

# ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



## ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ 3D MODELLING ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΤΗΣ ΕΥΚΛΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΕΡΓΙΝΑ

Καλλιανιώτης Κώστας  
Ρόδος, Ιανουάριος 2018



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τμήμα Μεσογειακών Σπουδών

**ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΑΝΑΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΤΗ  
ΧΡΗΣΗ GIS ΚΑΙ 3D MODELLING  
ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΤΗΣ ΕΥΚΛΕΙΑΣ ΣΤΗ ΒΕΡΓΙΝΑ**

**Καλλιανιώτης Κώστας**

Διπλωματική Εργασία

**Επιβλέπων**

Καθ. Α. Γεωργόπουλος (ΕΜΠ)

**Συνεπιβλέπων**

Καθ. Γ. Παυλίδης (Ερ. Κέντρο ΑΘΗΝΑ, Ερευνητής με βαθμίδα Α')

**Εξεταστική Επιτροπή**

Καθ. Α. Κουτσούδης (Ερ. Κέντρο ΑΘΗΝΑ, Ερευνητής με βαθμίδα Β')

Καθ. Δ. Τσιαφάκη (Ερ. Κέντρο ΑΘΗΝΑ, Ερευνήτρια με βαθμίδα Α')

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ  
ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει με όλες μου τις δυνάμεις να το προσδιορίσω σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία.

Ο δηλών  
Καλλιανιώτης Κώστας

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει την χρήση ψηφιακών τεχνολογιών στην τεκμηρίωση της αρχαιολογικής ανασκαφής που πραγματοποιήθηκε στον χώρο του Ιερού της Εύκλειας στις Αιγές (Βεργίνα Ημαθίας) τον Αύγουστο του 2017 από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα επιχειρείται ψηφιακή τεκμηρίωση με τη χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (Geographic Information Systems - GIS) και της τεχνικής τρισδιάστατης ψηφιοποίησης «Δομή από Κίνηση» («Structure from Motion» - SfM). Μετά από μια σύντομη αναφορά στην ιστορία και το θεωρητικό υπόβαθρο των παραπάνω τεχνολογιών, καθώς επίσης και ιστορία της πόλης των Αιγών και της αρχαιολογικής έρευνας που έχει διεξαχθεί και συνεχίζει να διεξάγεται εκεί, παρατίθεται το υλικό, το λογισμικό και η μεθοδολογία που ακολουθείται προς το τελικό αποτέλεσμα τις εργασίας.

Η μεθοδολογία αφορά την δημιουργία γεωαναφερμένων 3D μοντέλων στο πρόγραμμα Agisoft PhotoScan και την ψηφιακή τους ενοποίηση στην εφαρμογή GIS ESRI ArcScene, παράλληλα με την εισαγωγή στο παραπάνω σύνολο ξεχωριστών χρωματικών Layers που αντιστοιχούν στα επιμέρους δεδομένα της ανασκαφής. Τελικό αποτέλεσμα των παραπάνω διεργασιών είναι ένα GIS το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιος για να «περιηγηθεί» ψηφιακά στο σκάμμα του 2017, να πραγματοποιήσει διαφόρων ειδών μετρήσεις που υπό φυσιολογικές συνθήκες θα απαιτούσαν φυσική παρουσία στον χώρο της ανασκαφής, να πληροφορηθεί σχετικά με τις επιμέρους τομές και τα ευρήματα της ανασκαφής 2017 αλλά και να προσθέσει καινούργια 3D μοντέλα και Layers με πληροφορίες από τις μελλοντικές ανασκαφές στον χώρο, προκειμένου να συμβάλλει στη δημιουργία μια διαρκώς εμπλουτιζόμενης βάσης για την τεκμηρίωση της ανασκαφής στο Ιερό της Εύκλειας.

Οι όποιες δυσκολίες συναντώνται είναι τεχνικής κυρίως φύσεως, καθώς η χρήση των απαραίτητων για την ολοκλήρωση του παραπάνω εγχειρήματος προγραμμάτων απαιτεί ηλεκτρονικούς υπολογιστές υψηλών προδιαγραφών (πέρα από τη δεδομένη αναγκαία τεχνική κατάρτιση και ευχέρεια χρήσης από μέρος του χρήστη του συστήματος), ενώ και τα ίδια τα προγράμματα εμφανίζουν ποικίλης φύσεως περιορισμούς και σφάλματα («bugs») που δυσχεραίνουν την όλη διαδικασία. Ωστόσο, τα οφέλη του τελικού

αποτελέσματος για την τεκμηρίωση της ανασκαφής κρίνονται σαφώς ισχυρότερα των όποιων δυσκολιών-περιορισμών.

Λέξεις κλειδιά: ψηφιακή αρχαιολογία, τρισδιάστατη ψηφιοποίηση/μοντελοποίηση, ανασκαφική τεκμηρίωση, Δομή από Κίνηση, Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα, Αιγές, Ιερό Εύκλειας, Βεργίνα

## **Abstract**

### **Excavation documentation using GIS and 3D modelling: the case study of the Sanctuary of Eukleia in Vergina**

The purpose of this dissertation is to present the use of digital technologies in the documentation of the archaeological excavation conducted by the Aristotle University of Thessaloniki at the site of the Sanctuary of Eukleia in Aigai (Vergina, prefecture of Imathia) in August 2017. Specifically, the excavation's digital documentation is attempted with the use of Geographic Information Systems (GIS) and the 3D digitization technique known as «Structure from Motion» (SfM). After a short report on the history and theoretical background of the above documentation methods, as well as on the history of the city of Aigai and the archaeological research that has been conducted and is still being conducted there, the hardware, software and methodology utilized in pursuing the dissertation's final goal are presented.

This methodology includes the creation of georeferenced 3d models using Agisoft PhotoScan, the digital unification of these models using the GIS application ESRI ArcScene, and the introduction of colored Layers that correspond to the various types of archaeological data. This process results in a GIS which can be used to interact with a digital version of the 2017 excavation site, to conduct various measurements that would otherwise only be possible physically at the actual site, to acquire more specific information on the 2017 excavation squares and various finds, as well as to add new 3D models and Layers with information acquired on future excavations in order to create a constantly updated documentation database for the excavation at the Sanctuary of Eukleia.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

Most, if not all, difficulties encountered during this process are technical in nature, since the necessary computer software requires potent, high-end computers in order to function properly, as well as an adequate level of knowledge and expertise on behalf of the user. In addition to that, the programs themselves raise obstacles of various severity mainly due to bugs encountered even in their latest versions. However, the digital documentation benefits of the end result are indisputable and well worth the difficulties.

Keywords: digital archaeology, 3D digitization/modelling, excavation documentation, Structure from Motion, Geographic Information Systems, Aigai, Sanctuary of Eukleia, Vergina

## Ευχαριστίες

Οι πρώτοι τους οποίους οφείλω να ευχαριστήσω είναι η Χρυσούλα Σαατσόγλου - Παλιαδέλη, Ομότιμη καθηγήτρια Κλασικής Αρχαιολογίας του τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, και οι άμεσοι συνεργάτες της στην πανεπιστημιακή ανασκαφή της Βεργίνας, Δρ. Αθανασία Κυριάκου και Δρ. Αλέξης Τούρτας, χωρίς την σταθερά καθοριστικότατη επιρροή των οποίων από το 2008 ως σήμερα η ζωή μου και η επαγγελματική μου σταδιοδρομία ενδεχομένως και να είχαν καταλήξει να έχουν ελάχιστη έως καθόλου σχέση με την αρχαιολογική επιστήμη.

Ένα ευχαριστώ είναι το λιγότερο που οφείλω, επίσης, στους γονείς μου και σε λοιπούς συγγενείς και φίλους, οι οποίοι ανέχθηκαν αρκετές «αδιοτροπίες» μου στο διάστημα που ήμουν απασχολημένος με τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, πρέπει να ευχαριστήσω τους διδάσκοντες και τους λοιπούς ιθύνοντες πίσω από το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες», για το γεγονός ότι άνοιξαν μέσω του ΠΜΣ διόδους προς την ενασχόληση με ειδικότητες και τεχνολογίες της αρχαιολογικής επιστήμης που ουδέποτε θα μπορούσα να είχα φανταστεί πριν την παρακολούθηση των μαθημάτων.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract .....	4
Πίνακας Εικόνων.....	9
Εισαγωγή.....	12
1. Τεχνολογία .....	15
1.1 Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα.....	16
1.1.1 Πρώτοι σημαντικοί σταθμοί στην ανάπτυξη των GIS .....	18
1.1.2 GIS και Αρχαιολογία.....	20
1.2 3D Ψηφιοποίηση .....	22
1.2.1 Δομή από Κίνηση .....	27
1.3 Λογισμικό.....	29
1.3.1 Agisoft PhotoScan .....	29
1.3.2 ESRI ArcScene .....	32
2. Αιγαί.....	34
2.1 Ίδρυση, Άνοδος και Πτώση.....	34
2.2 Σύντομο ιστορικό της αρχαιολογικής έρευνας.....	36
2.3 Το Ιερό της Εύκλειας.....	41
2.3.1 Δυτική Στοά.....	44
2.3.2 Νότιος Αναλημματικός Τοίχος.....	47
3. Μεθοδολογία και Εφαρμογή .....	49
3.1 Το σκέλος της ανασκαφής.....	50
3.2 Το σκέλος της ψηφιοποίησης.....	53
3.3 Το σκέλος σύστασης της γεωβάσης .....	62
3.4 Αποτελέσματα της διαδικασίας.....	74
4. Σκέψεις, δυσκολίες και τελικό συμπέρασμα .....	79
4.1 Σκέψεις για τη μελλοντική έρευνα .....	79
4.2 Δυσκολίες κατά τη διαδικασία .....	81



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

4.3 Τελικό Συμπέρασμα .....	85
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	86
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία .....	88
Διαδικτυακές πηγές .....	90

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1. Τα συστατικά ενός GIS.....	17
Εικόνα 2. Ο "χάρτης της χολέρας" του Dr. John Snow (πηγή: <a href="http://www.bl.uk">http://www.bl.uk</a> ).....	19
Εικόνα 3. Πρώιμο παράδειγμα GIS από το 1987 (πηγή: Harris, T. 1987, σελ. 164).....	21
Εικόνα 4. Τα στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης (πηγή: Χαμζάς 2005, σελ. 148).....	23
Εικόνα 5. Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου Structure from Motion (πηγή: <a href="http://www.theia-sfm.org">www.theia-sfm.org</a> ) .....	28
Εικόνα 6. Από τα σχέδια του Henry Daumet κατά την ανασκαφή του Leon Heuzey στο ανάκτορο (πηγή: <a href="http://vergina.web.auth.gr">http://vergina.web.auth.gr</a> ).....	37
Εικόνα 7. Το τοπογραφικό σχέδιο του Henry Daumet. Διακρίνεται ο χώρος της αρχαίας πόλης, τα Παλατίτσια, οι οικισμοί Κούτλες και Μπάρμπες και ανάμεσά τους η Μεγάλη Τούμπα (πηγή: Heuzey 1876).....	39
Εικόνα 8. Η χρυσή λάρνακα του Φιλίππου Β' (πηγή: <a href="http://www.aigai.gr">www.aigai.gr</a> ) .....	40
Εικόνα 9. Οι τρεις αναθηματικές βάσεις και ο βωμός (πάνω), και η επιγραφή της Ευρυδίκης (κάτω) (πηγή: Παλιαδέλη 1987, σελ. 745) .....	42
Εικόνα 10. Κάτοψη του ευρύτερου τομέα του Ιερού της Εύκλειας (πηγή: αρχείο Αλέξη Τούρτα) .....	44
Εικόνα 11. Η Δυτική Στοά κατά την εκκίνηση της ανασκαφής 2017. Στο βάθος διακρίνεται και ο σηκός του Ναού II.....	46
Εικόνα 12. Το σημείο, αμέσως νότια της Δυτικής Στοάς, όπου ο Ν. Αναλημματικός Τοίχος κάμπτεται προς νότο.....	48
Εικόνα 13. Το τμήμα του Αναλημματικού Τοίχου κατά το οποίο ακολουθεί το σχήμα της Δ. Στοάς, στα Δ. και ΝΔ της.....	48
Εικόνα 14. Σχηματοποίηση της μεθοδολογίας προς την ολοκληρωμένη γεωβάση.....	50
Εικόνα 15. Η κάλυψη του Ναού Ι με γεωύφασμα πριν την επιχωμάτωσή του (πηγή: αρχείο ανασκαφής Βεργίνας) .....	51
Εικόνα 16. Το προστώο της Δυτικής Στοάς στο τέλος της ανασκαφής του 2016, με τα γεωαναφερμένα Markers υλοποιημένα.....	55
Εικόνα 17. Οι τοποθεσίες λήψης των 986 ευθυγραμμισμένων φωτογραφιών για την ψηφιοποίηση του σκάμματος 2017, όπως φαίνονται στο Photoscan. ....	55
Εικόνα 18. Το Β τμήμα του προστώου στη διάρκεια της ανασκαφής 2016. ....	58

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

Εικόνα 19. Το πρώτο στρώμα του Στρώματος Καταστροφής στο Ν τμήμα του προστώου, πριν την αφαίρεσή του το 2016. ....	58
Εικόνα 20. Το δεύτερο στρώμα του παραπάνω Στρώματος Καταστροφής. ....	59
Εικόνα 21. Η τομή στα Α του στυλοβάτη της Δ στοάς. ....	59
Εικόνα 22. Τα θεμέλια του βωμού. ....	60
Εικόνα 23. Ο αποθέτης του 1990, όπου εντοπίστηκε το άγαλμα της πεπλοφόρου. ....	60
Εικόνα 24. Ο αποθέτης του 2003. ....	61
Εικόνα 25. Ο ψηφιακός (αριστερά) και ο φυσικός (δεξιά) κόσμος. Τμήμα του μοντέλου του Ν. Αναλημματικού Τοίχου, και το ίδιο σημείο κατά την επιχωμάτωσή του στην ανασκαφή 2017. ....	61
Εικόνα 26. Η πηλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του Προστώου. Δεξιά το 3D μοντέλο (2016), αριστερά η φωτογραφία (2017). ....	62
Εικόνα 27. Το πλήρες μοντέλο της τελικής φάσης του χώρου ανασκαφής 2017. ....	63
Εικόνα 28. Προσθήκη των μοντέλων για τα δωμάτια τις Δ. στοάς και για το Δ. σκέλος του Ν. Αναλημματικού Τοίχου. ....	63
Εικόνα 29. Τα αποτελέσματα της μέτρησης των εξωτερικών διαστάσεων της Δ. Στοάς μέσα στο ArcScene. ....	64
Εικόνα 30. Παράδειγμα μοντέλου σημείου ενδιαφέροντος, που εξήχθη στη σελίδα Sketchfab ....	66
Εικόνα 31. Το πολυγωνικό Feature Class της Τομής 2017/Κ, διάφορα χρωματικά Features που αντιστοιχούν σε ευρήματα, και οι πίνακες με τις πληροφορίες (Attribute Tables) τους.....	66
Εικόνα 32. Τμήμα του φύλλου καταγραφής μικροευρημάτων της τομής 2017/Κ.....	67
Εικόνα 33. Οι μεταβολές στο χώρο της Δυτικής Στοάς μετά τις ανασκαφές του 2016 (πάνω) και του 2017 (κάτω) .....	75
Εικόνα 34. Ο μάρτυρας και η πηλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του προστώου, πριν και μετά την αφαίρεσή τους. ....	76
Εικόνα 35. Το Ν. Δωμάτιο της Δ. Στοάς, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την επιχωμάτωσή του. ....	77
Εικόνα 36. Τα σημεία εντοπισμού των κυριότερων μικροευρημάτων της ανασκαφής του 2017. ....	77
Εικόνα 37. 3D μοντέλα του Α. λάκκου στο Β. τμήμα του Προστώου, στην αρχή της ανασκαφής του 2016 (1), στη διάρκειά της (2), στο τέλος της (3) και στο τέλος της ανασκαφής του 2017 (4). ....	78
Εικόνα 38. Από δεξιά προς αριστερά, οι τομές 2017/Ι, J και Κ στο τέλος της ανασκαφής 2017. ....	79

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

Εικόνα 39. Δείγμα του τυχαίου σφάλματος των αναίτια αλλοιωμένων Textures ενός μοντέλου κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του στο ArcScene..... 83

Εικόνα 40. Χαμηλής ποιότητας πλαστικό ποτήρι, αποτυπωμένο σε ένα από τα μοντέλα του Προσώου..... 84

## Εισαγωγή

Σύμφωνα με δύο χαρακτηρισμούς ιδιαίτερα δημοφιλείς ανάμεσα στους διδάσκοντες καθηγητές της Αρχαιολογίας, κάθε αρχαιολογική ανασκαφή είναι «μια καταστροφική διαδικασία» και «ένα πείραμα που δεν μπορεί να επαναληφθεί» (Barker 1993, σελ. 13). Πέρα από το ότι είναι αρκετά «έντονοι» ώστε να προκαλέσουν εντύπωση στους φοιτητές της Αρχαιολογίας, αυτοί οι δύο χαρακτηρισμοί είναι παράλληλα και απόλυτα ακριβείς, καθώς η προοδευτική αφαίρεση των αρχαιολογικού ενδιαφέροντος επιχώσεων και η μετακίνηση-απομάκρυνση των ευρημάτων που προκύπτουν κατά την ανασκαφή είναι πράξεις μη-αναστρέψιμες όσον αφορά την εδαφική και στρωματογραφική διαμόρφωση της υπό έρευνα περιοχής. Κάποιοι άλλοι βέβαια επέλεξαν να εστιάσουν στην πιο αισιόδοξη οπτική των πραγμάτων και να χαρακτηρίσουν την ανασκαφή όχι ως «καταστροφή» αλλά ως «δημιουργία» (Frankel, D. 1993, σελ. 875–877), κυρίως επειδή η ανασκαφική διαδικασία δημιουργεί σωρεία από νέες πληροφορίες και δεδομένα που μπορούν να καταγραφούν και να αναλυθούν από τους αρμόδιους επιστήμονες.

Δεδομένων των τριών παραπάνω χαρακτηρισμών, η εμπειριστατωμένη καταγραφή και τεκμηρίωση της ανασκαφικής διαδικασίας και των προϊόντων της έχουν καθιερωθεί ως αναπόσπαστα και άκρως σημαντικά κομμάτια της μεθοδολογίας του αρχαιολόγου, ο οποίος καλείται να συγκεντρώσει και να καταγράψει όσες περισσότερες από τις πληροφορίες και τα δεδομένα που «δημιουργούνται» κατά τη διάρκεια της «καταστροφής», προκειμένου να συμβάλει στην μελέτη του ανασκαφθέντος αρχαιολογικού υλικού, όχι μόνο από τον ίδιο και από σύγχρονους συναδέλφους του, αλλά και από τους μελλοντικούς αρχαιολόγους. Άλλωστε οι πρακτικές τεκμηρίωσης που ισχύουν και χρησιμοποιούνται σήμερα μπορεί να μην επαρκούν για την ερμηνεία και την επίλυση των αρχαιολογικών προβλημάτων που θα προκύψουν στο μέλλον, άρα οι αρχαιολόγοι οφείλουν να βελτιώνουν και να βελτιστοποιούν διαρκώς την ποιότητα της καταγραφής και της ανασκαφικής τεκμηρίωσής τους.

