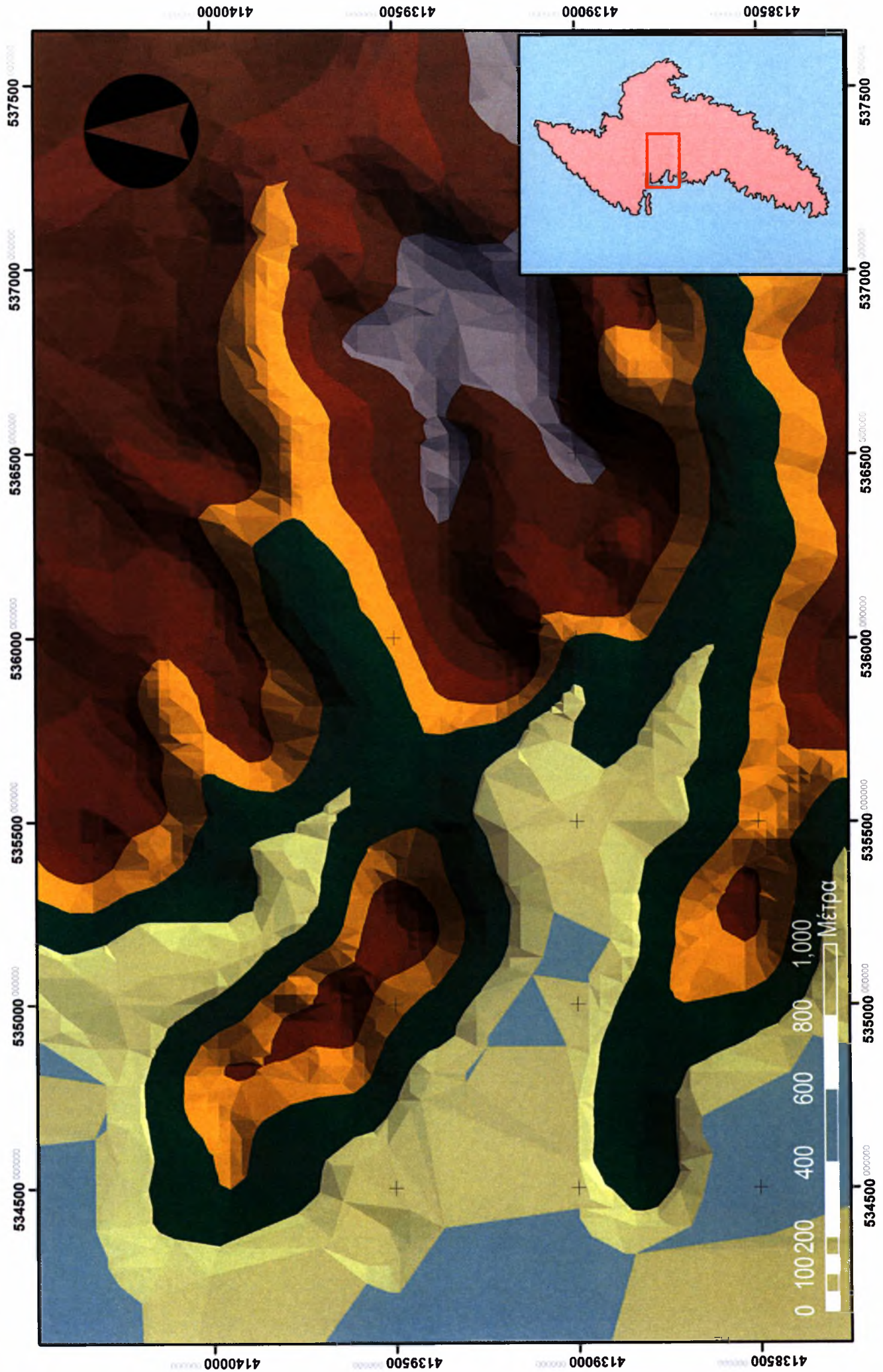
ΧΑΡΤΗΣ 4: DEM ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΣΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΥΣ (ανάλυση: 2 μ. ανά εικονοστοιχείο)



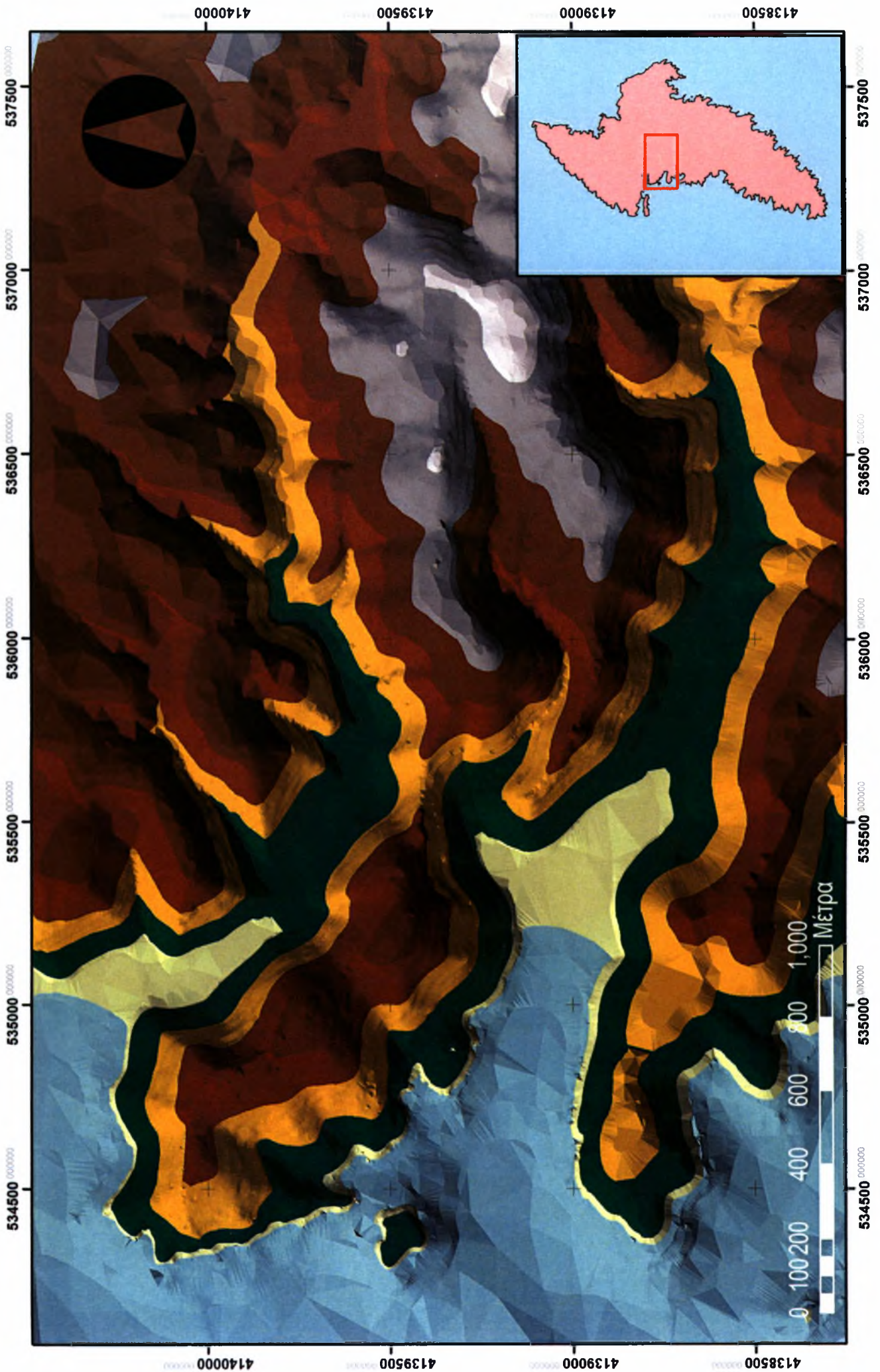
ΧΑΡΤΗΣ 5: ΤΙΝ ΒΑΣΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SRTM ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ



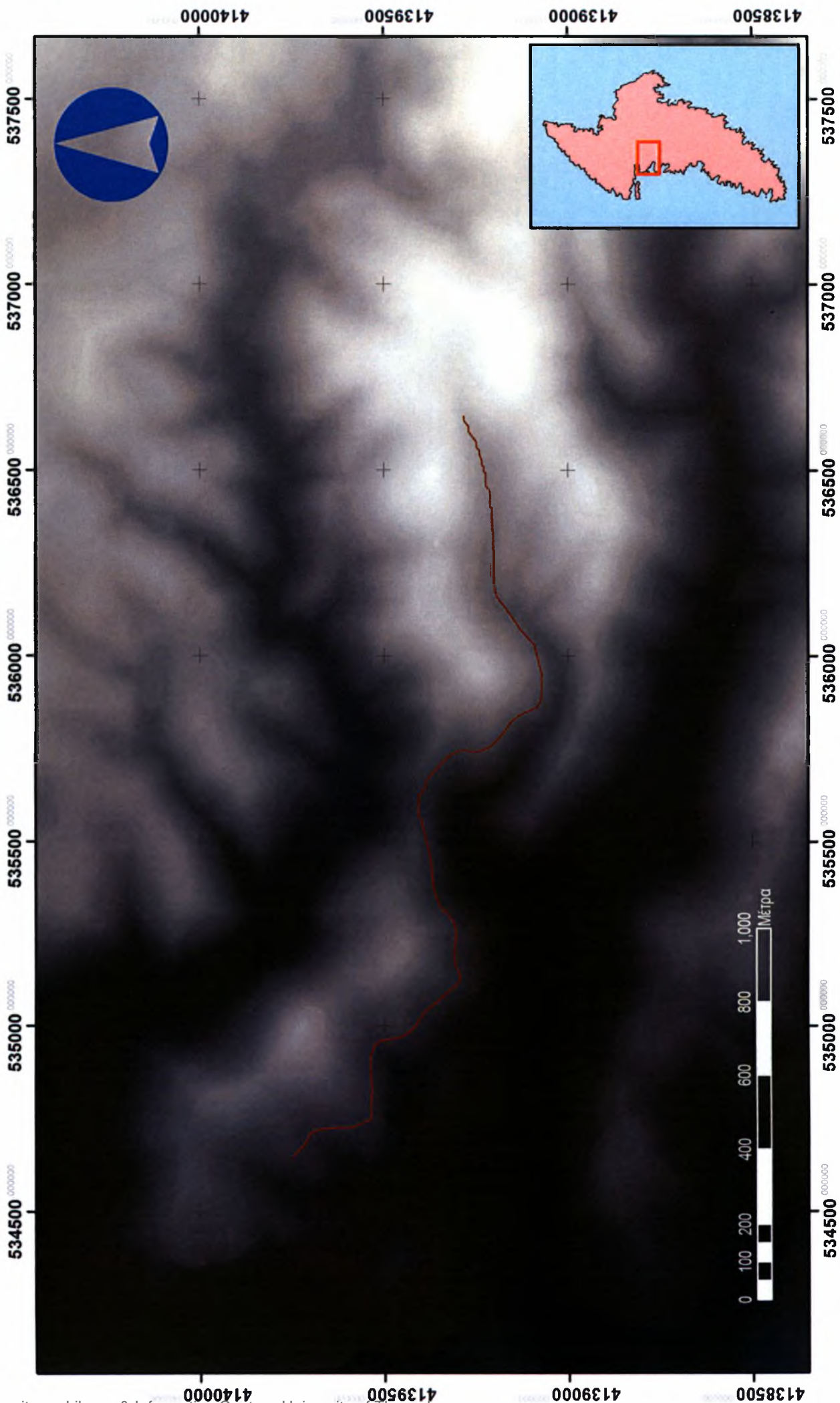
ΧΑΡΤΗΣ 6: ΤΙΝ ΒΑΣΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ASTER ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ



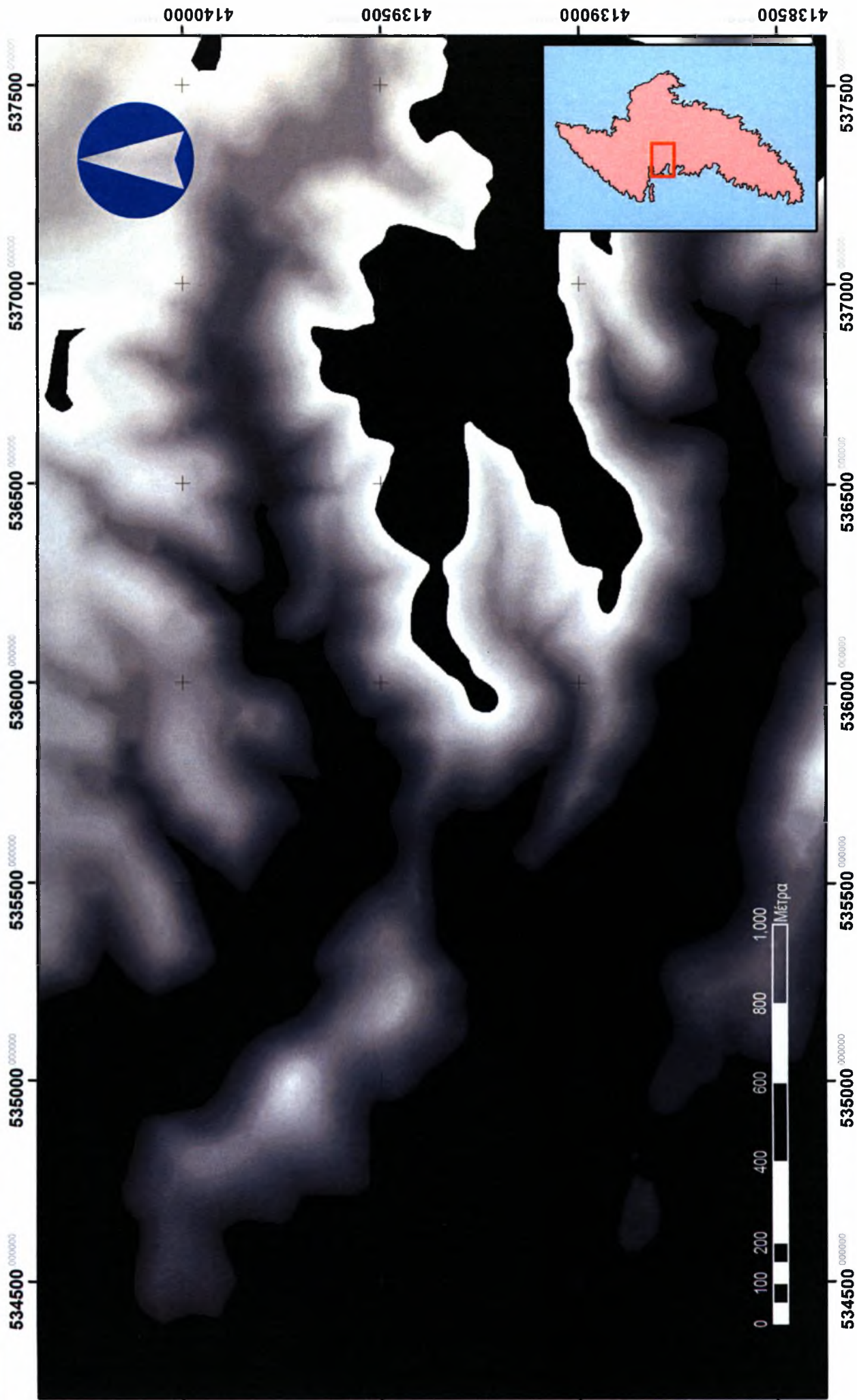
ΧΑΡΤΗΣ 7: ΤΙΝ ΒΑΣΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΥΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ



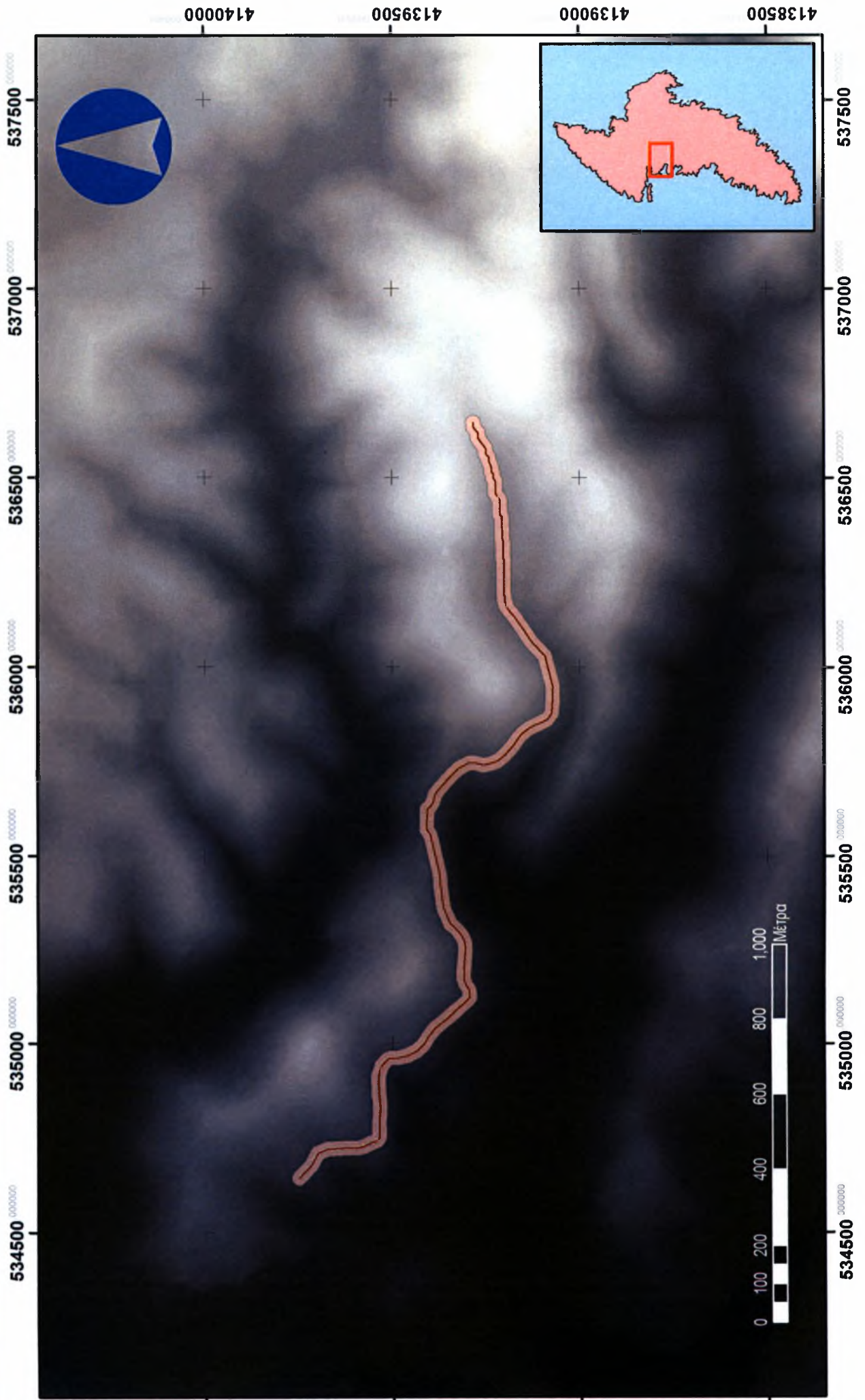
ΧΑΡΤΗΣ 8: ΣΥΜΦΟΡΟΤΕΡΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΣΤΗΝ ΚΡΗΝΗ (με διορθώσεις)