Η εξέλιξη των τεχνικών καταγραφής και τεκμηρίωσης που έχει στη διάθεσή του ο αρχαιολόγος ακολουθεί τις εξελίξεις στον ευρύτερο τεχνολογικό τομέα. Συνεπώς,

τεχνικές περισσότερο «παραδοσιακές» όπως η απλή συγγραφή περιγραφικών κειμένων, η σχεδίαση βοηθητικών σκαριφημάτων και η αναλογική φωτογραφία, κατέληξαν να συνδυάζονται με πιο σύγχρονα μέσα (ή και να αντικαθίστανται πλήρως από αυτά) όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, η ψηφιακή φωτογραφία, η παράταξη μη-επανδρωμένων αεροσκαφών («drones»), η τρισδιάστατη (3D) ψηφιοποίηση και η χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Η δυνατότητα χρήσης των νεότερων τεχνολογικών εξελίξεων για την καταγραφή και την 3D τεκμηρίωση των στρωματογραφικών αλληλουχιών που απασχολούν τους αρχαιολόγους κατά τη διάρκεια των ανασκαφικών τους ερευνών (αλλά και των ευρημάτων που αποκαλύπτονται από αυτές τις έρευνες) ανοίγει πολλές και ολοκαίνουργες προοπτικές και πεδία σκέψης και δράσης όσον αφορά τις δυνατότητες καταγραφής και ερμηνείας, συμπεριλαμβανομένου της δυνατότητας να οπτικοποιηθεί αυτό που ο Harris είχε ονομάσει «Τέταρτη Διάσταση»: ο χρόνος (Harris, E. 1989, σελ. 83).

Η παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθεί με δύο σύγχρονες τεχνικές τεκμηρίωσης, και συγκεκριμένα την τεχνική 3D ψηφιοποίησης «Δομή από Κίνηση» (SfM) και τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό, θα επιχειρηθεί η εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών στην τεκμηρίωση της ανασκαφής που πραγματοποιήθηκε στον χώρο του Ιερού της Εύκλειας στις Αιγές<sup>1</sup> (Βεργίνα Ημαθίας) τον Αύγουστο του 2017 από την ομάδα της Χρυσούλας Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Ομότιμης καθηγήτριας Κλασικής Αρχαιολογίας του τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία μιας 3D βάσης δεδομένων, πληροφοριών και τεκμηρίωσης, η οποία θα μπορεί να εμπλουτίζεται προοδευτικά και με υλικό από μελλοντικές ανασκαφές στον ίδιο χώρο (ή και από ανασκαφές προηγούμενων χρόνων, αν υπάρχει καταγεγραμμένο το

---

<sup>1</sup> Για την ταύτιση του αρχαιολογικού χώρου της Βεργίνας με τις Αιγές, η οποία γίνεται σήμερα αποδεκτή από τη συντριπτική πλειονότητα των ερευνητών, βλ. N. Hammond (1972), σελ. 155-158 - M. Ανδρόνικος (1976), σελ. 124-129, 126-129. Την ταύτιση της πόλης με τις Αιγές, αμφισβήτησε ο Φάκλαρης (P. Faklaris (1994), σελ. 609-616), με τα επιχειρήματά του να αντικρούονται από τους: M. Hatzopoulos (1996), σελ. 264-269 - N. Hammond (1997), σελ. 177-179 - Ch. Saatsoglou-Paliadeli (1996), σελ. 225-235. Τα ευρήματα που έχουν έρθει στο φως έκτοτε, όπως οι μνημειακοί τάφοι της ταφικής Συστάδας Γ', προκρίνουν την ορθότητα της ταύτισης του χώρου με τις Αιγές (Α. Κοτταρίδη (2013).

απαραίτητο υλικό) και να αποτελέσει κτήμα της ανασκαφικής ομάδας προς οποιαδήποτε χρήση κριθεί αναγκαία στο μέλλον.

Η εργασία χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος ασχολείται με την ιστορία και τις βασικές αρχές της χρήσης Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και της 3D ψηφιοποίησης, με τις εφαρμογές τους στην Αρχαιολογία, παράλληλα με ειδική αναφορά στις τεχνικές και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε προς τον τελικό σκοπό της εργασίας. Στο δεύτερο μέρος παρατίθενται πληροφορίες σχετικά με την ίδρυση, την ακμή και την πτώση της αρχαίας πόλης των Αιγών, για το ιστορικό των αρχαιολογικών ερευνών που έχουν διεξαχθεί και συνεχίζονται να διεξάγονται εκεί μέχρι σήμερα, καθώς και ειδικότερες πληροφορίες για το Ιερό της Εύκλειας και για τους ανασκαφικούς τομείς στους οποίους επικεντρώθηκε η έρευνα τα τελευταία 2 χρόνια και η τεκμηρίωση των οποίων αφορά την εργασία. Το τρίτο μέρος ασχολείται με την μεθοδολογία που ακολουθείται για την τεκμηρίωση της ανασκαφής με τις παραπάνω τεχνολογίες και με την παρουσίαση των δυνατοτήτων του τελικού «προϊόντος» ως προς την ανασκαφική καταγραφή και τεκμηρίωση. Τέλος, στο τέταρτο μέρος καταγράφονται οι δυσκολίες που συναντήθηκαν, τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση όλης της διαδικασίας, αλλά και οι σκέψεις για βελτίωση της έρευνας στο μέλλον.

## 1. Τεχνολογία

Είναι μια εύκολα και καθημερινά παρατηρήσιμη εξέλιξη η αλματώδης πρόοδος που έχει σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, είτε μιλάμε για προσωπικούς υπολογιστές γραφείου (desktop), είτε για φορητούς (laptop), είτε για κινητά και υπολογιστές-ταμπλέτες (tablet), είτε για άλλες λιγότερο εμπορικές και περισσότερο εξειδικευμένες εκδοχές τους. Η πρόοδος αυτή, που αφορά τόσο την καθαρή υπολογιστική ισχύ τους όσο και τις δυνατότητες και τις ευρύτερες υπηρεσίες που προσφέρουν σε μια τεράστια ποικιλία από τομείς, τους έχει επιτρέψει να διεισδύσουν κυριολεκτικά παντού και να χρησιμοποιούνται ακόμα και από τους πλέον «τεχνολογικά απαίδευτους» χρήστες, στην καθημερινότητά τους και κατά τις επαγγελματικές τους δραστηριότητες. Αναπόφευκτα αυτή τους η εξάπλωση επηρέασε και τον ευρύτερο επιστημονικό τομέα, συμπεριλαμβανομένων επιστημών που παραδοσιακά ίσως και να θεωρούνταν ολίγον τι «συντηρητικές» ως προς το αντικείμενο της έρευνάς τους αλλά και ως προς τις μεθόδους που εφαρμόζαν οι περισσότεροι εκπρόσωποί τους κατά την διεξαγωγή της έρευνας. Σε αυτές τις επιστήμες περιλαμβάνεται και η Αρχαιολογία.

Στα χρόνια που ακολούθησαν την αρχική σύμπραξη της Αρχαιολογικής επιστήμης με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την καταγραφή και την ανάλυση των ανασκαφικών δεδομένων στις αρχές της δεκαετίας του 1980, η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) και οι τεχνικές 3D ψηφιοποίησης είναι δύο από τις καινοτομίες που άλλαξαν ριζικά τον τρόπο που οι αρχαιολόγοι διεξάγουν τις χωρικές αναλύσεις τους και καταγράφουν, τεκμηριώνουν, μελετούν και συντηρούν τα ευρήματα των ερευνών τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, συνέβαλαν στη δημιουργία νέων κλάδων της αρχαιολογίας οι οποίοι ειδικεύονται τόσο στο θεωρητικό υπόβαθρο των παραπάνω τεχνολογιών όσο και στις πρακτικές τους εφαρμογές (Allen, Green and Zubrow 1990, Gaffney and Van Leusen, 1995, Kvamme 1999, Lock 2001, Conolly and Lake, 2006).



## 1.1 Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα

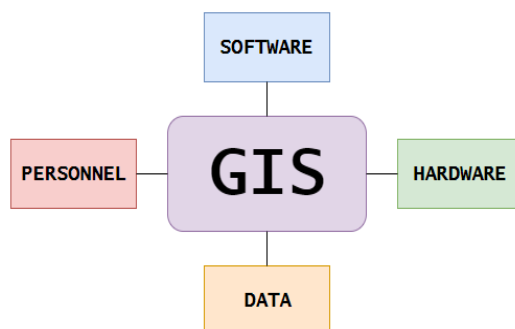
Ανάλογα με την χρήση για την οποία τα προορίζει ο εκάστοτε χρήστης τους, τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS) μπορούν να οριστούν ως τεχνολογία, εργαλείο, χάρτης ή εξειδικευμένο λογισμικό, που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, διαχείριση, οπτικοποίηση και ανάλυση γεωγραφικώς αναφερομένων πληροφοριών (David 2012, σελ. 583), αλλά και για την λήψη αποφάσεων βάσει των παραπάνω χρήσεων. Κάθε GIS αποτελείται ουσιαστικά από 4 συστατικά: το λογισμικό, το υλικό, τα δεδομένα και το προσωπικό (Dempsey 2017).

**Υλικό (Hardware):** Περιλαμβάνει τον απαραίτητο τεχνικό εξοπλισμό για να υποστηριχθούν οι δραστηριότητες που απαιτούνται για την γεωχωρική ανάλυση, από τη συλλογή των δεδομένων μέχρι την ανάλυση και την ερμηνεία τους. Για τα GIS που λειτουργούν με βάση έναν υπολογιστή γραφείου, κεντρικό κομμάτι υλικού είναι ο ίδιος ο υπολογιστής ως σταθμός εργασίας όπου λειτουργεί το λογισμικό GIS και ο οποίος αποτελεί το σημείο σύνδεσης με τον πάσης φύσεως βοηθητικό εξοπλισμό. Ευρέως διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος φορητός εξοπλισμός όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι συσκευές GPS, και κατ' επέκτασιν τα φορητά GIS, αποτελούν ακόμα ένα στοιχείο υλικού αυξανόμενα σημαντικό για τη συλλογή πληροφοριών, ενώ με τις υπηρεσίες Web Mapping όπως το Google Maps και το OpenStreetMap οι διαδικτυακοί μετακομιστές (Internet Servers) έχουν επίσης αναχθεί σε ένα σημαντικό κομμάτι εξοπλισμού.

**Λογισμικό (Software):** Είναι απαραίτητη η χρήση ευρέως φάσματος και δυνατοτήτων λογισμικού. Κεντρικής σημασίας είναι το ίδιο το πακέτο εφαρμογής GIS, το οποίο είναι απαραίτητο για την δημιουργία, την τροποποίηση και την ανάλυση των γεωχωρικών δεδομένων. Οι προεκτάσεις (Extensions) και τα πρόσθετα (Add-ons) είναι επίσης λογισμικό που επεκτείνει τις δυνατότητες του πακέτου εφαρμογής, ενώ υπάρχει και λογισμικό βοηθητικών εφαρμογών (Utilities) που χρησιμεύουν σε συγκεκριμένες περιστάσεις, όπως πχ στην μετατροπή ενός τύπου αρχείου GIS σε κάποιο άλλο τύπο, αλλά και διαδικτυακό λογισμικό που συμβάλει στην αποστολή δεδομένων μέσα από τα προγράμματα περιήγησης (Browsers).

**Δεδομένα (Data):** Αποτελούν τον πυρήνα ενός GIS. Υπάρχουν δύο ειδών πρωτογενή δεδομένα: ψηφιδωτά (Raster) και διανυσματικά (Vector). Ανάλογα με το ποιο εκ των δύο ειδών δεδομένα περιέχουν, ομαδοποιούνται αντίστοιχα και οι βάσεις σε Vector ή Raster Datasets, οι οποίες και αποτελούν τα βασικά συστατικά μιας Γεωβάσης (βάσης που περιέχει γεωαναφερόμενα δεδομένα). Τα διανυσματικά είναι γεωχωρικά δεδομένα που απεικονίζονται ως σημεία, γραμμές και πολύγωνα, ενώ τα ψηφιδωτά είναι κυψελιδωτά (cell-based) δεδομένα όπως αεροφωτογραφίες και Ψηφιακά Ύψομετρικά Μοντέλα (DEM). Τα παραπάνω συνοδεύονται συνήθως με δεδομένα γνωστά ως δεδομένα χαρακτηριστικών (Attribute Data), τα οποία ουσιαστικά παρέχουν σε πινακοειδή μορφή ποικίλης φύσεως περαιτέρω πληροφορίες πάνω στα υπάρχοντα δεδομένα. Υπάρχουν επίσης τα λεγόμενα μεταδεδομένα (Metadata), που περιέχουν πληροφορίες όπως το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται, η ημερομηνία δημιουργίας και τελευταίας αναβάθμισης των δεδομένων, ή το ποιος συνέλεξε τα δεδομένα και συνέταξε τη βάση. Οι τρόποι συλλογής των δεδομένων GIS περιλαμβάνουν τις συσκευές GPS, τους δορυφόρους, τα Drones, και πολλά άλλα.

**Προσωπικό (Personnel):** Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που συχνά αμελείται. Παρά τη δεδομένη σημασία του λογισμικού, του υλικού και των δεδομένων, ένα GIS έχει μικρή αξία χωρίς τους κατάλληλα καταρτισμένους ανθρώπους που θα κληθούν να το χρησιμοποιήσουν, να εφαρμόσουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες προκειμένου να εξάγουν συμπεράσματα από αυτό, να το αναπτύξουν αλλά και να το συντηρήσουν, παράλληλα με το να εκπαιδεύσουν άλλους στο να αποκτούν ευχέρεια στις παραπάνω λειτουργίες.

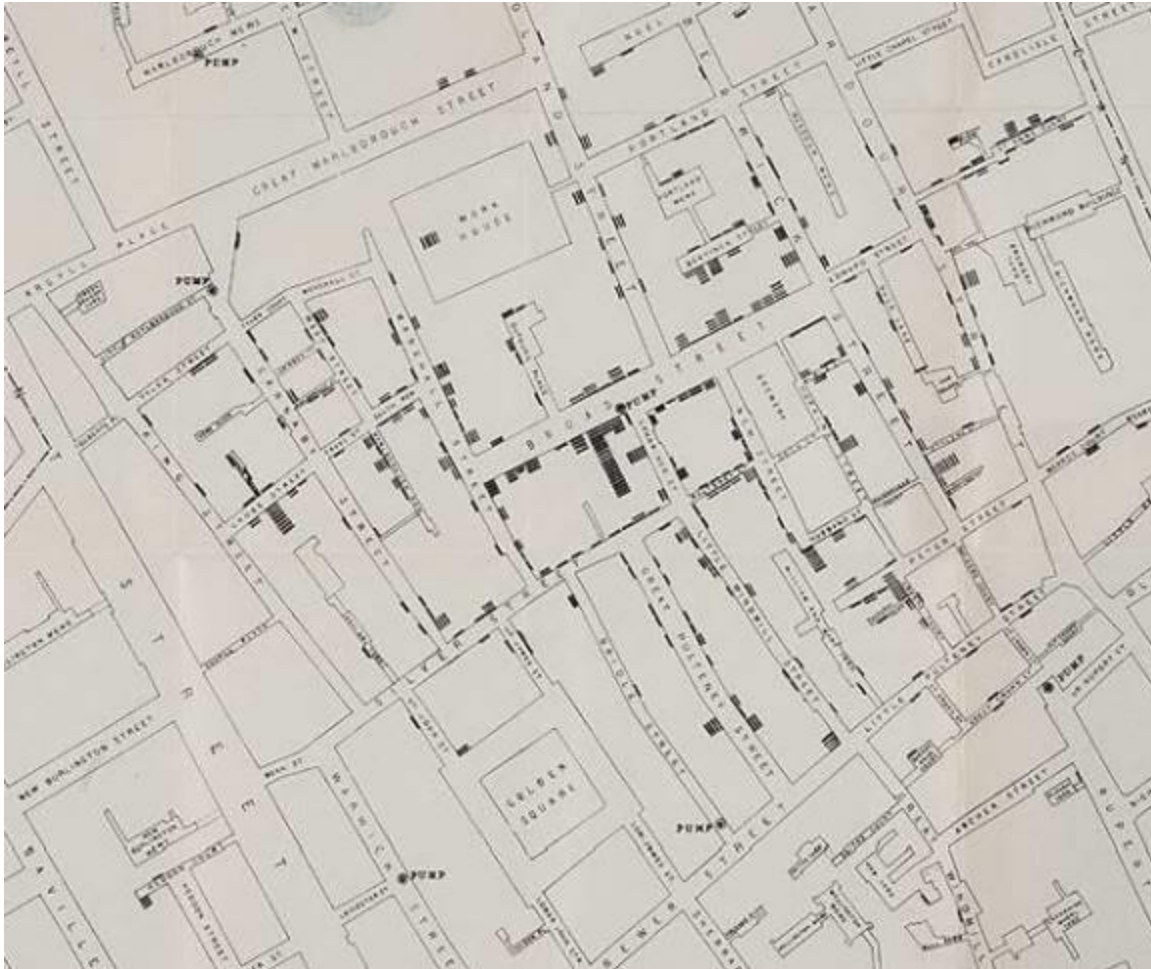


Εικόνα 1. Τα συστατικά ενός GIS.

Τα GIS χρησιμοποιούνται σήμερα από ένα ευρύτατο φάσμα επιστημονικών πεδίων λόγω των πλεονεκτημάτων που παρέχουν ως προς τον τρόπο αποθήκευσης των γεωχωρικών πληροφοριών, ο οποίος τρόπος επιτρέπει στον εκάστοτε επιστήμονα να χαρτογραφήσει τις πληροφορίες που διαθέτει και να τις τοποθετήσει συγκεντρωτικά ως ξεχωριστά στρώματα (Layers) ώστε να μοντελοποιήσει, να αναλύσει και να παρουσιάσει τα γεωχωρικά δεδομένα του (Lock and Harris 1992).

### 1.1.1 Πρώτοι σημαντικοί σταθμοί στην ανάπτυξη των GIS

Ένα από τα πιο διάσημα πρώιμα παραδείγματα ανάλυσης γεωχωρικών πληροφοριών, που μπορεί να θεωρηθεί από πολλές πλευρές ως προπομπός των σύγχρονων GIS, είναι αυτό του Dr. John Snow στο Λονδίνο κατά το έτος 1854. Τον Αύγουστο εκείνου του έτους μια επιδημία χολέρας είχε πλήξει το προάστιο Soho του Λονδίνου, προκαλώντας τον θάνατο πάνω από 500 ατόμων μέσα σε λιγότερο από 15 μέρες. Ο γιατρός Snow, μιλώντας με τους κατοίκους του προαστίου και αναλύοντας τις πληροφορίες που σημείωνε στον χάρτη του σχετικά με τους θανάτους από χολέρα (εικόνα 2), κατάφερε να εντοπίσει ως πιθανή πηγή της ασθένειας μια αντλία νερού στην οδό Broad Street. Για να στηρίξει την υπόθεσή του, χαρτογράφησε την τοποθεσία όλων των πηγαδιών της περιοχής και αντιπαρέβαλε αυτές τις πληροφορίες με τα περιστατικά θανάτου από χολέρα που είχε σημειώσει στον χάρτη του. Αποτέλεσμα των ερευνών του Snow ήταν να πειστούν εν τέλει οι τοπικές αρχές να αποκλείσουν την χρήση της μολυσμένης αντλίας, οδηγώντας στην εξάλειψη της επιδημίας. Παράλληλα με την απαρχή της επιστήμης της Επιδημιολογίας (και με την ίδρυση μιας γραφικής Pub στο σημείο της μολυσμένης αντλίας, που φέρει το όνομα του γιατρού), ο χάρτης του John Snow αποτελεί ουσιαστικά από τα πρώτα ιστορικά καταγεγραμμένα περιστατικά συνδυασμού διαφορετικών γεωχωρικών δεδομένων με σκοπό την ανάλυση φαινομένων σε σχέση με την γεωγραφική τους θέση και τη λήψη ορθότερων αποφάσεων στην αντιμετώπιση ενός προβλήματος (Waldheim 2011).



**Εικόνα 2. Ο "χάρτης της χολέρας" του Dr. John Snow. Οι μαύρες μπάρες αντιπροσωπεύουν αριθμούς νεκρών από την ασθένεια. Η μολυσματική αντλία εντοπίστηκε ακριβώς στο σημείο όπου διακρίνεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση νεκρών (πηγή: <http://www.bl.uk>).**

Το πρώτο πραγματικά σύγχρονο παράδειγμα GIS είναι το λεγόμενο Καναδικό Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (CGIS), που δημιουργήθηκε από τον Dr. Roger Tomlinson (αποκαλούμενο και «πατέρα των GIS») και παρουσιάστηκε στον Καναδά την δεκαετία του 1960. Κύριος σκοπός αυτού του συστήματος ήταν η συλλογή, αποθήκευση και ανάλυση των πληροφοριών σχετικά με τις γαίες στις αχανείς εκτάσεις της χώρας, στα πλαίσια δημιουργίας ενός εθνικού αρχείου διαχείρισης ονόματι Canadian Land Inventory (CLI). Το CLI, αντιλαμβανόμενο την ζωτική σημασία των έγκυρων και ακριβών γεωχωρικών πληροφοριών στη λήψη αποφάσεων, χρησιμοποίησε δεδομένα για τα κατά τόπους χαρακτηριστικά του κλίματος, του εδάφους και της απορροής των υδάτων προκειμένου να εξακριβώσει την ικανότητα των γαιών να συντηρήσουν συγκεκριμένων

ειδών σοδιές και λοιπά είδη γλωρίδας. Το σύστημα του Dr. Tomlinson συνέχισε να αναπτύσσεται και να εξελίσσεται για αρκετές ακόμα δεκαετίες (Crain and MacDonald 1984).

Ως τα τέλη της δεκαετίας του 1970 η μέγιστη δυνατή ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών είχε αρχίσει να πολλαπλασιάζεται, με αποτέλεσμα την εμφάνιση εμπορικών προγραμμάτων ψηφιακής χαρτογράφησης όπως τα GIMMS (Geographic Information Making and Management Systems), MAPICS, IMGRID, και GEOMAP (Elangovan 2006). Μια από τις εταιρίες που ξεκίνησαν να δραστηριοποιούνται στην ανάπτυξη και την κυκλοφορία εμπορικών εφαρμογών GIS ήταν και η ESRI (Environmental System Research Institute), η οποία το 1982 κυκλοφόρησε το ARC/INFO και το 1986 την ειδική έκδοση PC ARC/INFO<sup>2</sup> με σκοπό την συμβατότητα με τους «Μικροϋπολογιστές» της Intel, τον προπομπό των σημερινών προσωπικών υπολογιστών (ESRI 1999). Μετά από αυτό το εμπορικό άνοιγμα, η τεχνολογία των GIS έγινε προοδευτικά σαφώς πιο οικονομική και προσβάσιμη από τον μέσο χρήστη (με αποτέλεσμα να αποτελούν στις μέρες μας μια βιομηχανία αξίας πολλών δισεκατομμυρίων), αλλά και κατάφερε να αφομοιωθεί στην μεθοδολογία όλων των επιστημών, μεταξύ των οποίων και η Αρχαιολογία.

### 1.1.2 GIS και Αρχαιολογία

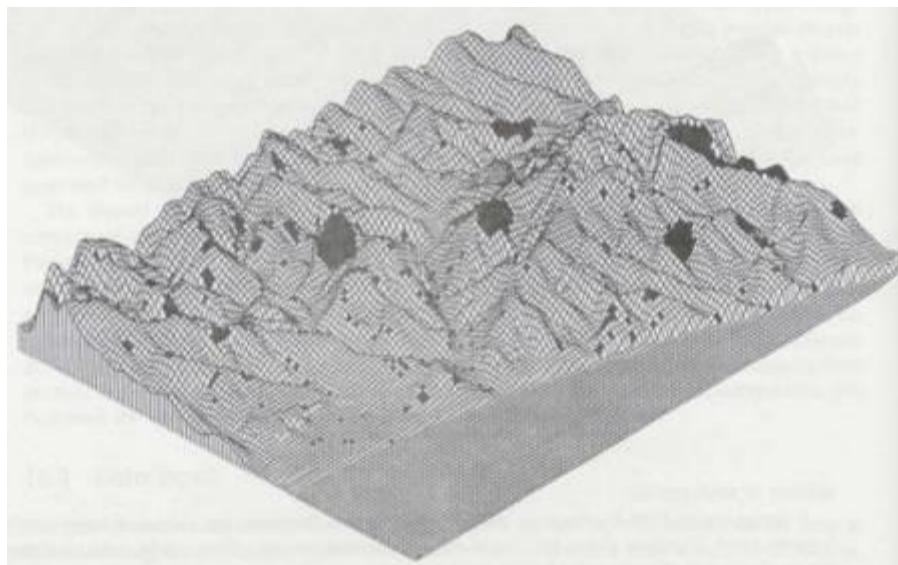
Αν και ήδη από την δεκαετία του 1970 είχαν διεξαχθεί σχετικές με τα GIS μελέτες πάνω σε εφαρμογές χαρτογράφησης αρχαιολογικών πεδίων, τόσο οι συγκεκριμένες εφαρμογές όσο και ο ίδιος ο όρος GIS εμφανίζονται τακτικότερα στην Αρχαιολογική βιβλιογραφία από την δεκαετία του 1980 και μετά (Kvamme 1999). Οι πρώτες τέτοιες εφαρμογές αναπτύχθηκαν περισσότερο στην Αμερική και αναφέρονταν κυρίως στην μοντελοποίηση επιφανειών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, καθώς επίσης και στην παραγωγή ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων (Digital Elevation Models – DEM), δηλαδή μοντέλων ή 3D αναπαραστάσεων της επιφάνειας της Γης που δημιουργούνται ψηφιακά από τα υψομετρικά δεδομένα της επιθυμητής περιοχής. Οι εξελίξεις αυτές

---

<sup>2</sup> Το PC ARC/INFO αποτελεί ουσιαστικά τον «πρόγονο» του σημερινού προγράμματος ArcGIS (βλ. 1.4.2 ESRI ArcScene).

δρομολογήθηκαν κυρίως για λογαριασμό κυβερνητικών υπηρεσιών, όπως το Γραφείο Διαχείρισης Γης (Bureau for Land Management – BLM), το οποίο και εξέδωσε στην πορεία μια ιδιαίτερης σημασίας μελέτη με τα συμπεράσματα από τη χρήση GIS, στην προσπάθεια να αξιολογηθούν οι μέθοδοι και τα αποτελέσματα της χρήσης τους στην Αρχαιολογία (Judge and Sebastian 1988). Τα GIS συνέχιζαν να βρίσκουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές στην αρχαιολογία τη δεκαετία του 1980, και ο T. Harris ήδη από τότε ανέφερε τις δυνατότητες που προσφέρει ο διαχωρισμός της αρχαιολογικής πληροφορίας σε στρώματα (Layers) και η συνένωση αυτών των πληροφοριών με μια αρχαιολογική βάση δεδομένων μέσα σε ένα GIS (Harris, T. 1987, σελ. 161 κ.ε.).

Παρά την άνοδό τους στην Αμερική κατά τη δεκαετία του 1980, στην Ευρώπη οι εφαρμογές GIS άρχισαν να διαδίδονται μόλις στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για την καταγραφή και την ανάλυση των σχέσεων ανάμεσα στους αρχαιολογικούς χώρους, σε αντίθεση με την Αμερική όπου δινόταν έμφαση κυρίως στην τεχνολογία και την διαχείριση δεδομένων (Richards 1998). Με την πάροδο των χρόνων και τον εκτεταμένο επιστημονικό διάλογο, έγιναν αναπόφευκτα σαφή τα οφέλη και οι προοπτικές των αρχαιολογικών GIS σε εφαρμογές πέρα από την χαρτογράφηση και την συσχέτιση αρχαιολογικών χώρων (Lock and Harris 2000).



**Εικόνα 3.** Πρώιμο παράδειγμα GIS από το 1987. Οι σκούρες κηλίδες πάνω στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους υποδεικνύουν αρχαιολογικές θέσεις. (πηγή: Harris, T. 1987, σελ. 164)

Έκτοτε, οι τεχνολογικές εξελίξεις και η ανάπτυξη ισχυρών φορητών υπολογιστών και σύγχρονων τοπογραφικών οργάνων, όπως ο γεωδαιτικός σταθμός (Total Station), ο δέκτης GNSS (Global Navigation Satellite System — Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης) και ο σαρωτής λέιζερ (Laser Scanner), που έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν σχετικά εύκολα και γρήγορα γεωαναφερμένες πληροφορίες από τα αρχαιολογικά ανασκαφικά πεδία, συνέβαλαν στην περαιτέρω διάδοση και εξέλιξη των GIS και την μετατροπή τους σε ένα σημαντικό εργαλείο της αρχαιολογικής μεθοδολογίας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω, η καταγραφή και η διαχείριση των αρχαιολογικών δεδομένων, που κάποτε τελούνταν αποκλειστικά σε ύστερη φάση της αρχαιολογικής έρευνας σε σχέση με την εξόρμηση στο ανασκαφικό πεδίο, μπορούν πλέον να διεξάγονται σχεδόν ταυτόχρονα με την ανασκαφή (Conolly and Lake 2006), μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο της επεξεργασίας των δεδομένων αλλά και της πιθανότητας λαθών κατά την ερμηνεία τους.

## 1.2 3D Ψηφιοποίηση

Ως ψηφιοποίηση ορίζεται η μετατροπή δεδομένων από την αναλογική στην ψηφιακή μορφή, με σκοπό την εισαγωγή και την αποθήκευσή τους σε κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η Τρισδιάστατη Ψηφιοποίηση (3D Digitization) αποτελεί ουσιαστικά μια πιο εξελιγμένη μορφή ψηφιοποίησης, που αποσκοπεί στην ψηφιακή αποτύπωση αντικειμένων ή χώρων στις τρεις διαστάσεις. Αυτή επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής δεδομένων με την χρήση των κατάλληλων μέσων, όπως μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ή ένα σαρωτή (Scanner), και την μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων αυτών με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού προκειμένου να μετασχηματιστούν σε ένα 3D μοντέλο.

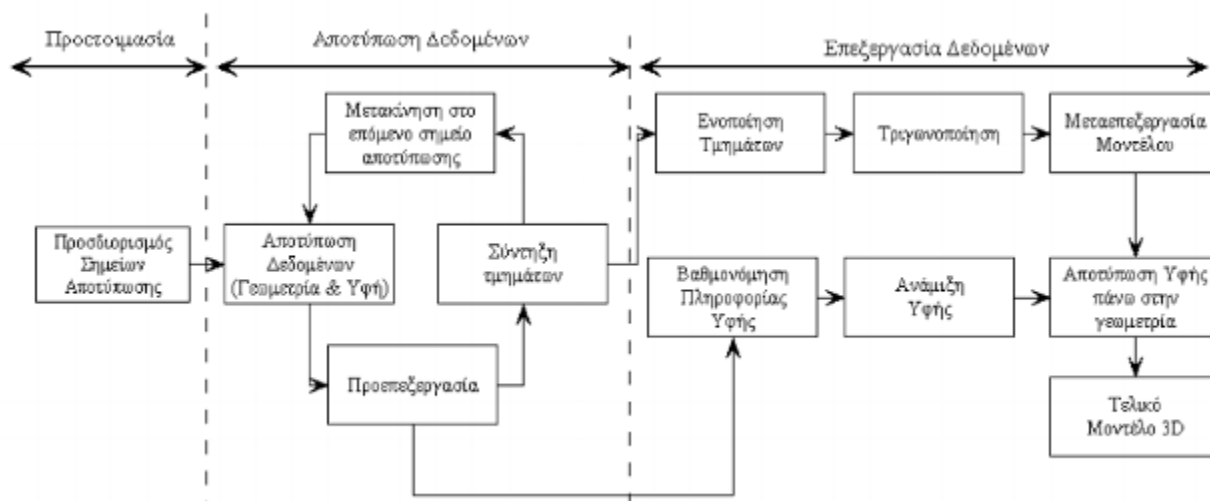
Η 3D ψηφιοποίηση είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία που αποτελείται από 3 γενικές φάσεις: την προετοιμασία, την αποτύπωση των δεδομένων, και την επεξεργασία τους (Παυλίδης κ.ά. 2014).

- Προετοιμασία: η διεξαγωγή των ποικίλων απαιτούμενων προκαταρκτικών ενεργειών της ψηφιοποίησης, οι οποίες μπορεί να αφορούν από την επιλογή της

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»

τεχνικής και της μεθοδολογίας ψηφιοποίησης που θα εφαρμοστεί έως το χώρο όπου θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία, ευρύτερα θέματα προγραμματισμού κτλ.

- Αποτύπωση δεδομένων: το στάδιο κατά το οποίο πραγματοποιούνται οι κύριες διαδικασίες ψηφιοποίησης, βάσει των κανόνων της μεθοδολογίας που έχει επιλεγεί και ακολουθείται από το στάδιο της προετοιμασίας.
- Επεξεργασία δεδομένων: η φάση τελικής μοντελοποίησης των αποτελεσμάτων της ψηφιοποίησης, με διαδικασίες όπως ενοποίηση τμηματικών σαρώσεων, επεξεργασία γεωμετρικών δεδομένων, επεξεργασία και ενσωμάτωση υφής στην πληροφορία γεωμετρίας.



Εικόνα 4. Τα στάδια της διαδικασίας ψηφιοποίησης (πηγή: Χαμζάς 2005, σελ. 148)

Η 3D ψηφιοποίηση και καταγραφή μπορεί να προσφέρει πολύ χρήσιμες υπηρεσίες στον τομέα του πολιτισμού γενικά αλλά και στην Αρχαιολογία ειδικότερα, δεδομένου ότι τα πάσης φύσεως αρχαιολογικά ευρήματα (είτε πρόκειται για οικοδομικά κατάλοιπα είτε για φορητά ευρήματα) υπόκεινται σε διαρκή φθορά από τη στιγμή της αποκάλυψής τους, φθορά η οποία μπορεί να οδηγήσει στην μερική ή την ολική καταστροφή τους. Ωστόσο άρχισε να υιοθετείται και να χρησιμοποιείται συχνότερα από τον ευρύτερο τομέα του πολιτισμού μόλις στα πιο πρόσφατα, σχετικά, χρόνια. Οι κύριοι ανασταλτικοί παράγοντες για αυτήν την καθυστέρηση ήταν κυρίως τεχνικοί-τεχνολογικοί, μιας και η



αρκετά περιορισμένη ακόμα ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθιστούσε τη δημιουργία 3D μοντέλων εξαιρετικά δύσκολη, τόσο ως προς την ακριβή αποτύπωση του επιθυμητού 3D αντικειμένου όσο και ως προς την τελική εξαγωγή του ως μοντέλο. Υπό εκείνες τις τεχνολογικά περιοριστικές συνθήκες, η αποτύπωση μνημείων και αντικειμένων γινόταν σχεδόν αποκλειστικά με χειροκίνητα, μη-αυτοματοποιημένα μέσα (όπως πχ με τη χρήση μετροταινιών για τη μέτρηση μεγεθών και αποστάσεων), με τελικό σκοπό την αποτύπωσή τους σε χαρτί ως σχέδιο τομής, όψης ή κάτοψης περισσότερο παρά ως 3D μοντέλο (Κουτσούδης και Παυλίδης 2016).

Τα παραπάνω άλλαξαν με την εξέλιξη της ισχύος και των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την συνεπαγόμενη ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών που παρείχαν την δυνατότητα οπτικοποίησης ενός 3D μοντέλου στην οθόνη του υπολογιστή μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Ως αποτέλεσμα, κατέστη σαφώς πιο ελκυστική η προοπτική υιοθέτησής αυτής της τεχνολογίας από επιστήμες που ασχολούνταν με την μελέτη ψηφιακών μοντέλων, μεταξύ των οποίων και η Αρχαιολογία, με αναμφισβήτητα οφέλη στη μελέτη, καταγραφή, τεκμηρίωση και συντήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Έτερο έμμεσο αποτέλεσμα, βέβαια, είναι και το γεγονός πως οποιαδήποτε προσπάθεια να αναζητηθεί ένα σαφές «ιστορικό εξέλιξης» της χρήσης της 3D ψηφιοποίησης από τις επιστήμες του πολιτισμού ή και γενικότερα, στην ουσία καταλήγει να μελετάει έμμεσα την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και του υλικού τους.

Όπως και να έχει, δεδομένου ότι η εποχή «τεχνολογικής καχεξιάς» στον τομέα βρίσκεται οριστικά στο παρελθόν, τα κίνητρα για την 3D ψηφιοποίηση, καταγραφή και ανακατασκευή πολιτιστικών αντικειμένων και μνημείων είναι πλέον πολλά και ισχυρά (Χαμζάς κ.ά. 2005, σελ. 25-26):

- Η καταγραφή κτηρίων, τοποθεσιών και αντικειμένων ιδιαίτερου ιστορικού ενδιαφέροντος, ως βάση για την ανακατασκευή τους σε περίπτωση που καταστραφούν ή υποστούν φθορές από παράγοντες ανθρωπογενείς ή μη.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

- Η αλληλεπίδραση με μοντέλα πολιτιστικών αντικείμενων σε καθαρά εικονικό περιβάλλον, αναιρώντας τον κίνδυνο να φθαρεί το πρωτότυπο φυσικό αντικείμενο.
- Η αναπαράσταση ιστορικών φάσεων μνημείων που δεν σώζονται πια ή που σώζονται σε τροποποιημένη ή αλλοιωμένη μορφή.
- Η 3D απεικόνιση των αρχαιολογικών ανασκαφών, για σκοπό τεκμηριωτικό ή και εκπαιδευτικό.
- Η δημιουργία ρεαλιστικών 3D μοντέλων αντικειμένων για τη μελέτη τους από απόσταση, χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία στον χώρο όπου φυλάσσεται το φυσικό πρωτότυπο.
- Η προβολή του πολιτισμού μέσω της δημιουργίας εικονικών μουσείων.
- Η δημιουργία σύγχρονων, εύχρηστων και ελκυστικών εκπαιδευτικών εφαρμογών για τους μελετητές και τους μαθητές.

Στις μέρες μας υπάρχει πληθώρα διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τον τύπο, τις ανάγκες και τις ιδιαίτερες συνθήκες του εκάστοτε χώρου ή αντικειμένου που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί, αλλά και ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο διεξάγεται η ψηφιοποίηση (Παυλίδης κ.ά. 2014). Καθίσταται σαφές, επομένως, πως δεν υπάρχει μία ιδανική μέθοδος 3D ψηφιοποίησης η οποία προκρίνεται σε σχέση τις υπόλοιπες και προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση, αλλά οι εκάστοτε ιδιαίτερες συνθήκες είναι αυτές που ορίζουν την ιδανικότερη για κάθε περίπτωση τεχνική.