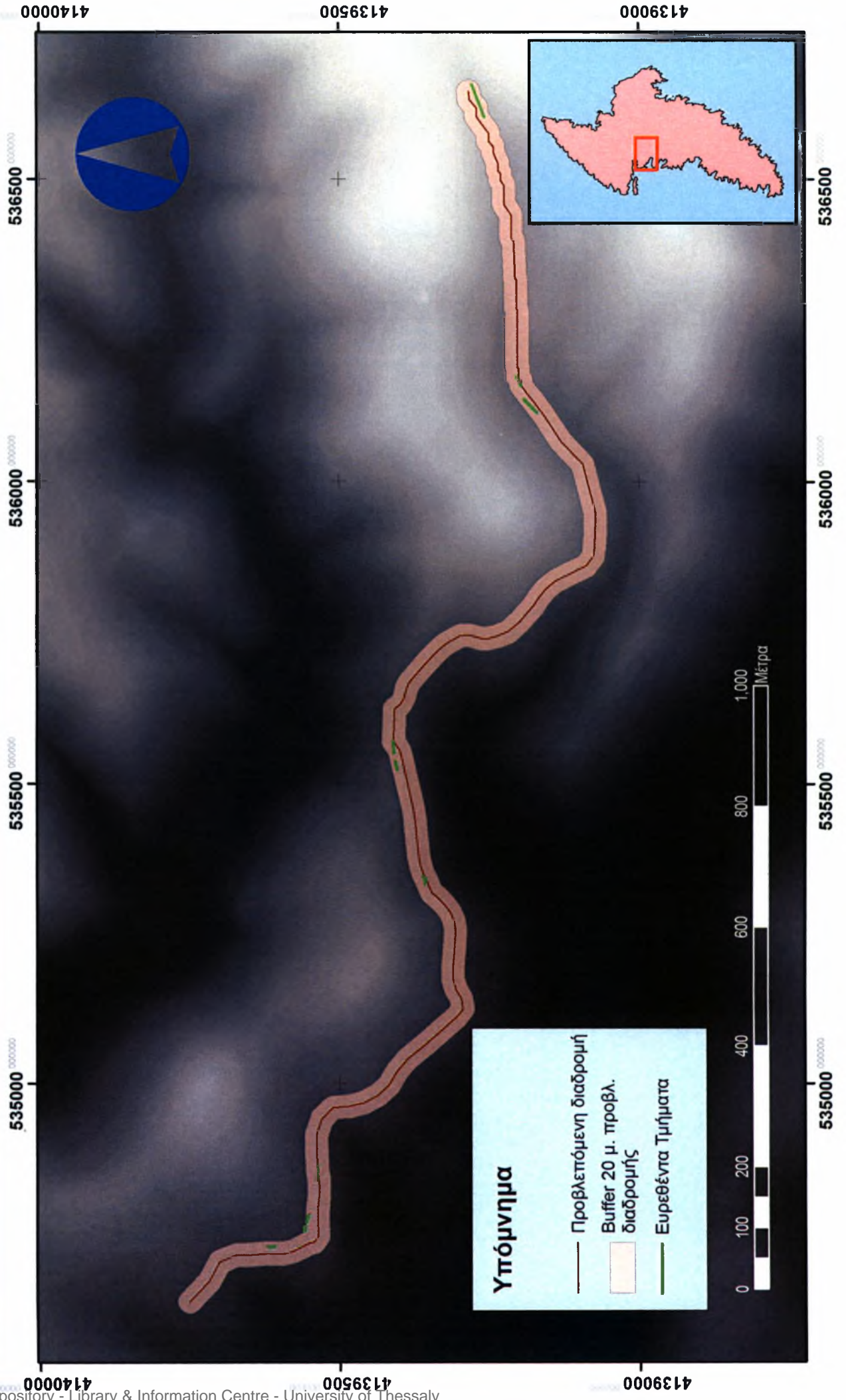
ΧΑΡΤΗΣ 9: ΔΕΜ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ 55 ΚΑΙ 155 ΜΕΤΡΑ