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι 3D ψηφιοποίησης είναι οι εξής (Παυλίδης κ.ά. 2014, σελ. 8):

- Σάρωση με ακτίνες laser (laser triangulation): Προβολή δέσμης ή μοτίβου ακτινών laser, αντίχρευσή τους και εφαρμογή γεωμετρικών σχέσεων τριγωνισμού για την αναγνώριση της γεωμετρίας.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

- Σχήμα από δομημένο φωτισμό (shape from structured light): Προβολή χρωματικού ή μη μοτίβου, δισδιάστατη φωτογράφιση και αναγνώριση γεωμετρίας από τις παραμορφώσεις στο μοτίβο.
- Σχήμα από σιλουέτες (shape from silhouette): Πολλαπλή δισδιάστατη φωτογράφιση και ανακατασκευή γεωμετρίας από τις πολλαπλές σιλουέτες.
- Σχήμα από στερεοφωτογράφιση (shape from stereo): Αναγνώριση της γεωμετρίας από ζεύγος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης.
- Δομή από κίνηση (structure from motion): Αναγνώριση της γεωμετρίας από πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών με τη χρήση αλγορίθμων αναγνώρισης της τρίτης διάστασης, παρόμοιους με της μεθόδου Σχήμα από Στερεοφωτογράφιση.
- Σχήμα από φωτοσκίαση (shape from shading): Μέθοδος δημιουργίας τεχνητής, μεταβλητής και ελεγχόμενης φωτοσκίασης για την εξαγωγή τρισδιάστατης γεωμετρίας με εφαρμογή κανόνων οπτικής σε πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών.
- Σχήμα από υφή (shape from texture): Ανάκτηση πληροφορίας της τρίτης διάστασης σε δισδιάστατες φωτογραφίες με την εκμετάλλευση πληροφορίας προσανατολισμού και διάχυσης δομικών στοιχείων επιφανειακής υφής.
- Σχήμα από φωτομετρία (shape from photometry): Μέθοδος λήψης δισδιάστατων φωτογραφιών υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, και ανάκτηση τρισδιάστατης γεωμετρίας μέσω αλγορίθμων οπτικής.
- Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση (shape from focus): Ανάκτηση τρίτης διάστασης σε επιφάνειες μέσω σειράς δισδιάστατων φωτογραφιών με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη εστίαση.
- Σχήμα από σκιά (shape from shadow): Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω παρακολούθησης της σκιάς σε διαδοχική δισδιάστατη φωτογράφιση σε συνθήκες όπου υπάρχει μετακινούμενη πηγή φωτός.

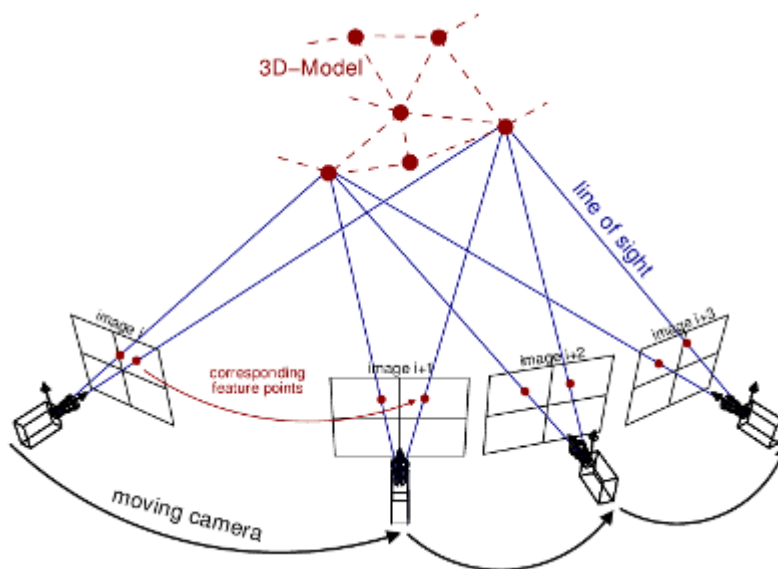
- Σάρωση με συστήματα αφής (measuring systems): Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω συνεχούς επαφής με το αντικείμενο που ψηφιοποιείται.
- Εμπειρικές ή τοπομετρικές μέθοδοι: Ανάκτηση γεωμετρίας με μηκομετρήσεις τριγώνων, διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών, χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία.
- Τοπογραφικές μέθοδοι: Τυπικές μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας με τη χρήση τοπογραφικών οργάνων, όπως ο θεοδόλιχος, τα αποστασιόμετρα και οι γεωδαιτικοί σταθμοί.
- Φωτογραμμετρία: Μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας μέσω καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Σάρωση με λέιζερ πεδίου: Ανάκτηση γεωμετρίας χώρου από μέτρηση του χρόνου πτήσης (διαφορά του χρόνου αποστολής από το χρόνο επιστροφής λόγω ανάκλασης) δέσμης laser, είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο φάσμα.

Κρίνεται ορθό να μην γίνει βαθύτερη αναφορά σε όλες αυτές οι τεχνικές, παρά μόνον στην τεχνική η οποία επιστρατεύτηκε για τις ανάγκες ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας, δηλαδή την τεχνική «Δομή από Κίνηση» (Structure from Motion).

### 1.2.1 Δομή από Κίνηση

Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο 3D ψηφιοποίησης, το 3D μοντέλο δημιουργείται μέσω της αλγοριθμικής αναγνώρισης της γεωμετρίας και της τρίτης διάστασης των αντικειμένων μέσω της επεξεργασίας δισδιάστατων φωτογραφιών. Συγκεκριμένα, τα συστήματα SfM λαμβάνουν φωτογραφίες ως δεδομένα, εντοπίζουν από ποια οπτική γωνία ελήφθη η κάθε φωτογραφία αλλά και τις οπτικές παραμέτρους της φωτογραφικής μηχανής που χρησιμοποιήθηκε, και δημιουργούν ένα νέφος 3D σημείων του υπό ψηφιοποίηση αντικειμένου έπειτα από την επεξεργασία του οποίου προκύπτει το τελικό

μοντέλο. Η μέθοδος αυτή αποτελεί ουσιαστικά μια επέκταση και γενίκευση της μεθόδου «Σχήμα από Στερεοφωτογράφιση», με τη διαφορά ότι οι δύο φωτογραφικές μηχανές αντικαθίστανται από μία που διαθέτει κινούμενη λήψη εικόνας και καταγράφει το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου SfM είναι η απόλυτη ακινησία του αντικειμένου, ενώ θεωρείται δεδομένο ότι δεν υπάρχουν κινητά μέρη πάνω του (Κουτσούδης και Παυλίδης 2016).



Εικόνα 5. Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου Structure from Motion (πηγή: [www.theia-sfm.org](http://www.theia-sfm.org))

Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται κατά την SfM είναι παρόμοιοι με αυτούς της μεθόδου Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση και είναι ευαίσθητοι στο «θόρυβο» που παρουσιάζει η ακολουθία εικόνων. Όταν οι εικόνες που χρησιμοποιούνται είναι από διαφορετικές οπτικές γωνίες ο υπολογισμός του προσανατολισμού συνεχίζει να είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, δεδομένου ότι υπάρχει αρκετή πληροφορία αντιστοίχισης στα κοινά σημεία που συναντούμε ανάμεσα στα διαδοχικά καρέ, όμως η μέθοδος SfM αντιμετωπίζει το πρόβλημα αντιστοίχισης των κοινών σημείων ανάμεσα στις εικόνες (Robertson and Cipolla 2008). Παλιότερα η λύση του προβλήματος αυτού δινόταν χειροκίνητα, πλέον όμως η διαδικασία έχει αυτοματοποιηθεί πλήρως με τη χρήση κατάλληλων εξειδικευμένων αλγορίθμων (Κουσκουρίδας κ.ά. 2009). Άλλος περιορισμός της μεθόδου SfM είναι το ότι τα αποτελέσματά της παρουσιάζουν αρκετές ασάφειες, επειδή η δημιουργία του 3D μοντέλου βασίζεται στον εντοπισμό της θέσης από όπου έχει

τραβηχτεί η κάθε φωτογραφία χωρίς να υπάρχει κάποια προηγούμενη γνώση για αυτή. Από ασαφείς παραμέτρους, όπως η θέση του υπό ψηφιοποίηση αντικείμενου μέσα στο σύστημα συντεταγμένων και ο προσδιορισμός της κλίμακας, επηρεάζονται και οι μαθηματικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται (Κουτσούδης και Παυλίδης 2016).

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η SfM έχει αναδειχθεί σε μια από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές 3D ψηφιοποίησης. Εκτός του ότι παράγει μοντέλα υψηλής ακρίβειας και ποιότητας (αν οι συνθήκες του χώρου όπου διεξάγεται η ψηφιοποίηση αλλά και του υπό ψηφιοποίηση αντικείμενου είναι οι κατάλληλες, πάντα), η διάδοσή της οφείλεται κυρίως στο ότι είναι πολύ εύκολη στην εφαρμογή της και ο εξοπλισμός υλικού και λογισμικού που απαιτεί είναι λίγος και οικονομικά προσιτός, ειδικά και σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ψηφιοποίησης. Αυτοί είναι και οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος για το σκοπό της διπλωματικής εργασίας.

### **1.3 Λογισμικό**

Με την αρχαιολογία (μεταξύ άλλων επιστημών) να έχει εισέλθει για τα καλά στην ψηφιακή εποχή, το πάσης φύσεως λογισμικό, παρά τους όποιους περιορισμούς του και δεδομένου ότι εξακολουθεί να εξελίσσεται ανά πάσα στιγμή, οφείλει να γίνεται αντιληπτό περισσότερο ως ένα άκρως απαραίτητο στοιχείο της επιστημονικής έρευνας παρά ως απλά ένα εργαλείο στο οποίο ο αρχαιολόγος καταφεύγει περιστασιακά. Για τις ανάγκες επίτευξης των τελικών σκοπών της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιστρατεύτηκε ευρεία γκάμα λογισμικού, με την συντριπτική πλειοψηφία των διαδικασιών να λαμβάνουν χώρα στο Agisoft PhotoScan και το ESRI ArcScene.

#### **1.3.1 Agisoft PhotoScan**

Η Agisoft LLC (<http://www.agisoft.com>) ιδρύθηκε το 2006 και ειδικεύεται στους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνων και στις ψηφιακές τεχνικές φωτογραμμετρίας. Το προϊόν της, το PhotoScan, είναι ένα από τα κορυφαία πακέτα λογισμικών στον τομέα της ψηφιακής φωτογραμμετρίας και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε αρχαιολογικές εφαρμογές.

Κυκλοφορεί στην αγορά και παρόμοιο λογισμικό από άλλες εταιρείες, όμως το PhotoScan προσφέρει ίσως το πιο περιεκτικό πακέτο για την διαδικασία της ψηφιοποίησης, από το στάδιο της εισαγωγής των φωτογραφιών έως την εξαγωγή των ψηφιοποιημένων μοντέλων. Το PhotoScan διατίθεται σε 2 εκδόσεις, την Standard και την Professional. Η Standard έκδοση παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την δημιουργία 3D μοντέλων από φωτογραφίες, οργανωμένα σε μια αρκετά εύχρηστη και βολική κλίμακα διαδοχικών ενεργειών. Η Professional έκδοση προσφέρει τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και η Standard έκδοση, με μερικές περαιτέρω προσθήκες όπως τη δυνατότητα για γεωαναφορά των μοντέλων, για δημιουργία ορθοφωτογραφίας, για δημιουργία και εξαγωγή Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (DEM) και για πραγματοποίηση πιο εξειδικευμένων μετρήσεων. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε η έκδοση PhotoScan Professional 1.2.5, όμως στον καιρό που μεσολάβησε μέχρι την συγγραφή της εργασίας είχε ήδη κυκλοφορήσει η έκδοση 1.3.4.

Οι προτεινόμενες απαιτήσεις συστήματος για την τρέχουσα έκδοση 1.3.4 είναι οι εξής:

- Λειτουργικό σύστημα: Windows 7 ή 10 (ή έκδοση MAC OS X Snow Leopard και άνω).
- Επεξεργαστής: Τετραπύρηνος και άνω επεξεργαστής Intel Core i7.
- Μητρική κάρτα: Οποιοδήποτε μοντέλο με Socket LGA 1150 ή 1155, με 4 και άνω sockets για μνήμες DDR3 ή DDR4, και με τουλάχιστον 1 slot PCI Express x16.
- Μνήμη RAM: Οι ελάχιστες απαιτήσεις ποικίλουν ανάλογα με το ύψος ποιότητας των μοντέλων που επιθυμεί να παράγει ο χρήστης, από 25 MB έως και 720 GB RAM, όμως ορίζεται ως ενδεικτική προτεινόμενη τιμή τα 16 GB.
- Κάρτα γραφικών: Nvidia GeForce GTX 980 ή ανώτερη.

Γίνεται αντιληπτό από την ανάγνωση των απαιτήσεων του λογισμικού, αλλά και κατά την ίδια τη συστηματική ενασχόληση με το PhotoScan, πως η χρήση ισχυρότερου υπολογιστικού συστήματος αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα επεξεργασίας των μοντέλων και περιήγησης στο περιβάλλον του λογισμικού, τα οποία είναι σημαντικοί παράγοντες όσον αφορά αρκετά περιοριστικές από άποψης διαθέσιμου χρόνου δραστηριότητες όπως μια αρχαιολογική ανασκαφή. Το PhotoScan επίσης δεν απαιτεί διαρκή σύνδεση στο Internet προκειμένου να λειτουργήσει, το οποίο είναι σημαντικός παράγοντας στην προοπτική ενδεχόμενης χρήσης του απευθείας στον χώρο της ανασκαφής.

Η Standard έκδοση κοστίζει επί του παρόντος €140 και η Professional έκδοση €2905. Ωστόσο η Agisoft προσφέρει ειδικές άδειες χρήσης σε μειωμένες τιμές για πανεπιστημιακά ιδρύματα και φοιτητές, με κόστος €50 και €450 για τις Standard και Professional εκδόσεις αντίστοιχα. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως οι Τομείς Αρχαιολογίας των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων έχουν την οικονομική δυνατότητα να κατέχουν πολλαπλές άδειες για την έρευνα και την εκπαίδευση που διεξάγουν, προάγοντας την ραγδαία αύξηση της χρήσης της 3D ψηφιοποίησης στην Αρχαιολογία. Μη-εκπαιδευτικά αρχαιολογικά ιδρύματα δεν εντάσσονται σε αυτήν την ειδική εκπαιδευτική πολιτική, όμως ακόμα και στην πλήρη τιμή της η Standard έκδοση είναι αρκετά προσιτή οικονομικά και παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής 3D μοντέλων που μπορούν έπειτα να γεωαναφερθούν σε τρίτο πρόγραμμα με σχετικά μικρό κόπο.

Η διαδικασία 3D ψηφιοποίησης ενός αντικειμένου ή χώρου στο PhotoScan τελείται σε 5 αυτοματοποιημένα βήματα:

1. Η εισαγωγή των φωτογραφιών του υποψήφιου για ψηφιοποίηση αντικειμένου/χώρου στο λογισμικό.
2. Η ευθυγράμμιση (Alignment) των φωτογραφιών, η οποία τελείται αυτόματα μέσω αλγορίθμων του λογισμικού που ταυτίζουν τα χαρακτηριστικά ανάμεσα στις φωτογραφίες και υπολογίζουν την θέση και τον προσανατολισμό της φωτογραφικής μηχανής στη στιγμή της λήψης της κάθε φωτογραφίας.



3. Η δημιουργία του, ποικίλης ποιότητας και ακρίβειας, πυκνού νέφους (Dense Cloud).
4. Η δημιουργία πλέγματος (Mesh).
5. Η δημιουργία υφής (Texture), μετά το πέρας της οποίας το ολοκληρωμένο 3D μοντέλο είναι έτοιμο για εξαγωγή ή περαιτέρω επεξεργασία.

### 1.3.2 ESRI ArcScene

Η ESRI (Environmental Systems Research Institute - <http://www.esri.com>) ιδρύθηκε το 1969 από τον Jack Dangermond και την σύζυγό του, Laura, και εξειδικεύεται στο λογισμικό GIS και την διαχείριση γεωγραφικών βάσεων δεδομένων. Είναι δημιουργός του ARC/INFO, ενός από τα πρώτα εμπορικά προϊόντα GIS που κυκλοφόρησε το 1982, και του πιο εξελιγμένου ArcView, που κυκλοφόρησε το 1995 μέχρι να αντικατασταθεί το 2000 από το ArcGIS. Το ArcGIS συμπεριλάμβανε ένα πολύ χρήσιμο πακέτο εργαλείων ονόματι 3D Analyst, το οποίο παρείχε την δυνατότητα διαχείρισης, ανάλυσης και οπτικοποίησης των τρισδιάστατων πληροφοριών. Το ενδιαφέρον της κοινότητας για τις δυνατότητες που παρείχε η εργαλειοθήκη 3D Analyst ήταν τόσο μεγάλο που οδήγησε την ESRI στην δημιουργία μιας ξεχωριστής εφαρμογής γύρω από αυτό, ονόματι ArcScene (ESRI 2013), το οποίο ουσιαστικά είναι ένα 3D GIS που επιτρέπει στους χρήστες του να αλληλεπιδρούν με τις 3D πληροφορίες τους και να περιηγούνται ανάμεσά τους. Σε αντίθεση με το ArcMap, μια άλλη ξεχωριστή εφαρμογή που περιλαμβάνεται στο πακέτο του ArcGIS και που επίσης διαθέτει το εργαλείο 3D Analyst αλλά προβάλλει τις πληροφορίες ως επί το πλείστον στις 2 διαστάσεις, το ArcScene επιτρέπει στον χρήστη του να πραγματοποιήσει όλες τις αναλύσεις του σε 3D περιβάλλον.

Σύμφωνα με το επίσημο site της ESRI, η πιο πρόσφατη Desktop έκδοση του ArcGIS (10.6) έχει τις εξής απαιτήσεις συστήματος:

- Λειτουργικό σύστημα: Windows 7 ή 10.
- Επεξεργαστής: το λιγότερο 2.2 GHz ταχύτητα, προτείνεται μοντέλο με πολλούς πυρήνες και που διαθέτει την τεχνολογία Hyper-Threading.

- Μνήμη RAM: το λιγότερο 4 GB, προτείνονται 8 GB.
- Χώρος στο σκληρό δίσκο: το λιγότερο 4 GB, προτείνονται 6 GB και άνω.
- Κάρτα γραφικών: ισχύος τουλάχιστον 64 MB RAM, προτείνονται 256 MB RAM και παραπάνω. Υποστηρίζονται chipsets των Nvidia, AMD και Intel.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 10.5 του ArcGIS, που έχει τις ίδιες απαιτήσεις με την έκδοση 10.6.

Το ArcGIS διατίθεται σε τρεις διαφορετικές εκδόσεις: Basic, Standard και Advanced. Η περιήγηση στο site της ESRI καθιστά γρήγορα σαφές το ότι είναι στημένο με τέτοιο τρόπο ώστε οι πληροφορίες σχετικά με τα πακέτα αγοράς για μία άδεια χρήσης του ArcGIS να είναι αρκετά δυσεύρετες (χαρακτηριστικό παράδειγμα, το ότι ο επίδοξος αγοραστής πρέπει πρώτα να δημιουργήσει λογαριασμό στο site προκειμένου να μπορεί να δει τις τιμές στις οποίες διατίθενται προς αγορά τα πακέτα), γεγονός το οποίο εγείρει ως μειονέκτημα του ArcGIS το ότι στοχεύει ως προϊόν αποκλειστικά σε μεγάλες εταιρείες και όχι τόσο σε ιδιώτες ή σε μικρά ερευνητικά κέντρα. Μια άδεια χρήσης για την έκδοση Standard κοστίζει €2760 ετησίως, ενώ η ESRI προσφέρει ειδικές άδειες χρήσης για μαθητές και εκπαιδευτικά ιδρύματα. Αν, όμως, ο προϋπολογισμός του επίδοξου αγοραστή είναι ανεπαρκής για να καλύψει το κόστος αγοράς της ετήσιας άδειας τότε υπάρχει η εναλλακτική λύση της προτίμησης αντί του ArcGIS ενός διαφορετικού, open-source λογισμικού GIS, όπως το GRASS (<https://grass.osgeo.org/>) ή το QGIS (<http://www.qgis.org/en/site/>). Ωστόσο, το ArcGIS είναι προς το παρόν το μόνο λογισμικό GIS που επιτρέπει τη διαχείριση και την οπτικοποίηση 3D δεδομένων, και αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που επελέγη για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας.

## 2. Αιγαί

Αρχαία πρωτεύουσα και ιερή πόλη των Μακεδόνων, τόπος όπου συνέβησαν κοσμοϊστορικά γεγονότα που άλλαξαν το ρου της παγκόσμιας ιστορίας, τόπος του οποίου το ένδοξο παρελθόν κατέληξε να περνάει άδοξα στη λήθη της ιστορίας και που από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και μετά ξανάρχισε αισίως να λαμβάνει την προσοχή και την αναγνώριση που του αρμόζει μέσω των λαμπρών ευρημάτων της αρχαιολογικής έρευνας. Στις παρακάτω παραγράφους θα παρατεθούν πληροφορίες για την ιστορία της πόλης των Αιγών, για την πορεία της αρχαιολογικής έρευνας που ξεκίνησε να διεξάγεται εκεί στην σύγχρονη εποχή, αλλά και για τους συγκεκριμένους ανασκαφικούς τομείς με τους οποίους ασχολείται η διπλωματική εργασία.

### 2.1 Ίδρυση, Άνοδος και Πτώση

Σύμφωνα με τη μυθολογία αλλά και ιστορικές πηγές, η πόλη των Αιγών ιδρύθηκε από τον Περδίκκα Α', απόγονο του τρισέγγονου του Ηρακλή και θρυλικού βασιλιά Τήμενου από το Άργος της Πελοποννήσου, καταγωγή λόγω της οποίας η πρώτη βασιλική δυναστεία των Μακεδόνων λαμβάνει το όνομα Αργεάδες ή Τημενίδες και λατρεύει τον Ηρακλή ως ιδρυτή του γένους της (Ανδρόνικος 1984, σελ. 34). Περί το 650 π.Χ. ο Περδίκκας έφυγε από το Άργος μαζί με τα δύο αδέρφια του ακολουθώντας χρησμό από το Μαντείο των Δελφών, σύμφωνα με τον οποίο όφειλε να πάει στη γη των Βοττιαίων και να ιδρύσει την πρωτεύουσα του κράτους του στο σημείο που θα συναντούσε «λευκές αίγες με λαμπερά κέρατα» (Διόδωρος Σικελιώτης, Ιστορική Βιβλιοθήκη 7.16). Κατά τον Ηρόδοτο (Ηρόδοτος, Ιστορία 8.137) η ιστορία της ίδρυσης δεν περιλαμβάνει χρησμό από το Μαντείο, και ο Περδίκκας με τα αδέρφια του, διωκόμενοι από το Άργος, κατέφυγαν στην Ιλλυρία και έπειτα στη Μακεδονία όπου κατέληξαν να ιδρύνουν τις Αιγές ως πρωτεύουσά τους και ως αφετηρία για την κατάκτηση ολόκληρης της ευρύτερης περιοχής. Όποια εκδοχή και αν ισχύει, οι Αιγές παρέμειναν πρωτεύουσα του Μακεδονικού βασιλείου από την ίδρυσή τους μέχρι τα τέλη του 5<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. οπότε και ο βασιλιάς Αρχέλαος Α' μετέφερε την έδρα του κράτους στην Πέλλα. Ωστόσο η πόλη εξακολουθούσε να διατηρεί τον συμβολισμό της ως κοιτίδα του Μακεδονικού βασιλείου,

να δέχεται τις ταφές των μελών της βασιλικής οικογένειας και να αποτελεί σπουδαίο τελετουργικό κέντρο (Hammond 1979, σελ. 139-40 και 150).

Η υπόσταση των Αιγών ως η ιερή πόλη των Μακεδόνων δικαιολογεί την απόφαση του βασιλιά Φιλίππου Β' να εορτάσει εκεί το καλοκαίρι του 336 π.Χ. τον γάμο της κόρης του, Κλεοπάτρας, με τον βασιλιά των Μολοσσών, Αλέξανδρο Α'. Παράλληλα με το αμιγώς τελετουργικό σκέλος, οι εορτασμοί αποτελούσαν και μια πρώτης τάξεως ευκαιρία προβολής της ισχύος του Φιλίππου ως «Στρατηγός Αυτοκράτωρ» των συνασπισμένων Ελληνικών πόλεων λίγο πριν την προγραμματισμένη εκκίνηση της εκστρατείας εναντίον των Περσών. Την τελευταία μέρα των εορταστικών εκδηλώσεων στο κατάμεστο από κόσμο θέατρο των Αιγών, εισέρχονται σε πομπή δώδεκα αγάλματα των θεών του Ολύμπου, τα οποία ακολουθεί ένα δέκατο τρίτο, αυτό του Φιλίππου. Την πομπή των αγαλμάτων ακολουθεί ο ίδιος ο Φίλιππος, άοπλος και χωρίς τη συνοδεία της σωματοφυλακής του, θέλοντας να προβάλει την παντοδυναμία του. Καθώς εισέρχεται στο θέατρο όμως, δολοφονείται μπροστά στα συγκεντρωμένα πλήθη από τον Πausανία, ένα από τα μέλη της σωματοφυλακής του, ο οποίος θανατώνεται κατά την προσπάθειά του να διαφύγει (Διόδωρος Σικελιώτης, 16.91-95). Ο γιος του, Αλέξανδρος Γ', ανακηρύσσεται από τη συνέλευση του στρατού βασιλιάς μετά την μεγαλοπρεπέστατη ταφή του πατέρα του (Διόδωρος Σικελιώτης, 17.2) και την άνοιξη του 334 π.Χ. θα ξεκινήσει από τις Αιγές την ενδεκαετή εκστρατεία κατά του Περσικού κράτους, η οποία θα τον αναδείξει ως κυρίαρχο και θεμελιωτή ενός καινούργιου κόσμου.

Στα Ελληνιστικά χρόνια, αν και εξακολουθεί να θεωρείται σημαντική Μακεδονική πόλη και «τόπος των παλαιών βασιλέων», η πόλη των Αιγών προοδευτικά χάνει την ισχύ και την λάμψη της. Το 273 π.Χ. ο βασιλιάς της Ηπείρου, Πύρρος, νικάει σε μάχη τον Μακεδόνα βασιλιά Αντίγονο Β' Γονατά και εγκαθιστά στις Αιγές φρουρά Γαλατών μισθοφόρων, οι οποίοι λεηλατούν πολλούς από τους βασιλικούς τάφους της νεκρόπολης των Αιγών αναζητώντας τα πολύτιμα κτερίσματά τους (Πλούταρχος, Πύρρος, 26.11). Μετά την ήττα του τελευταίου Μακεδόνα βασιλιά Περσέα από τους Ρωμαίους υπό τον στρατηγό και ύπατο Λεύκιο Αιμίλιο Παύλο στην Πύδνα τον Ιούνιο του 168 π.Χ. (Λίβιος, 45.1, 9) και την αποτυχημένη επανάσταση του Ανδρίσκου (ενός τυχοδιώκτη που παρουσιαζόταν ως γιος του Περσέα) το 148 π.Χ. η Μακεδονία γίνεται και επίσημα

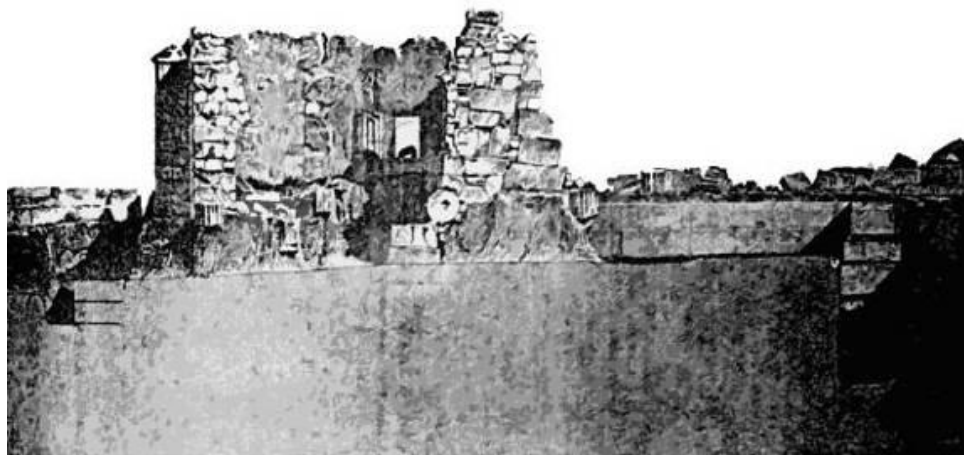
Ρωμαϊκή επαρχία υπό τη διοίκηση Ρωμαίου ανθύπατου (Wilcken, U. 1962, σελ. 377-378) και οι Αιγές καταστρέφονται στο μεγαλύτερο μέρος τους, με την πόλη να συρρικνώνεται προς την δυτική της πλευρά (Δρούγου 2009).

Κατά τα Ρωμαϊκά χρόνια η πόλη παραγκωνίζεται από τα νέα σημαντικά κέντρα εξουσίας στην περιοχή, την Βέροια, την Έδεσσα και την Πέλλα (Λίβιος, 45.30). Αναφέρεται μιν στον κατάλογο των πόλεων της Ημαθίας που παραθέτει ο Κλαύδιος Πτολεμαίος στο γεωγραφικό έργο του το 150 μ.Χ. (Γεωγραφική Υφήγησις, 3.13.39), ωστόσο είναι πλέον ουσιαστικά περισσότερο μια παρακμάζουσα κωμόπολη παρά η ένδοξη βασιλική πρωτεύουσα. Καθώς η Μακεδονία εισέρχεται στους πρώτους Χριστιανικούς και στους μετέπειτα Βυζαντινούς αιώνες, οι τελευταίοι κάτοικοι έχουν ήδη εγκαταλείψει την πόλη και το λαμπρό παρελθόν των Αιγών έχει περάσει στη λήθη... αλλά όχι πλήρως. Τα αρχαία κατάλοιπα που ήταν διάσπαρτα στην περιοχή ήταν στοιχείο υπερβολικά έντονο για να αγνοηθεί από τους μετέπειτα κατοίκους της περιοχής, οι οποίοι ονομάζουν το παρακείμενο χωριό τους «Παλατίτσια», σαφώς επηρεασμένοι από τα κοντινά ερείπια του πάλαι ποτέ λαμπρού ανακτόρου των Αιγών (Δρούγου – Παλιαδέλη 2005, σελ. 16).

## 2.2 Σύντομο ιστορικό της αρχαιολογικής έρευνας

Το 1856, ο Γάλλος αρχαιολόγος Leon Heuzey επισκέπτεται για πρώτη φορά τον χώρο της αρχαίας πόλης κατά τις περιηγήσεις του στην Μακεδονία, κατόπιν υποδείξεως ενός ιερέα ο οποίος του αποκάλυψε την ύπαρξη αρχαιοτήτων στην περιοχή. Πέντε χρόνια αργότερα επιστρέφει ως επικεφαλής μιας αρχαιολογικής αποστολής μαζί με τον αρχιτέκτονα Henry Daumet, επιχειρεί την πρώτη ανασκαφή στα ερείπια του ανακτόρου και σε έναν μακεδονικό τάφο κοντά στα Παλατίτσια (που, μαζί με έναν παρακείμενο τάφο που αποκαλύφθηκε το καλοκαίρι του 1998, αποκαλούνται ως σήμερα «Τάφοι Heuzey»), και, με την άδεια των Οθωμανικών αρχών της εποχής, αποσπάει και στέλνει ορισμένα από τα ευρήματά του στο Μουσείο του Λούβρου (Heuzey 1876). Οι ανασκαφές τερματίζονται άδοξα λόγω του φόβου για κρούσματα ελονοσίας, και ο Heuzey με την ομάδα του επιστρέφουν στη χώρα τους, έχοντας όμως επανεκκινήσει επιτυχώς το ενδιαφέρον για τις αρχαιότητες της περιοχής και επηρεάζοντας εν πολλοίς

μέχρι και σήμερα το αρχαιολογικό έργο που διεξάγεται εκεί. Όπως γράφει και ο ίδιος ο Heuzey: «Αν υπάρχει μια ευκαιρία να λύσουμε το μυστήριο που ταλανίζει την ιστορία, για τους θεσμούς και την τοπογραφία της Μακεδονίας, αν υπάρχει ακόμη κάποια ελπίδα να ανασύρουμε από την πυκνή λησμονιά τις αρχαιότητες ενός λαού που έπαιξε σημαντικό ρόλο στον κόσμο, είμαστε πεπεισμένοι ότι η λύση αυτών των ερωτημάτων κρύβεται κάτω από τους λόφους στα Παλατίσια» (Heuzey 1876, σελ. 226).



Εικόνα 6. Από τα σχέδια του Henry Daumet κατά την ανασκαφή του Leon Heuzey στο ανάκτορο (πηγή: <http://vergina.web.auth.gr>)

Μετά τη Μικρασιατική Καταστροφή του 1922 και την υποχρεωτική ανταλλαγή των πληθυσμών με βάση την Συνθήκη της Λοζάνης, ιδρύεται στα δυτικά της αρχαίας πόλης και στη θέση δύο μικρών προϋπαρχόντων οικισμών ονόματι Κούτλες και Μπάρμπες η σύγχρονη κωμόπολη, από αφιχθέντες στην περιοχή Έλληνες πρόσφυγες (οι οποίοι, παράλληλα, χρησιμοποιούν διάσπαρτα τμήματα των ερειπίων του ανακτόρου και της αρχαίας πόλης ως δομικό υλικό για το κτίσιμο των σπιτιών τους). Ο τότε Μητροπολίτη Βέροιας, Κωνστάντιος Β', προτείνει να δοθεί στην νέα κωμόπολη το όνομα «Βεργίνα», ενθυμούμενος έναν τοπικό θρύλο<sup>3</sup> σχετικά με την τελευταία Ελληνίδα βασίλισσα της

<sup>3</sup>Γράφει ο Μανόλης Ανδρόνικος: «Οι κάτοικοι του τόπου, όπως έγινε και σε όλα τα ελληνικά μέρη που σώθηκαν αρχαία ερείπια, είχαν κιόλας πλάσει γι' αυτά τη δική τους ιστορία. "Εκεί στο παλάτι ζούσε μια φορά κι έναν καιρό μια σπουδαία βασίλισσα που την έλεγαν Βεργίνα. Όταν οι εχθροί κύκλωσαν το παλάτι, είχε ένα μυστικό υπόγειο δρόμο, κι απ' αυτόν έφυγε για τη Βέροια!" Το παλάτι είναι βέβαια αυτό που είχε αρχίσει να σκάβει ο Heuzey. Ο υπόγειος δρόμος πρέπει να ήταν κάποιος ή κάποιοι μακεδονικοί τάφοι, που με τη στενόμακρη καμάρα τους έδιναν την εντύπωση τουνελιού στους χωρικούς... Ο Δεσπότης της

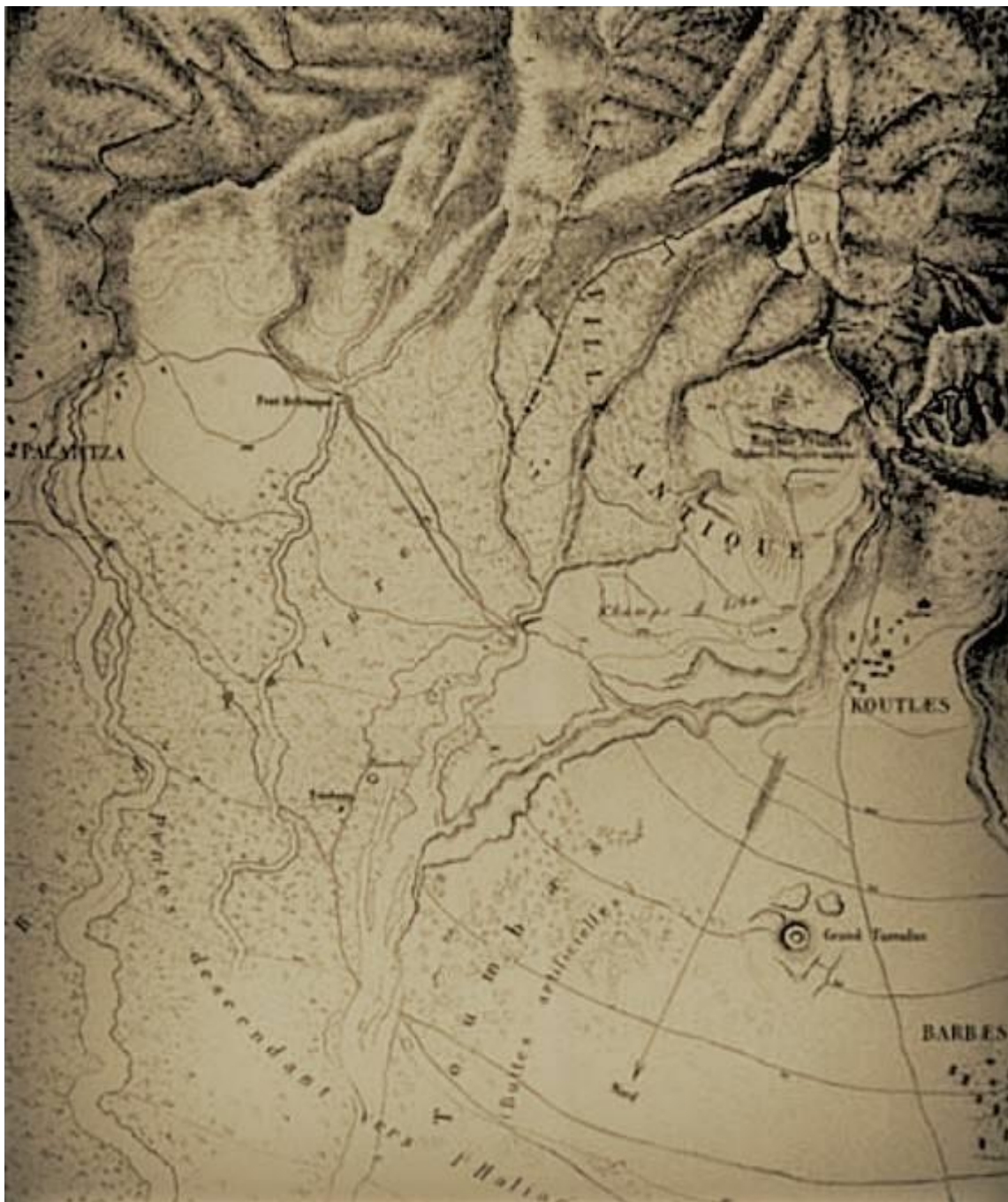
περιοχής πριν την κατάληψη της Βέροιας από τους Οθωμανούς το 1433 (Ανδρόνικος 1997).