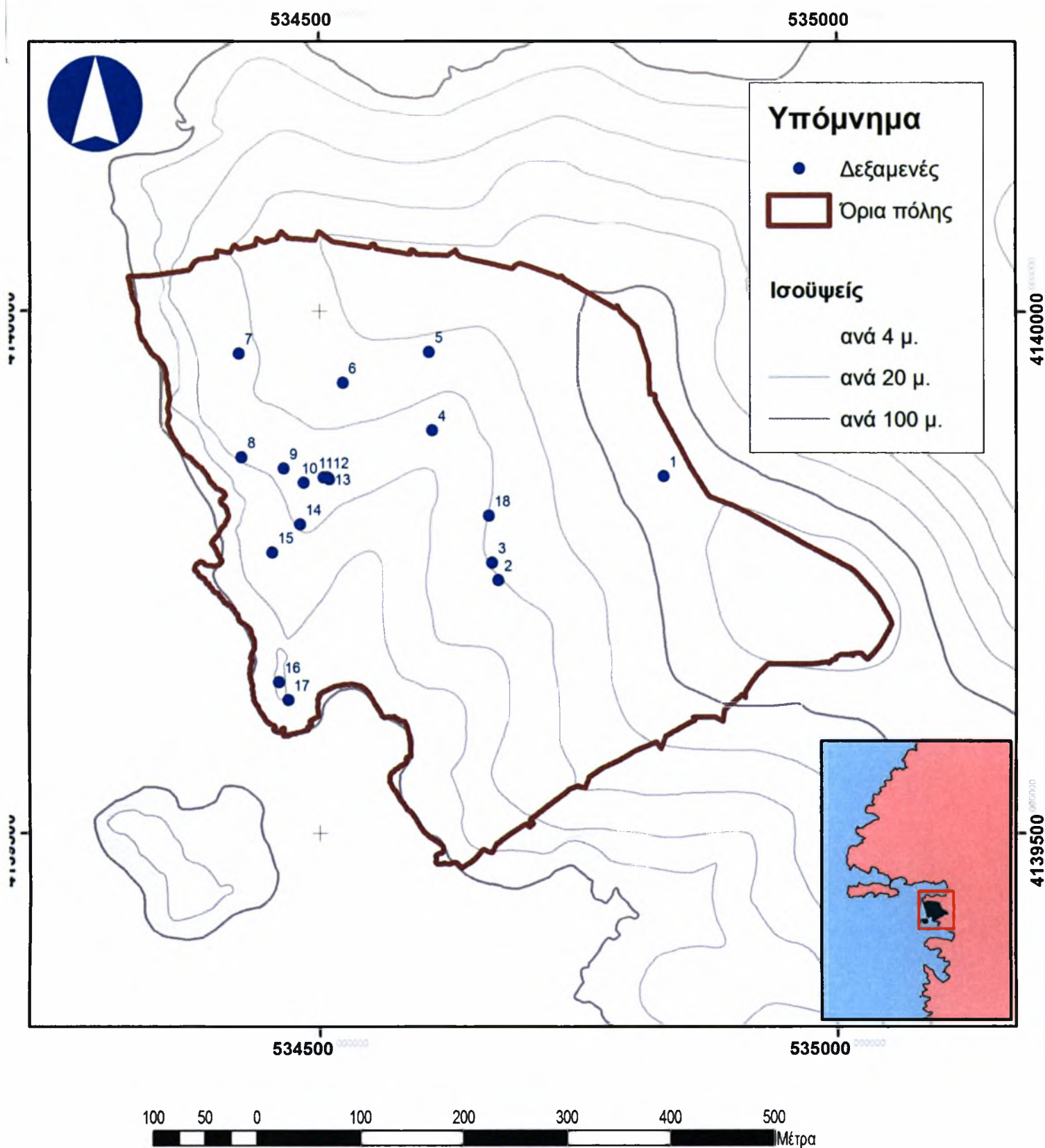
ΧΑΡΤΗΣ 10: BUFFER 20 μ. ΣΥΜΦΟΡΟΤΕΡΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΖΩΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



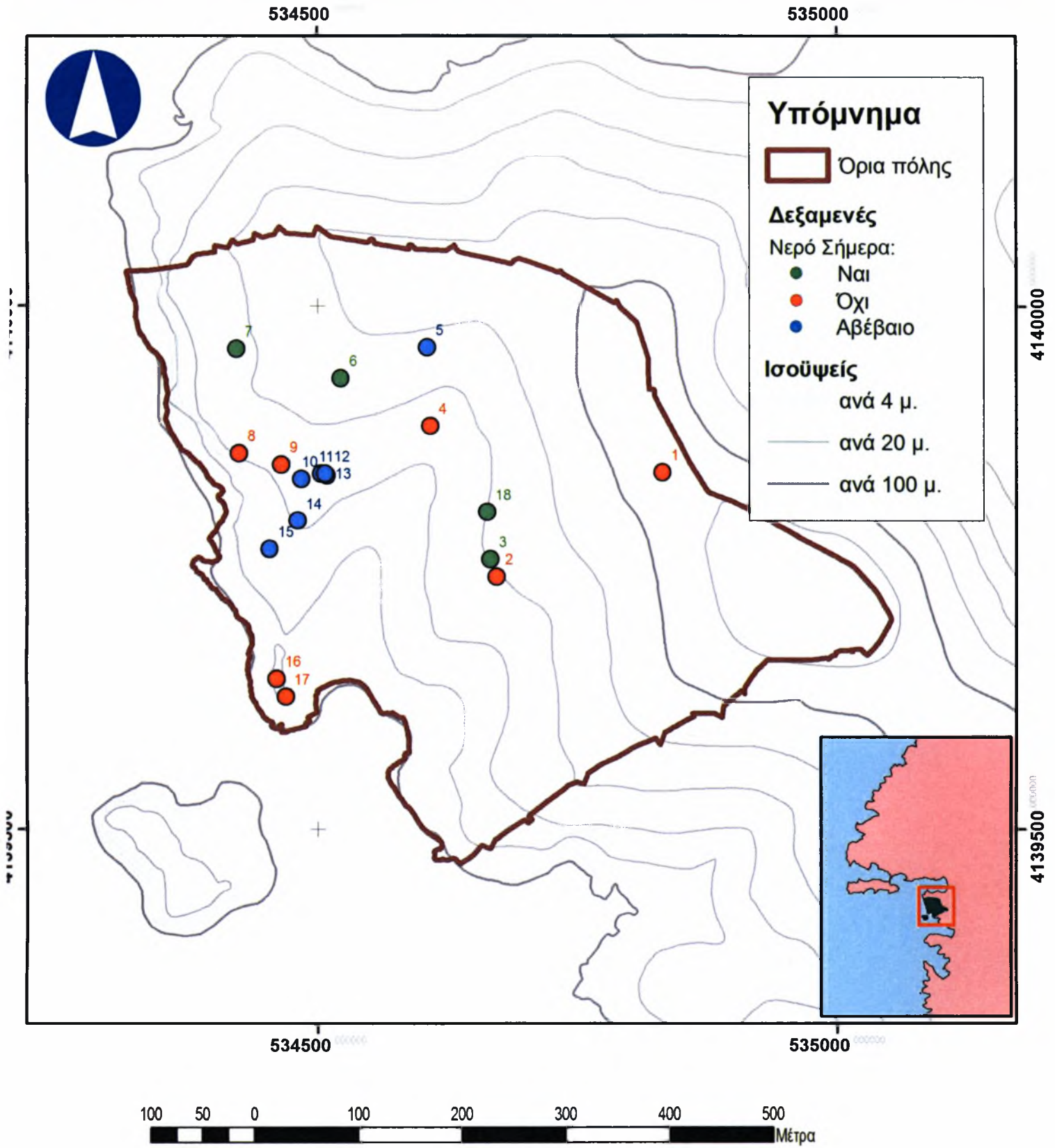
ΧΑΡΤΗΣ 11: ΖΩΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΕΝΤΟΠΙΣΘΕΝΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ



ΧΑΡΤΗΣ 12: ΘΕΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ



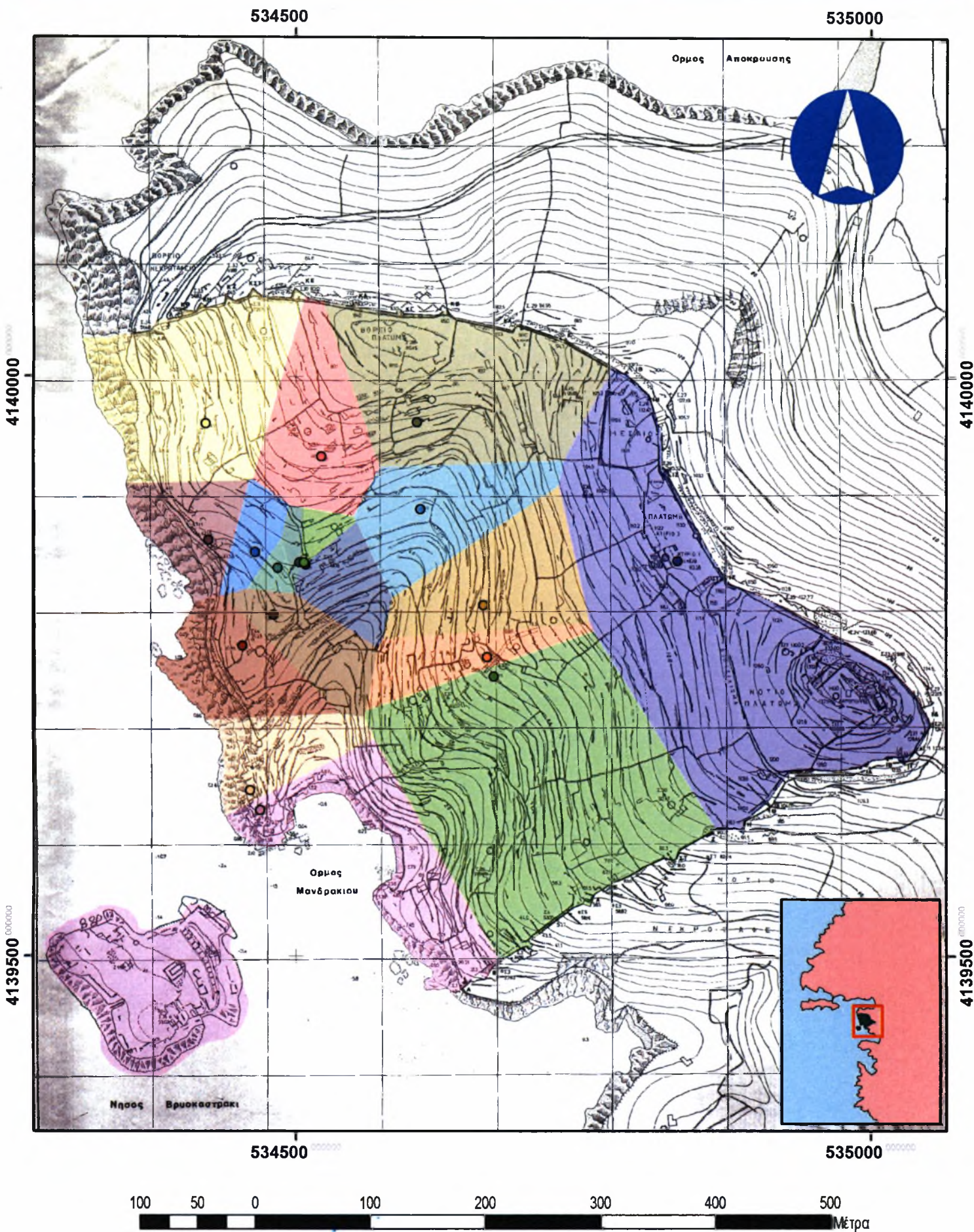
ΧΑΡΤΗΣ 13: ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΜΕ ΝΕΡΟ



ΧΑΡΤΗΣ 14: ΠΟΛΥΓΩΝΑ THIESSEN ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ



ΧΑΡΤΗΣ 15: ΠΟΛΥΓΩΝΑ ΘΙΕΣΣΕΝ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ

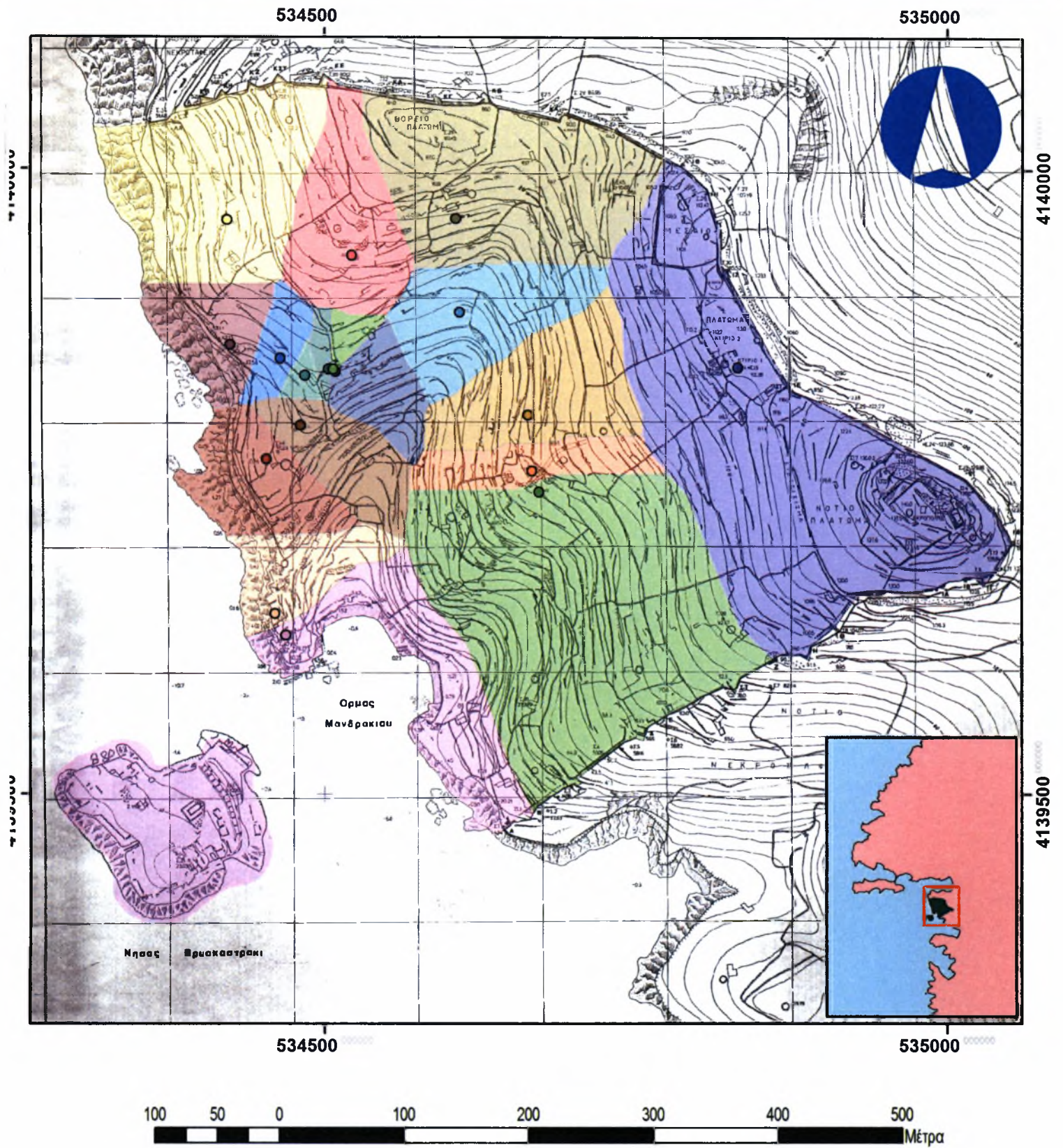


Τοπογραφικό υπόβαθρο: Θ. Χατζηθεοδώρου - Α. Μαζαράκης Αινιάν

**ΧΑΡΤΗΣ 16: ΠΟΛΥΓΩΝΑ ΘΙΕΣΣΕΝ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ
ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΑ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ**