Εβδομήντα περίπου χρόνια μετά την αποστολή του Heuzey, το 1937, ο καθηγητής Αρχαιολογίας Κωνσταντίνος Ρωμαίος είναι αυτός που επανεκκινεί την έρευνα στην περιοχή και σηματοδοτεί την έναρξη της ανασκαφικής παρουσίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στη Βεργίνα, η οποία συνεχίζεται ως σήμερα. Μαζί με μερικούς φοιτητές του, μεταξύ των οποίων και οι μετέπειτα ανασκαφείς του χώρου Φώτης Πέτσας και Μανόλης Ανδρόνικος, ανασκάπτει το ανάκτορο ακριβώς στο σημείο που είχε ξεκινήσει τις ανασκαφικές της εργασίες η ομάδα του Heuzey και φέρνει στο φως πλήθος αρχιτεκτονικών μελών, αλλά όχι κάποια επιγραφή η οποία θα μπορούσε να ταυτίσει και να χρονολογήσει οριστικά το μνημείο, όπως γράφει και ο ίδιος στο ημερολόγιό του (Δρούγου – Παλιαδέλη 2005, σελ. 70). Ο Ρωμαίος με την ομάδα του ανακαλύπτουν επίσης βορειότερα του ανακτόρου έναν συλημένο μακεδονικό τάφο, που αποκαλείται συμβατικά σήμερα «τάφος του Ρωμαίου» (Ρωμαίος 1951).

Οι ανασκαφές στη Βεργίνα διακόπτονται λόγω του ξεσπάσματος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και των συνεπαγόμενων δραματικών γεγονότων της Κατοχής και του Εμφυλίου μέχρι το 1949, όταν ο Μανόλης Ανδρόνικος, ως επιμελητής αρχαιοτήτων στην εφορεία Κεντρικής Μακεδονίας (και, από το 1957, ως πανεπιστημιακός καθηγητής), ξαναρχίζει την εντατική ανασκαφική δραστηριότητα στην περιοχή. Από το 1952 έως το 1961 ερευνά τμήμα του νεκροταφείου των τύμβων που απλωνόταν στην πεδιάδα βόρεια του ανακτόρου ανάμεσα στη Βεργίνα και τα Παλατίτσια (Ανδρόνικος 1969), από το 1959 ως το 1974 αναλαμβάνει ξανά την ανασκαφή του Ανακτόρου μαζί με τον Γεώργιο Μπακαλάκη, και στα έτη 1962-1963 πραγματοποιεί τις πρώτες δοκιμαστικές τομές στη Μεγάλη Τούμπα, τον χαμηλό λόφο βόρεια της περιοχής του ανακτόρου, τον οποίο ο Henry Daumet είχε επισημάνει στο τοπογραφικό σχέδιο της περιοχής ως «Grand Tumulus» (εικόνα 7).

---

Βέροιας, που φαίνεται πως ήταν άνθρωπος φωτισμένος, θυμήθηκε το παραμύθι της Βεργίνας και πρότεινε να ονομαστεί το χωριό με το όνομα της παλιάς βασίλισσας· το χωριό το είπαν λοιπόν Βεργίνα. Σπάνια νομίζω δόθηκε σε ελληνικό χωριό τόσο ταιριαστό όνομα από τους νεότερους ονοματοθέτες, που γέμισαν την ελληνική ύπαιθρο με κοινά, ψυχρά και άμουσα ονόματα, που τα συναντάς κάθε λίγο και λιγάκι...» (Μ. Ανδρόνικος (1997), σελ. 25)



Εικόνα 7. Το τοπογραφικό σχέδιο του Henry Daumet. Διακρίνεται ο χώρος της αρχαίας πόλης, τα Παλατίτσια, οι οικισμοί Κούτλες και Μπάρμπες και ανάμεσά τους η Μεγάλη Τούμπα (πηγή: Heuzey 1876)

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως η οποιαδήποτε ανασκαφική δραστηριότητα στην περιοχή από τα χρόνια του Heuzey μέχρι τον Ανδρόνικο δεν είχε ταυτίσει τις αρχαιότητες της Βεργίνας με την αρχαία πόλη των Αιγών. Μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα οι περισσότεροι ερευνητές θεωρούσαν πως οι Αιγές ταυτίζονταν με την πόλη της



Έδεσσα, ωστόσο η άποψη αυτή είχε αμφισβητηθεί ήδη από τον Tafel, ο οποίος υποστήριζε πως η Έδεσσα και οι Αιγές είναι δύο διαφορετικές πόλεις (Tafel 1842, σελ. 49-50). Επικρατέστερη θεωρία ως προς την ταύτιση των αρχαιοτήτων της Βεργίνας ήταν πως πρόκειται για την αρχαία πόλη Βάλλα, θεωρία που διατύπωσε πρώτος ο Heuzey και δεν είχε αμφισβητήσει ούτε ο Κωνσταντίνος Ρωμαίος. Αυτό ανατράπηκε από τον Άγγλο ιστορικό Nicholas Hammond, ο οποίος το 1968 σε ένα συμπόσιο για την αρχαία Μακεδονία πρότεινε την ταύτιση της αρχαίας πόλης ανάμεσα στη Βεργίνα και τα Παλατίτσια με τις Αιγές, άποψη την οποία ο Μανόλης Ανδρόνικος δεν ενστερνίστηκε αρχικά (Ανδρόνικος 1997, σελ. 64).

Το παραπάνω έμελλε να αλλάξει με την εκκίνηση της συστηματικής ανασκαφής στη Μεγάλη Τούμπα το 1976. Στα πέντε χρόνια που διήρκησε η έρευνα στη Μεγάλη Τούμπα ήρθαν στο φως εξαιρετικής αρχαιολογικής και καλλιτεχνικής αξίας μνημεία (Ανδρόνικος 1984), ωστόσο κορυφαία στιγμή των ερευνών ήταν αναμφισβήτητα η αποκάλυψη του ασύλητου μακεδονικού τάφου την 8η Νοεμβρίου 1977 (Ανδρόνικος 1997, σελ. 176), αποκάλυψη η οποία οδήγησε τον Μανόλη Ανδρόνικο να ανακοινώσει στην κατάμεστη αίθουσα τελετών της Παλαιάς Φιλοσοφικής Σχολής του ΑΠΘ λίγες μέρες αργότερα, στις 24 Νοεμβρίου, πως «στηριγμένος σε ισχυρές αρχαιολογικές ενδείξεις, νομίζω πως έχω το δικαίωμα να πω ότι ο μεγάλος μακεδονικός τάφος μπορεί να ανήκει στον Φίλιππο Β'».



Εικόνα 8. Η χρυσή λάρνακα του Φιλίππου Β' (πηγή: [www.aigai.gr](http://www.aigai.gr))

Με την ολοκλήρωση της ανασκαφής στη Μεγάλη Τούμπα, τα σπουδαία ευρήματα της οποίας είχαν αρχίσει να ωθούν σταδιακά την πλειοψηφία των ερευνητών προς την υιοθέτηση της επιχειρηματολογίας του Hammond ως προς την ταύτιση με τις Αιγές, η ανασκαφική ομάδα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου εγκαινιάζει από το 1982 έναν νέο, ευρύτατο κύκλο εργασιών, διευρύνοντας τις έρευνές της στην περιοχή της πόλης και του νεκροταφείου. Την ίδια χρονιά εντοπίζεται αμέσως βόρεια του ανακτόρου το αρχαίο θέατρο της πόλης (Δρούγου 1989), και περίπου 80μ. βορειότερα αυτού ο χώρος που ταυτίζεται με το Ιερό της θεάς Εύκλειας και την αρχαία αγορά των Αιγών (Παλιαδέλη 1987). Το 1987 επίσης αποκαλύπτεται δίπλα στον «τάφο του Ρωμαίου» συλημένος μακεδονικός τάφος, η πλούσια διακόσμηση του οποίου παραπέμπει σε βασιλική ταφή και με βάση τα διαθέσιμα χρονολογικά στοιχεία αποδίδεται στη μητέρα του Φιλίππου, Ευρυδίκη (Ανδρόνικος 1987), και το 1990 ξεκινά η ανασκαφή του Ιερού της Μητέρας των θεών στο ανατολικό τμήμα της πόλης (Δρούγου 1996). Το ΑΠΘ συνεχίζει μέχρι σήμερα την ανασκαφική του δραστηριότητα στις παραπάνω περιοχές, παράλληλα με έρευνες που διεξάγονται στο νεκροταφείο των τύμβων, στην Ακρόπολη, σε σημεία όπου έχουν εντοπιστεί τμήματα των οχυρώσεων, αλλά και σε άλλους τομείς της αρχαίας πόλης, χαρίζοντας διαρκώς νέα στοιχεία εξαιρετικής σπουδαιότητας στην ανασκαφική έρευνα.

### **2.3 Το Ιερό της Εύκλειας**

Οι πρώτες δοκιμαστικές τομές στους αγρούς βόρεια του Ανακτόρου έγιναν από τον Μανόλη Ανδρόνικο ήδη από το 1961, οπότε και εντόπισε τμήμα ενός πάρινου οικοδομήματος (ΠΑΕ 1985, Παλιαδέλη 1987) και μια μεγάλη λίθινη θεμελίωση την οποία ερμήνευσε ως βωμό (ΠΑΕ 1982, σελ. 53). Ωστόσο έπρεπε να φτάσουμε στις αρχές της δεκαετίας του 80, στο κλείσιμο του ανασκαφικού κύκλου της Μεγάλης Τούμπας και στην επέκταση της έρευνας στην ευρύτερη περιοχή της αρχαίας πόλης πριν επανέλθει το ενδιαφέρον στον συγκεκριμένο χώρο. Έτσι, τον Αύγουστο του 1982, νέες δοκιμαστικές τομές που έγιναν στα κτήματα βόρεια του ανακτόρου αποκάλυψαν ένα διθάλαμο κτίριο διαστάσεων 8x5 μ. και με είσοδο από τα βόρεια, το οποίο ταυτίστηκε από την πρώτη στιγμή ως ναός. Σε πολύ μικρή απόσταση από τον δυτικό τοίχο του ναού και στημένες

παράλληλα προς τον άξονα Β-Ν, αποκαλύφθηκαν και τρεις βάσεις αναθημάτων, η πρώτη εκ των οποίων σωζόταν σχεδόν ολόκληρη και έφερε στη δυτική πλευρά της την επιγραφή «ΕΥΡΥΔΙΚΑΣΙΡΡΑΕΥΚΛΕΙΑΙ» (εικόνα 9). Από τη μορφή των γραμμάτων και την ομοιότητά τους με άλλες επιγραφές σχετικές με τον Αλέξανδρο που ανάγονται στα πρώτα χρόνια της βασιλείας του (Heisserer 1980), προέκυψε η χρονολόγηση της επιγραφής το αργότερο στη δεκαετία του 340-330 π.Χ. Η χρονολόγηση, σε συνδυασμό με το αναγραφόμενο όνομα «Ευρυδίκη» που συνοδεύεται από το πατρωνυμικό «Σίρρα», παρέπεμπε αναπόφευκτα στη σύζυγο του βασιλιά της Μακεδονίας Αμύντα Γ' και μητέρα του Φιλίππου Β' ως αναθέτρια του μνημείου προς τιμήν της θεάς Εύκλειας<sup>4</sup>. Αυτή η ανακάλυψη επρόκειτο να χαρακτηρίσει τον ευρύτερο ανασκαφικό τομέα από τότε μέχρι σήμερα, δίδοντάς του το συμβατικό όνομα «Ιερό της Εύκλειας». Παράλληλα, τα στοιχεία για τους χώρους όπου τελούνταν η λατρεία της Εύκλειας ως θεοποιημένη μορφή της καλής φήμης και της δόξας στις πόλεις της νότιας Ελλάδας επέτρεψαν τον χαρακτηρισμό του ανασκαφικού χώρου όπου βρέθηκε η αναθηματική βάση ως τμήμα της αρχαίας αγοράς των Αιγών (Παλιαδέλη 1987).



**Εικόνα 9. Οι τρεις αναθηματικές βάσεις και ο βωμός (πάνω), και η επιγραφή της Ευρυδίκης (κάτω)**  
(πηγή: Παλιαδέλη 1987, σελ. 745)

<sup>4</sup> Ο Μανόλης Ανδρόνικος είχε διατυπώσει, μάλιστα, την υπόθεση ότι αφορμή για το αφιέρωμα της Ευρυδίκης στην Εύκλεια υπήρξε η νίκη του Φιλίππου στη μάχη της Χαιρώνειας το 338 π.Χ. (Μ. Ανδρόνικος (1984, σελ. 49 κ.ε.), χρονιά κατά την οποία η μητέρα του πρέπει να ήταν σχεδόν 70 χρονών (N. Hammond (1979), σελ. 184 και 204).

Το ανασκαφικό έργο του ΑΠΘ συνεχίζεται στην ευρύτερη περιοχή του Ιερού της Εύκλειας από το 1982 μέχρι σήμερα, με ελάχιστες διακοπές. Από τότε ως σήμερα οι ανασκαφές έχουν αποκαλύψει ποικίλης φύσεως ευρήματα, από λείψανα κτιρίων διαφόρων χρονολογικών και οικοδομικών φάσεων μέχρι λαμπρά τεχνουργήματα ανυπολόγιστης αρχαιολογικής και καλλιτεχνικής αξίας (όπως το εξαιρετικής ποιότητας μαρμάρινο αναθηματικό άγαλμα πεπλοφόρου με την ενεπίγραφη βάση του που αποδίδεται επίσης στην Ευρυδίκη, το τμήμα ενός κολοσσικού μαρμάρινου φιδιού που χαρακτηρίστηκε ως απεικόνιση του Διός Μειλιχίου, αλλά και τα εντελώς αναπάντεχα και άκρως εντυπωσιακά ταφικά ευρήματα των ανασκαφών του 2008 και του 2009, ανασκαφές στις οποίες είχε την τύχη να συμμετέχει και ο γράφων), ευρήματα τα οποία έχουν μελετηθεί ή και συνεχίζουν να είναι αντικείμενο μελέτης, και τα οποία έχουν προκαλέσει την συγγραφή πάμπολλων βιβλίων και επιστημονικών άρθρων<sup>5</sup>. Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθιστά πρόπον να μην αναλυθεί εις βάθος το σύνολο των οικοδομημάτων και των λοιπών ευρημάτων που έχουν αποκαλυφθεί στον ευρύτερο ανασκαφικό τομέα του Ιερού της Εύκλειας, παρά μόνον αυτά που αφορούν άμεσα τις ανασκαφικές περιόδους του 2016 και του 2017, οι οποίες σχετίζονται και αμεσότερα με τον τεκμηριωτικό τελικό σκοπό του αντικειμένου της εργασίας. Έτσι, θα παρασχεθούν πληροφορίες κυρίως για τα κτίσματα που έχουν κατοχυρωθεί στην βιβλιογραφία ως «Δυτική Στοά» και «Νότιος Αναλημματικός Τοίχος», σε τομές των οποίων επικεντρώθηκαν και οι έρευνες τον Αύγουστο του 2017.

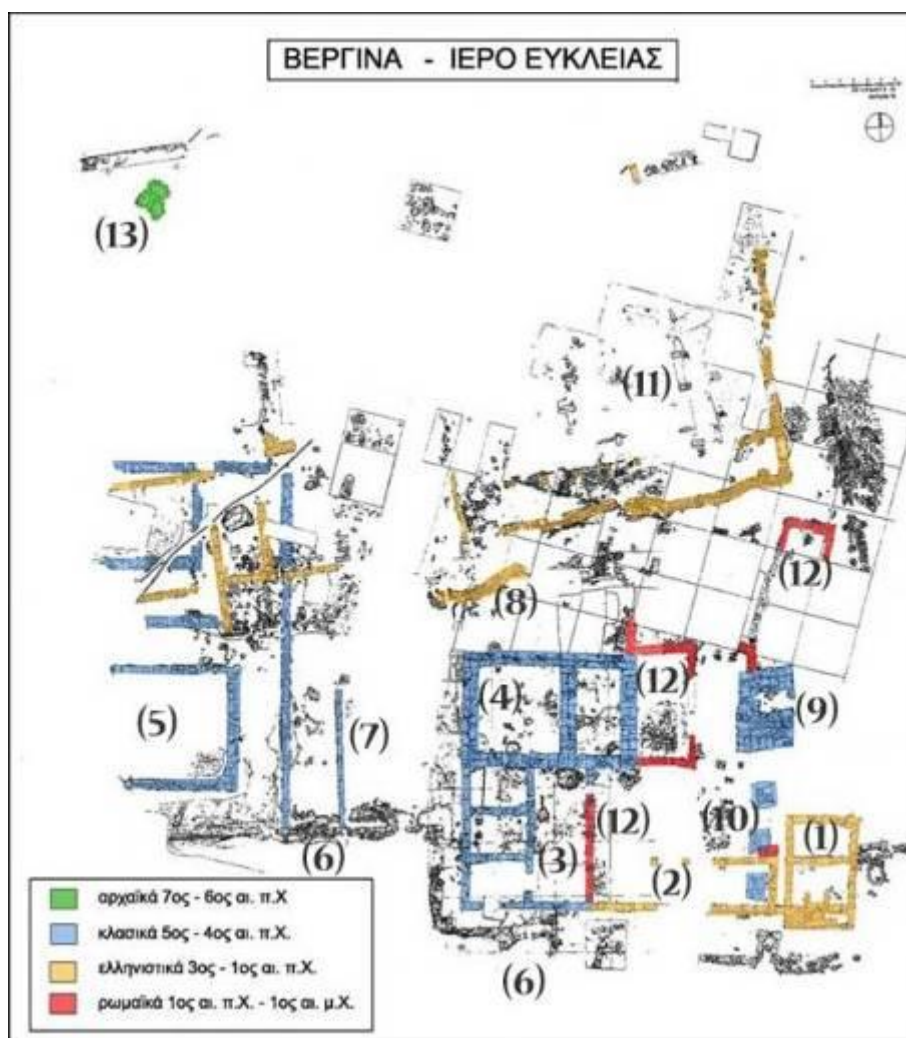
Πέραν τούτου, για λόγους προσανατολισμού στον αρχαιολογικό χώρο, αριθμούνται στην εικόνα 10 που παρατίθεται στη συνέχεια όλα τα διακριτά οικοδομήματα που έχουν εντοπιστεί ανασκαφικά στο Ιερό της Εύκλειας.

Με βάση το συμβατικό όνομα που τους έχει δοθεί στη βιβλιογραφία, αυτά είναι τα εξής: Ναός I (1), Νότια Στοά (2), Δυτική Στοά (3), Ναός II (4), Περίστυλο I (5), Νότιος Αναλημματικός Τοίχος (6), Δυτικός Αναλημματικός Τοίχος (7), Βόρειος Αναλημματικός

---

<sup>5</sup> Ενδεικτικά άρθρα: για μια συνολική παρουσίαση του χώρου, βλ. Χρ. Σαατσόγλου-Παλιαδέλη (1996), σελ. 55-69 και (2009), σελ. 295-306. Για το άγαλμα της πεπλοφόρου και τα λοιπά περιεχόμενα του «Αποθέτη των Γλυπτών» βλ. Χρ. Σαατσόγλου-Παλιαδέλη (1990), σελ. 21-34. Για το κολοσσικό μαρμάρινο γλυπτό φιδιού βλ. Χρ. Σαατσόγλου-Παλιαδέλη (1991), σελ. 12-16. Για τα ταφικά ευρήματα του 2008 και 2009, βλ. Χρ. Σαατσόγλου-Παλιαδέλη κ. ά. (2009), σελ. 117-122.

Τοίχος (8), Βωμός (9), Βάσεις Αναθημάτων και «οικίσκος» (10), Περίστυλο ΙΙ (11), Αργολιθοδομικοί Τοίχοι (12), Πιθεόνας Πρώιμης Εποχής Σιδήρου (13).



Εικόνα 10. Κάτοψη του ευρύτερου τομέα του Ιερού της Εύκλειας (πηγή: αρχείο Αλέξη Τούρτα)

### 2.3.1 Δυτική Στοά

Πρόκειται για ένα στωικό οικοδόμημα με δωμάτια, κατασκευασμένο από επιμελημένα κομμάτια πορώλιθου. Αποτελείται από μια στοά 10 περίπου μέτρων στα ανατολικά, και τρία ισομεγέθη ορθογώνια δωμάτια, εσωτερικών διαστάσεων 3x4 μ. στα δυτικά. Εκτός από τους δόμους των θεμελίων, σε ορισμένα σημεία στα νότια σώζεται και ο τοιχοβάτης. Στα ανατολικά αποκαλύφθηκε και ο στυλοβάτης, όπου βρέθηκαν στη θέση τους τα

κατώτατα τμήματα των τριών δωρικών κίωνων της στοάς, η οποία πρέπει να ήταν τρίστυλη εν παραστάσι (Ανδρόνικος 1990). Όπως και τα δωμάτια, η στοά έχει πλάτος 4 περίπου μ.

Η δυτική στοά βρίσκεται σε άμεση σχέση με τον Ναό II που έχει εντοπιστεί αμέσως βορειότερα (και ο οποίος, λόγω του μαρμάρινου φιδιού που αναφέρεται ως εύρημα παραπάνω, μπορεί να αποδοθεί στη λατρεία του Διός Μειλιχίου), καθώς ο βόρειος τοίχος της αντιστοιχούσε στον νότιο τοίχο του ναού, ενώ παράλληλα ο ίδιος τοίχος δεν έχει ανεξάρτητη θεμελίωση αλλά αξιοποιεί το πλατύ θεμέλιο του ναού. Η σχέση αυτή υποδεικνύει πως η κατασκευή της στοάς έπεται αυτής του ναού, ή ότι τα δύο κτήρια ενδεχομένως να κατασκευάζονται ταυτόχρονα. Η διαφορά στο επίπεδο των θεμελίων (η θεμελίωση του ναού είναι πλατύτερη, βαθύτερη και απόλυτα οριζοντιωμένη, ενώ η θεμελίωση της στοάς είναι στενότερη κατά ένα δόμο και παρακολουθεί τη κατωφερική κλίση του φυσικού εδάφους) δικαιολογεί την τοποθέτησή της σε μεταγενέστερη φάση, όχι όμως πολύ αργότερα από το χτίσιμο του ναού, καθώς οι κατασκευαστικές ομοιότητες είναι πολλές και είναι πιθανόν να αποτελούν δύο φάσεις ενός ενιαίου οικοδομικού προγράμματος (Παλιαδέλη 1990 και 1996). Εκτός από κατασκευαστική, άμεση πρέπει να ήταν και η λειτουργική σχέση των δύο κτηρίων, με πιθανότερη ερμηνεία για τον χαρακτήρα της στοάς να είναι πως σχετιζόταν με τη λατρεία που τελούνταν στον ναό. Όσον αφορά τη στέγη, η συμμετρία των δωματίων και της στοάς υποδεικνύει αμφικλινή στέγη (Παλιαδέλη 1989) η οποία, αν δεχθούμε τη χρονική διαφορά με την κατασκευή του ναού, ξεκινούσε μάλλον σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτή του ναού. Από τα μικροευρήματα της ανασκαφής στη στοά προκύπτει ότι η καταστροφή της χρονολογείται γύρω στα μέσα του 2<sup>ου</sup> αι. π.Χ. Η ποιότητα της κατασκευής της, σε συνδυασμό με την άμεση κατασκευαστική σχέση που παρουσιάζει με το «Ναό II», υποδεικνύει τη χρονολόγησή της κατασκευής μέσα στον 4<sup>ο</sup> αι. π.Χ. (Παλιαδέλη 1992 και 1996).





**Εικόνα 11. Η Δυτική Στοά κατά την εκκίνηση της ανασκαφής 2017. Στο βάθος διακρίνεται και ο σηκός του Ναού II.**

Η στοά, τα δωμάτια και η βάση του στυλοβάτη εντοπίστηκαν ανασκαφικά το 1987, αποκαλύφθηκαν σε όλη τους την έκταση το 1989, ενώ τα επόμενα χρόνια πραγματοποιήθηκαν μικρές διερευνητικές τομές στα δωμάτια. Η μετατόπιση του ανασκαφικού ενδιαφέροντος σε άλλους τομείς (κυρίως στο «Περίστυλο II» στα βόρεια από το 1995, έρευνα η οποία κατ' επέκταση οδήγησε στα σπουδαία ευρήματα του 2008 και του 2009) ανάγκασε την ανασκαφική ομάδα να επανέλθει στο χώρο της δυτικής στοάς μόλις το 2015, οπότε και συνεχίστηκε η έρευνα στα δωμάτια και στον χώρο του προστώου, ανάμεσα στα δωμάτια και τον στυλοβάτη. Το 2016 ολοκληρώθηκε η διερεύνηση των κοιτών θεμελίωσης, και έπειτα τα δωμάτια καλύφθηκαν με γεωύφασμα και επιχωματώθηκαν προκειμένου να προστατευτούν εν αναμονή της μελέτης για την συντήρηση και ανάδειξή τους. Το 2017 η έρευνα επικεντρώνεται σε 3 ανασκαφικές τομές στον χώρο του προστώου, αλλά και σε επιλεγμένες τομές που εντάσσονται στον Νότιο Αναλημματικό Τοίχο.

### 2.3.2 Νότιος Αναλημματικός Τοίχος

Πρόκειται για μεγάλο τοίχο δομημένο ως επί το πλείστον με αργούς λίθους και γωνιασμένους παρόλιθους σε δεύτερη χρήση, με μέσο πάχος περίπου 0,85 μ. Η εσωτερική του παρεία (νότια) εφάπτεται με το φυσικό χώμα σχεδόν σε όλο το μήκος του, ενώ στην εξωτερική του (βόρεια) το φυσικό έδαφος εντοπίζεται μέχρι και 1μ. χαμηλότερα, γεγονός που οδήγησε στο συμπέρασμα πως ο τοίχος μπορεί να θεωρηθεί ως το όριο ανάμεσα σε δύο από τα κλιμακωτά άνδηρα στα οποία αναπτυσσόταν η αρχαία πόλη. Χρονολογείται στα τέλη του 4<sup>ου</sup> αι. π.Χ. με βάση τα μελαμβαφή όστρακα που βρέθηκαν σε σημεία των θεμελίων του, ενώ η κατασκευή του φαίνεται πως λαμβάνει υπόψιν τη Δυτική Στοά, καθώς στα σημεία που την πλησιάζει κάμπτεται και παρακολουθεί το σχήμα της.

Ξεκινώντας από τα δυτικά, ο τοίχος συνεχίζει για περίπου 20μ. πριν στρίψει προς τα νότια για 8 περίπου μέτρα προτού επανέλθει στην ανατολική του πορεία με μια ελαφρά κλίση προς ΝΑ, για ακόμα 8,5μ. Σε εκείνο το σημείο (εικόνα 38) κάμπτεται ξανά προς νότο για τουλάχιστον 3 περίπου μέτρα<sup>6</sup>, έπειτα ξανά ανατολικά για 2,8μ., μετά Β για περίπου 5 μέτρα και έπειτα συνεχίζει την ανατολική του πορεία με ελαφρά κλίση προς ΝΑ για 11,5 μ. Σε εκείνο τα σημείο εμφανίζεται μια ορθογώνια προεξοχή διαστάσεων 2,7 x 1.7 μ., η οποία έχει υποτεθεί ότι αποτελεί τη θεμελίωση κλίμακας (ΠΑΕ 1985 σελ. 60/1987 σελ. 141, Έργον 1985 σελ. 21/1987 σελ. 58/ 1989 σελ. 68-70, Παλιαδέλη 1989 σελ. 32/1992 σελ. 55/ 1999 σελ. 545, Ανδρόνικος 1990 σελ. 364).

Η δυτική άκρη του τοίχου εντοπίστηκε ανασκαφικά το 1985, ενώ η αποκάλυψή του συνεχίστηκε σταδιακά στις ανασκαφές του 1987 και του 1989. Η ομάδα επανήλθε στον τομέα το 2008, όμως για ακόμη μια φορά τα σπουδαία ευρήματα του 2008 στον τομέα του «Περίστουλου II» και άλλες ανασκαφικές εκκρεμότητες που προέκυψαν είχαν ως αποτέλεσμα να επανέλθει η ανασκαφική έρευνα στον Νότιο Αναλημματικό Τοίχο μόλις

---

<sup>6</sup> Η ανασκαφή στο σημείο αυτό έχει αποκαλύψει την νότια πορεία του τοίχου σε μήκος 3 περίπου μ. και δεν έχει προχωρήσει ακόμα αρκετά ώστε να αποκαλυφθεί πλήρως η περαιτέρω πορεία του. Όμως 2 μέτρα νοτιότερα, κατά την πρόοδο της τομής 2017/I, έχουν αρχίσει να εμφανίζονται λίθοι οι οποίοι θα μπορούσαν να ανήκουν στον τοίχο και να πιστοποιούν την πορεία του προς νότο για τουλάχιστον 6 μ. συνολικά από το σημείο καμπής (εικόνα 38).



το 2017. Στην ανασκαφή αυτής της χρονιάς αφαιρέθηκε ένας μάρτυρας που είχε αφεθεί σε μια τομή που είχε μείνει ανενεργή από την ανασκαφή του 2008, αλλά και ανοίχθηκαν 2 νέες τομές στα Α και Δ της τομής του 2008.



**Εικόνα 12.** Το σημείο, αμέσως νότια της Δυτικής Στοάς, όπου ο Ν. Αναλημματικός Τοίχος κάμπτεται προς νότο.



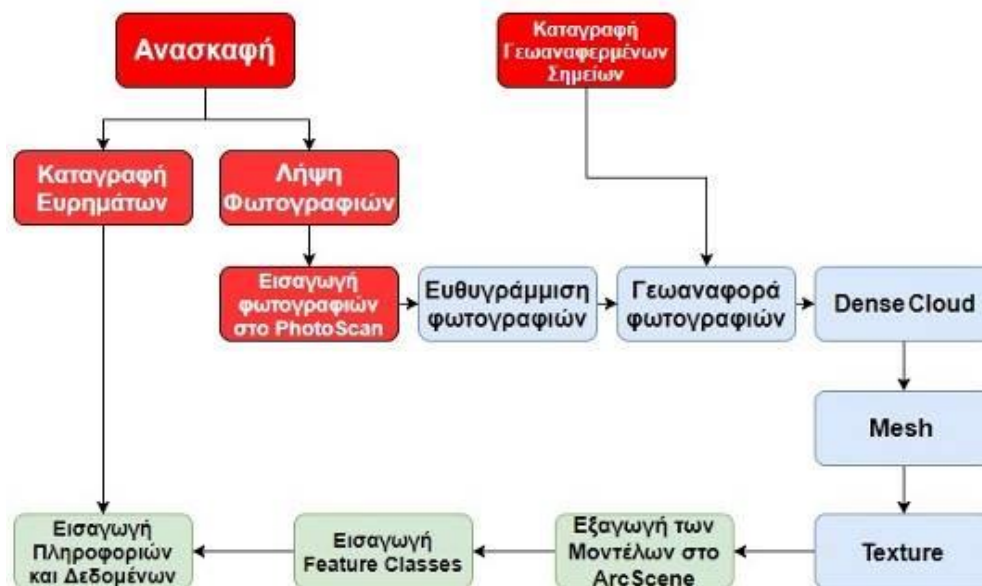
**Εικόνα 13.** Το τμήμα του Αναλημματικού Τοίχου κατά το οποίο ακολουθεί το σχήμα της Δ. Στοάς, στα Δ. και ΝΔ της.

### 3. Μεθοδολογία και Εφαρμογή

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προς την επίτευξη του τελικού σκοπού της εργασίας μπορεί να χωριστεί σε 3 γενικά στάδια: το αμιγώς ανασκαφικό σκέλος, την 3D ψηφιοποίηση, και την σύσταση της γεωβάσης στο ArcScene. Το κάθε στάδιο βέβαια αποτελεί και ένα σύνολο από ξεχωριστές διεργασίες, οι οποίες και θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Εξαιρώντας το, αναμενόμενα, περισσότερο «μη-αυτοματοποιημένο» σκέλος της ανασκαφής, το σύνολο των τεχνικών επεξεργασιών στα σκέλη ψηφιοποίησης και σύστασης του GIS έλαβαν χώρα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή γραφείου με τις εξής κύριες προδιαγραφές:

- Επεξεργαστής: Intel Core i7-4790k.
- Μητρική κάρτα: Gigabyte Z97X-SLI
- Μνήμη RAM: 16 GB DDR3 – 1600 MHz.
- Κάρτα γραφικών: Nvidia GeForce GTX 1060.
- Λειτουργικό σύστημα: Windows 10 Enterprise.



Εικόνα 14. Σχηματοποίηση της μεθοδολογίας προς την ολοκληρωμένη γεωβάση.

### 3.1 Το σκέλος της ανασκαφής

Το σκέλος αυτό περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που έλαβαν χώρα στο ανασκαφικό πεδίο του Ιερού της Εύκλειας, στα πλαίσια της συστηματικής ανασκαφής που πραγματοποιείται κάθε Αύγουστο από την ομάδα της Χρυσούλας Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Ομότιμης καθηγήτριας Κλασικής Αρχαιολογίας του τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η ομάδα που συμμετείχε στην ανασκαφή αποτελείτο από 30 άτομα περίπου, συμπεριλαμβάνοντας αρχαιολόγους, ασκούμενους προπτυχιακούς φοιτητές του τμήματος Ιστορίας και Αρχαιολογίας του ΑΠΘ, αλλά και φοιτητές και πτυχιούχους της αρχαιολογίας από ξένα εκπαιδευτικά ιδρύματα που συμμετέχουν στην ανασκαφή κάθε χρόνο μέσω ειδικών προγραμμάτων συνεργασίας που έχουν καθιερωθεί ανάμεσα στα πανεπιστήμια. Η συγκέντρωση των συμμετεχόντων στη Βεργίνα ξεκίνησε από τις 30-31 Ιουλίου και οι ανασκαφικές εργασίες της ομάδας στον αρχαιολογικό χώρο διήρκεσαν από τις 2 μέχρι τις 24 Αυγούστου, με την τελευταία εβδομάδα του μήνα να αφιερώνεται κυρίως σε εργαστηριακή δουλειά και ολοκλήρωση λοιπών εκκρεμοτήτων.

Στο πεδίο της ανασκαφής, η ομάδα δραστηριοποιήθηκε κυρίως προς 3 άξονες: τη συνέχιση των ερευνών που είχαν αρχίσει στο χώρο του Προστώου της Δυτικής Στοάς

από το 2015-16 (η οποία έρευνα βέβαια με τη σειρά της είχε ξεκινήσει από τις ανασκαφές του 1987 και του 1989), την συνέχιση των ερευνών στο Νότιο Αναλημματικό Τοίχο, όπου συνεχίστηκε η ανασκαφή σε μία από τις τομές του 2008 ενώ ανοίχτηκαν παράλληλα και 2 νέες τομές, και την επιχωμάτωση τομών η έρευνα στις οποίες είχε ήδη ολοκληρωθεί (διαδικασία που είχε ξεκινήσει ήδη από το 2016), για την καλύτερη προστασία των αρχιτεκτονικών μελών τους εν όψει της συντήρησης και ανάδειξής τους.



**Εικόνα 15. Η κάλυψη του Ναού Ι με γεωύφασμα πριν την επιχωμάτωσή του (πηγή: αρχείο ανασκαφής Βεργίνας)**

Συγκεκριμένα, στο προστώο της Δυτικής Στοάς συνεχίστηκε από πέρυσι ο συμβατικός διαχωρισμός του χώρου σε 3 τομές με το όνομα «Βόρειο», «Μεσαίο» και «Νότιο Τμήμα». Το πλάτος και των τριών τμημάτων ταυτίζεται με το πλάτος του ίδιου του προστώου, δηλαδή 4 μ., ενώ το μήκος τους διαφέρει ελαφρώς: 3,5 μ. το νότιο, 3.6μ το μεσαίο και 3,3 μ. το βόρειο. Η έρευνα στο νότιο τμήμα επικεντρώθηκε κυρίως στην αφαίρεση μιας λωρίδας χώματος που είχε αφεθεί ως μάρτυρας στη ΝΔ γωνία, στην μελέτη των τμημάτων από στρώματα καταστροφής που εντοπίζονταν στην περιοχή του μάρτυρα ώστε να συσχετιστούν με τα δεδομένα από αντίστοιχα στρώματα καταστροφής που εντοπίστηκαν το 2016 στην νότια πλευρά της τομής, παράλληλα με την αφαίρεση μιας πηλοκατασκευής από κεράμους τοποθετημένες κυκλικά, που είχε εντοπιστεί στη ΝΔ

γωνία του μάρτυρα. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω, η έρευνα επεκτάθηκε και στο υπόλοιπο νότιο τμήμα με την προοδευτική αφαίρεση λεπτών στρωμάτων χώματος και την παράλληλη μελέτη των συγκεντρώσεων κάρβουνου και των ιχνών από πηλό που είχαν εντοπιστεί ήδη από το 2016. Στο μεσαίο τμήμα συνεχίστηκε κανονικά η αφαίρεση στρωμάτων χώματος όπως είχε σταματήσει το 2016 μετά την αφαίρεση στη δυτική πλευρά της τομής μιας συγκέντρωσης από θραύσματα κεράμων, πηλού και αργών λίθων. Στο βόρειο τμήμα συνεχίστηκε επίσης η αφαίρεση στρώσεων χώματος γύρω από δύο διαμορφωμένους λάκκους που είχαν εντοπιστεί από το 2016 (για την ακρίβεια, ο ένας εκ των δύο είχε ερευνηθεί ήδη από το 1989), για τον εντοπισμό των ορίων των δόμων που αποτελούν τα νότια θεμέλια του Ναού II ακριβώς στα βόρεια.

Στον Νότιο Αναλημματικό Τοίχο, μια ομάδα προχώρησε στην αφαίρεση μιας λωρίδας χώματος που είχε απομείνει ως μάρτυρας στην τομή που ονομάστηκε «2017/J» λόγω του αντίστοιχου ονόματος που της είχε δοθεί στην ανασκαφή του 2008. Η τομή αυτή έχει μήκος 5 μ. στον άξονα Α-Δ, και πλάτος 3 μ. Ο μάρτυρας είχε αφαιρεθεί στη βόρεια πλευρά της τομής και είχε πλάτος 1μ. Παράλληλα με την έρευνα στο 2017/J ανοίχθηκαν και 2 νέες τομές, οι «2017/I» και «2017/K» στα δυτικά και ανατολικά αντίστοιχα της J. Το μήκος και των 2 τομών στον άξονα Α-Δ είναι 5 μέτρα, ενώ η 2017/I έχει πλάτος 2 μ. και η 2017/K 3 μ. Στις νέες τομές η ανασκαφή ξεκίνησε ουσιαστικά από την αρχή, με την αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος πρώτα και την προοδευτική αφαίρεση στρώσεων χώματος μέχρι να έρθουν οι δύο τομές στο ίδιο βάθος με την ήδη ως επί το πλείστον ανασκαμμένη 2017/J.