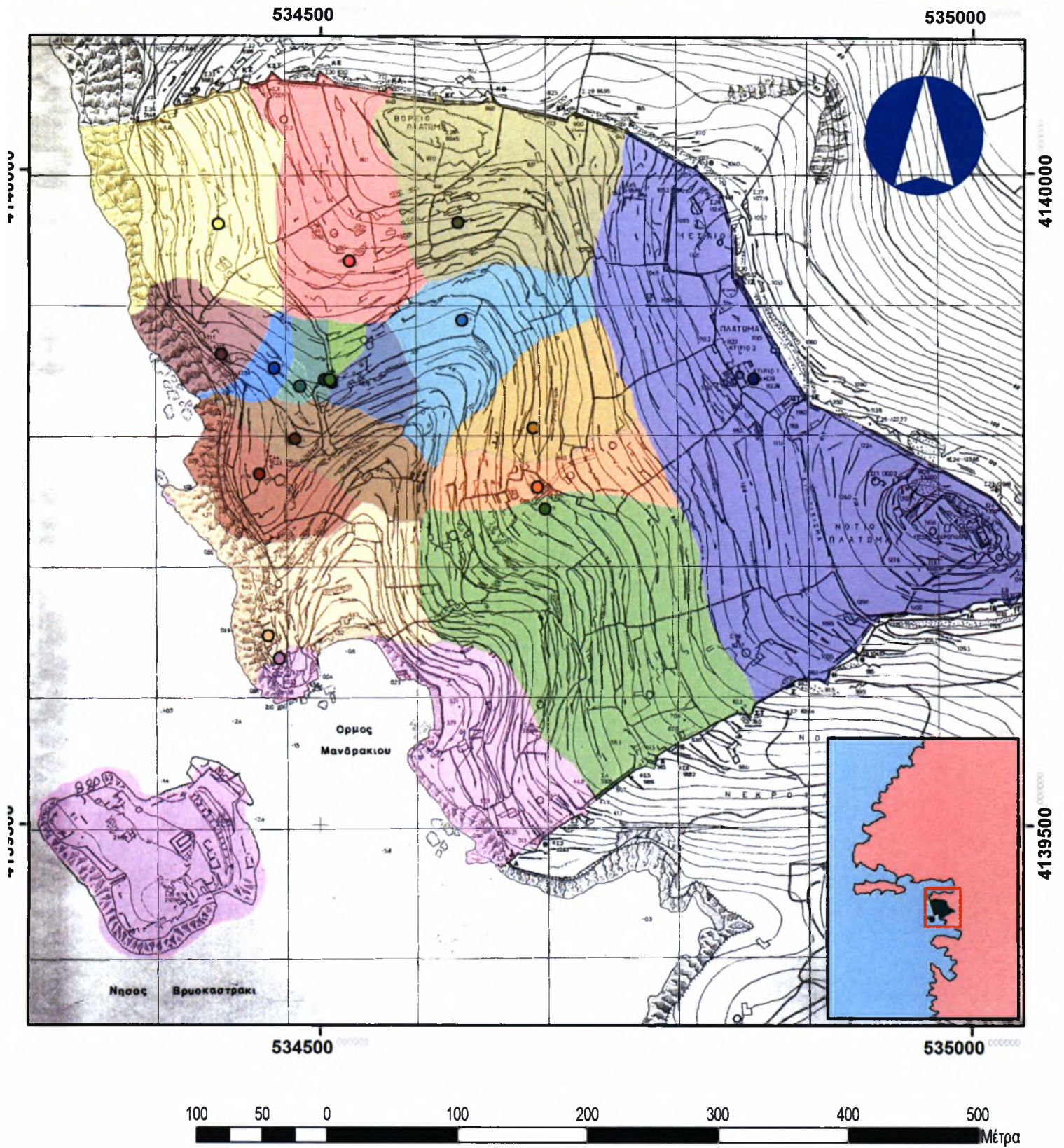


ΧΑΡΤΗΣ 17: ΠΟΛΥΓΩΝΑ THIESSEN ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΑ ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ



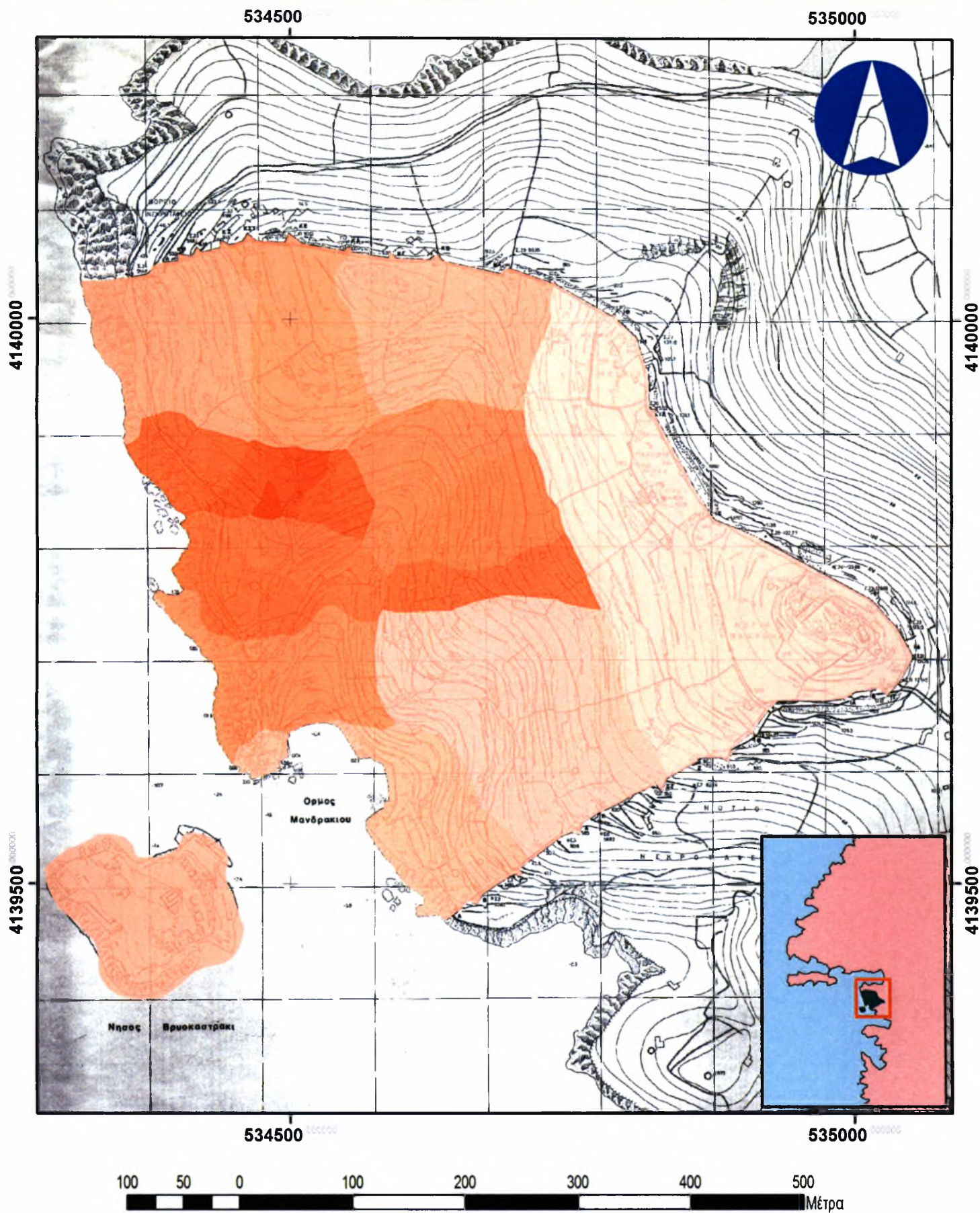
Τοπογραφικό υπόβαθρο: Θ. Χατζηθεοδώρου - Α. Μαζαράκης Αινιάν

ΧΑΡΤΗΣ 18: ΠΟΛΥΓΩΝΑ ΘΙΕΣΣΕΝ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΙΑΓΩΝΙΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΑΝΑΓΛΥΦΟ) ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΩΦΕΡΕΙΑ/ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑ



Τοπογραφικό υπόβαθρο: Θ. Χατζηθεοδώρου - Α. Μαζαράκης Αινιάν

ΧΑΡΤΗΣ 19: ΣΧΕΤΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ ΘΙΕΣΣΕΝ/ΒΟΡΟΝΟΙ ΤΩΝ ΥΔΑΤΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ



Τοπογραφικό υπόβαθρο: Θ. Χατζηθεοδώρου - Α. Μαζαράκης Αινιάν

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000073976