Ως προς τις τομές που επιχωματώθηκαν, πρόκειται για το Ναό I, το σηκό του Ναού II, την τομή που είχε ανοιχθεί στα δυτικά του μεσαίου δωματίου της Δυτικής Στοάς για να εντοπιστεί η πορεία του Νότιου Αναλημματικού Τοίχου, αλλά και δύο αποθέτες, του 2003 και του 1990, στα βόρεια και βορειοανατολικά του Ναού II αντιστοίχως. Αφού πρώτα καλύφθηκαν με γεωύφασμα, οι τομές επιχωματώνονταν προοδευτικά από το διερευνημένο, κοσκινισμένο χόμα που συγκεντρώνονταν κατά την πορεία της ανασκαφής.

Τα στοιχεία των ευρημάτων που προέκυπταν καθημερινά κατά την ανασκαφή εισάγονταν σε ειδικές φόρμες καταγραφής, οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στο τελικό

GIS. Επίσης κατά τη διάρκεια του σκέλους της ανασκαφής ελήφθησαν οι φωτογραφίες των τομών που ήταν απαραίτητες προκειμένου να ψηφιοποιηθούν τρισδιάστατα για τις ανάγκες της εργασίας. Οι φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η Olympus D-750 (Compact ψηφιακή μηχανή με ανάλυση 16.5 Megapixels) και η Nikon D3200 (μηχανή DSLR με ανάλυση 24.2 Megapixels). Οι φωτογραφίες που ελήφθησαν από την πρώτη έχουν διαστάσεις 4608 x 3456 pixels και ανάλυση 314 dpi ενώ η δεύτερη απέδιδε φωτογραφίες διαστάσεων 6016 x 4000 pixels και ανάλυση 300 dpi, όλες με τιμές ISO 100. Λόγω απουσίας λειτουργιών GPS στα παραπάνω μοντέλα φωτογραφικής μηχανής, τα απαραίτητα δεδομένα γεωγραφικών συντεταγμένων για την μετέπειτα γεωαναφορά των φωτογραφιών ελήφθησαν με τη χρήση λογισμικού ανίχνευσης GPS για κινητά τηλέφωνα λειτουργικού συστήματος Android σε συνδυασμό με δεδομένα που ελήφθησαν από το πρόγραμμα Google Earth της Google για έλεγχο των τιμών, και περάστηκαν στην πορεία ως ξεχωριστά σημεία κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης στο PhotoScan. Οι μετρήσεων γεωγραφικών συντεταγμένων υπολογίστηκαν με βάση σταθερά σημεία του αρχαιολογικού χώρου, κυρίως αρχιτεκτονικά μέλη όπως τα τρία κατώτατα τμήματα κίωνων που διατηρούνται στον στυλοβάτη της δυτικής στοάς, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς και αμετάβλητες στο πέρασμα των χρόνων.

### **3.2 Το σκέλος της ψηφιοποίησης**

Σε αυτό το σκέλος, οι φωτογραφίες των τομών που ελήφθησαν κατά το σκέλος της ανασκαφής επεξεργάστηκαν στο Agisoft PhotoScan, με τα 3D μοντέλα αυτών να προκύπτουν ως προϊόν της επεξεργασίας. Για τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια του τελικού προϊόντος, ελήφθη ιδιαίτερα υψηλός αριθμός φωτογραφικών από τους μεγαλύτερους ανασκαφικούς τομείς. Συγκεκριμένα, το γενικό μοντέλο ολόκληρης της περιοχής η οποία περιλαμβάνει τις τομές όπου δραστηριοποιήθηκε ανασκαφικά η ομάδα τον Αύγουστο του 2017, βασίστηκε στην επεξεργασία 986 φωτογραφιών. Το μοντέλο του τμήματος του Νότιου Αναλημματικού Τοίχου που βρίσκεται δυτικά και νοτιοδυτικά της Δυτικής Στοάς σε 301 φωτογραφίες, ενώ ένα μοντέλο της Δυτικής Στοάς όπως ήταν στο τέλος της ανασκαφής του 2016 δημιουργήθηκε για λόγους τεκμηρίωσης της εξέλιξης



της ανασκαφής στον χώρο με το πέρασμα των ανασκαφικών περιόδων από 407 φωτογραφίες. Εκτός από τις γενικές ανασκαφικές τομές, ψηφιοποιήθηκαν τρισδιάστατα και επιμέρους τμήματα όπως η πηλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του νότιου δωματίου του προστώου ως τεκμηρίωση πριν την αφαίρεσή της (εικόνες 26 και 34), οι 2 αποθέτες πριν την επιχωμάτωσή τους (εικόνες 23 και 24), και διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος που είχαν προκύψει ήδη από την ανασκαφή του 2016 και οι οποίες είχαν φωτογραφηθεί προληπτικά εν όψει της μελλοντικής υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

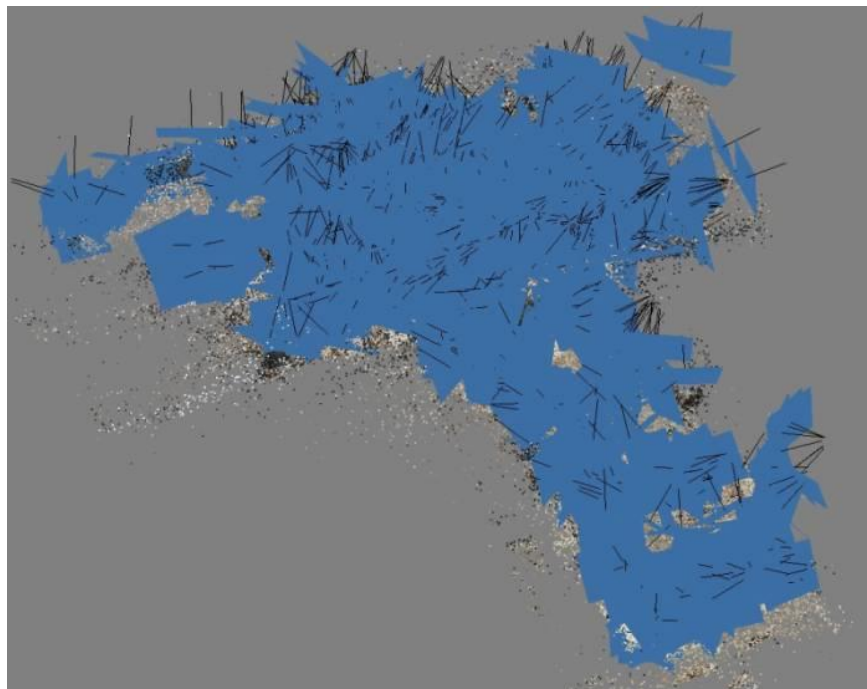
Αρχικός στόχος ήταν η παραγωγή όσο το δυνατόν υψηλότερης ποιότητας μοντέλων, με την επιλογή επιπέδου ακρίβειας και ποιότητας «High» κατά τα σκέλη Alignment και Dense Cloud, και με υψηλό αριθμό Face Count κατά τη δημιουργία του Mesh. Όμως για τεχνικούς λόγους (βλ. 4.2 – Δυσκολίες) κάτι τέτοιο δεν κατέστη δυνατόν, και έτσι τα περισσότερα μοντέλα των γενικότερων τομών ψηφιοποιήθηκαν με ρυθμίσεις επιπέδου Medium ή και Low σε αρκετές περιπτώσεις. Ακόμα και έτσι, αν και η μείωση της ποιότητας επεξεργασίας δεν επηρέασε σε καμία περίπτωση καθοριστικά την ποιότητα των παραγόμενων μοντέλων, λόγω του μεγάλου όγκου φωτογραφιών η δημιουργία των μοντέλων κατέληξε υπερβολικά χρονοβόρα διαδικασία, με το στάδιο δημιουργίας Dense Cloud κατά την επεξεργασία των μοντέλων των πιο μεγάλων ανασκαφικών τομέων να απαιτεί μέχρι και άνω των 24 ωρών συνεχούς επεξεργασίας για να ολοκληρωθεί. Σαφώς πιο ομαλή ήταν υπό αυτήν την άποψη η δημιουργία μοντέλων των επιμέρους ξεχωριστών τομών ή μικρότερων περιοχών ενδιαφέροντος, τα οποία βασίστηκαν σε σαφώς λιγότερες φωτογραφίες και άρα μπορούσαν να υποστούν επεξεργασία στο Photoscan σχετικά απρόσκοπτα και με μέγιστο χρονικό ορίζοντα ολοκλήρωσης μερικές ώρες στις πιο απαιτητικές περιπτώσεις.

Κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης της εκάστοτε τομής, εισήχθησαν και μια σειρά από Markers που αντιστοιχούσαν στα σταθερά σημεία οι γεωγραφικές συντεταγμένες των οποίων είχαν μετρηθεί και καταγραφεί. Μετά την επεξεργασία του κάθε Marker για την εισαγωγή των προβλεπόμενων μετρήσεων Longitude, Latitude και Altitude και της τελικής γεωαναφοράς των μοντέλων, κατέστη δυνατή και η δημιουργία του Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου της κάθε τομής (δείγμα των οποίων διακρίνεται και στην εικόνα

εξωφύλλου). Έπειτα, τα μοντέλα ήταν έτοιμα για την εισαγωγή τους στο ArcScene για περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 16. Το προσώο της Δυτικής Στοάς στο τέλος της ανασκαφής του 2016, με τα γεωαναφερμένα Markers υλοποιημένα.



Εικόνα 17. Οι τοποθεσίες λήψης των 986 προσανατολισμένων φωτογραφιών για την ψηφιοποίηση του σκάμματος 2017, όπως φαίνονται στο Photoscan.



Συνολικά μέχρι το τέλος του σκέλους ψηφιοποίησης έγινε επεξεργασία και παραγωγή 15 διαφορετικών 3D μοντέλων.

1. Ολόκληρο το σκάμμα 2017 (εικόνα 27). Φωτογραφίες: 986/986 Aligned. Tie Points: 465,371. Dense Cloud: 13,840,606 points, Low Quality. 3D Model: 336,902 faces.
2. Η Δυτική Στοά κατά την ανασκαφή του 2016 (εικόνα 16). Φωτογραφίες: 399/407 Aligned. Tie Points: 151,711. Dense Cloud: 9,177,544 points, Low Quality. 3D Model: 594,065 faces.
3. Το δυτικό τμήμα του Νότιου Αναλημματικού Τοίχου (εικόνες 25 και 28). Φωτογραφίες: 299/301 Aligned. Tie Points: 118,875. Dense Cloud: 24,574,658 points, Medium Quality. 3D Model: 705,074 faces.
4. Οι κοίτες θεμελίωσης του Ν. δωματίου της Δ. Στοάς (εικόνα 35). Φωτογραφίες: 246/250 Aligned. Tie Points: 470,960. Dense Cloud: 15,937,875 points, Medium Quality. 3D Model: 852,065 faces.
5. Το Ν. Δωμάτιο της Δ. Στοάς μετά την επιχωμάτωσή του (εικόνα 35). Φωτογραφίες: 395/403 Aligned. Tie Points: 184,224. Dense Cloud: 9,129,444 points, Low Quality. 3D Model: 155, 206 faces.
6. Η πηλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του προστώου (εικόνα 26). Φωτογραφίες: 56/56 Aligned. Tie Points: 31,025. Dense Cloud: 1,175,423 Points, Low Quality. 3D Model: 24,763 faces.
7. Η συγκέντρωση λίθων και πηλού στο μεσαίο τμήμα του προστώου (εικόνα 30). Φωτογραφίες: 30/30 Aligned. Tie Points: 15,356. Dense Cloud: 764,792 points, Low Quality. 3D Model: 18,839 faces.
8. Ο λάκκος («εστία») στο Β τμήμα του προστώου στην αρχή της ανασκαφής του 2016 (εικόνα 37). Φωτογραφίες: 75/75 Aligned. Tie Points: 36,025. Dense Cloud: 1,182,462 points, Low Quality. 3D Model: 27,923 faces.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**

9. Το Β τμήμα του προστώου στη διάρκεια της ανασκαφής του 2016 (εικόνα 18).  
Φωτογραφίες: 98/98 Aligned. Tie Points: 46,452. Dense Cloud: 2,651,573 points,  
Low Quality. 3D Model: 54,629 faces.
10. Το πρώτο στρώμα του Καταστροφής στο Ν. τμήμα του προστώου (εικόνα 19).  
Φωτογραφίες: 152/153 Aligned. Tie Points: 73,578. Dense Cloud: 2,125,009  
Points, Low Quality. 3D Model: 46,795 faces.
11. Το δεύτερο στρώμα του Στρώματος. Καταστροφής στο Ν. τμήμα του προστώου  
(εικόνα 20). Φωτογραφίες: 38/38 Aligned. Tie Points: 14,906. Dense Cloud:  
1,283, 437 points, Low Quality. 3D Model: 28,027 faces.
12. Η τομή στα Α του στυλοβάτη της Δ στοάς (εικόνα 21). Φωτογραφίες: 52/52  
Aligned. Tie Points: 28,637. Dense Cloud: 1,887,972 points, Low Quality. 3D  
Model: 41,953 faces.
13. Τα σωζόμενα θεμέλια του βωμού του Ιερού (εικόνα 22). Φωτογραφίες: 67/67  
Aligned. Tie Points: 66,909. Dense Cloud: 20,465,963 points, High Quality. 3D  
Model: 453,782 faces.
14. Ο αποθέτης του 1990 (εικόνα 23). Φωτογραφίες: 285/285 Aligned. Tie Points:  
109,492. Dense Cloud: 3,918,979 points, Low Quality. 3D Model: 64,783 faces.
15. Ο αποθέτης του 2003 (εικόνα 24). Φωτογραφίες 64/65 Aligned. Tie Points:  
67,475. Dense Cloud: 1,924,237 points, Low Quality. 3D Model: 128,273 faces.



Εικόνα 18. Το Β τμήμα του προστώου στη διάρκεια της ανασκαφής 2016.



Εικόνα 19. Το πρώτο στρώμα του Στρώματος Καταστροφής στο Ν τμήμα του προστώου, πριν την αφαίρεσή του το 2016.



Εικόνα 20. Το δεύτερο στρώμα του παραπάνω Στρώματος Καταστροφής.



Εικόνα 21. Η τομή στα Α του στυλοβάτη της Δ στοάς.





Εικόνα 22. Τα θεμέλια του βωμού. Αν και η συγκεκριμένη περιοχή δεν είχε ανασκαφικό ενδιαφέρον κατά την περίοδο 2017 (και άρα ο βωμός δεν περιλαμβάνεται στο GIS), η ψηφιοποίηση έγινε καθαρά για λόγους δοκιμών και προβολής των δυνατοτήτων της τεχνολογίας.



Εικόνα 23. Ο αποθέτης του 1990, όπου εντοπίστηκε το άγαλμα της πεπλοφόρου.





Εικόνα 24. Ο αποθέτης του 2003.



Εικόνα 25. Ο ψηφιακός (αριστερά) και ο φυσικός (δεξιά) κόσμος. Τμήμα του μοντέλου του Ν. Αναλημματικού Τοίχου, και το ίδιο σημείο κατά την επιχωμάτωσή του στην ανασκαφή 2017.

### 3.3 Το σκέλος σύστασης της γεωβάσης

Τα γεωαναφερμένα 3D μοντέλα των τομών εξήχθησαν από το PhotoScan ως αρχεία «COLLADA» (το ArcScene υποστηρίζει και τα αρχεία τύπου 3DS, όμως αρκετά συμβουλευτικά μηνύματα στο επίσημο Forum για την κοινότητα της ESRI προτείνουν απερίφραστα τη χρήση αρχείων COLLADA) και κατόπιν εισήχθησαν στο ArcScene μέσω της εξαιρετικά χρήσιμης, πλην αρκετά δύσχρηστης, εργαλειοθήκης «3D Analyst» (Geoprocessing-> Arc Toolbox -> 3D Analyst Tools -> Conversion -> From File -> Import 3D Files, επιλογή του επιθυμητού αρχείου .dae και συμπλήρωσης του πεδίου Output Multipatch Feature Class με ένα συμβατό όνομα). Σε περίπτωση που κάποιο από τα εισαχθέντα 3D μοντέλα απαιτεί μικρορυθμίσεις όπως μετακίνηση στον άξονα X-Y ή περιστροφή κατά X μοίρες, αυτό μπορεί να γίνει μέσω του 3D Editor Toolbar (Customize -> Toolbars -> 3D Editor, έπειτα 3D Editor -> Start Editing, Edit Placement, επιλογή του επιθυμητού μοντέλου και 3D Editor->Move/Rotate/Scale). Μετά την επιτυχημένη εισαγωγή όλων των επιθυμητών 3D μοντέλων, είναι δυνατή η επιλογή των μοντέλων που εμφανίζονται στην οθόνη ανά πάσα στιγμή μέσω της ενεργοποίησης/απενεργοποίησής τους από το μενού περιεχομένων του τρέχοντος ArcScene Project.



Εικόνα 26. Η πήλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του Προστώου. Δεξιά το 3D μοντέλο (2016), αριστερά η φωτογραφία (2017).





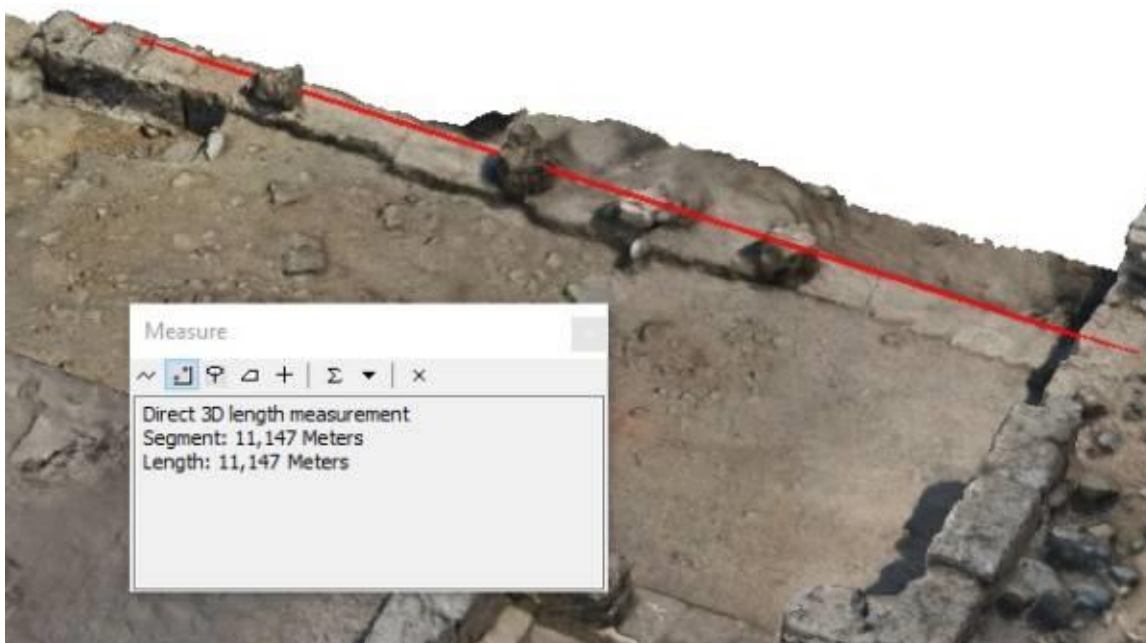
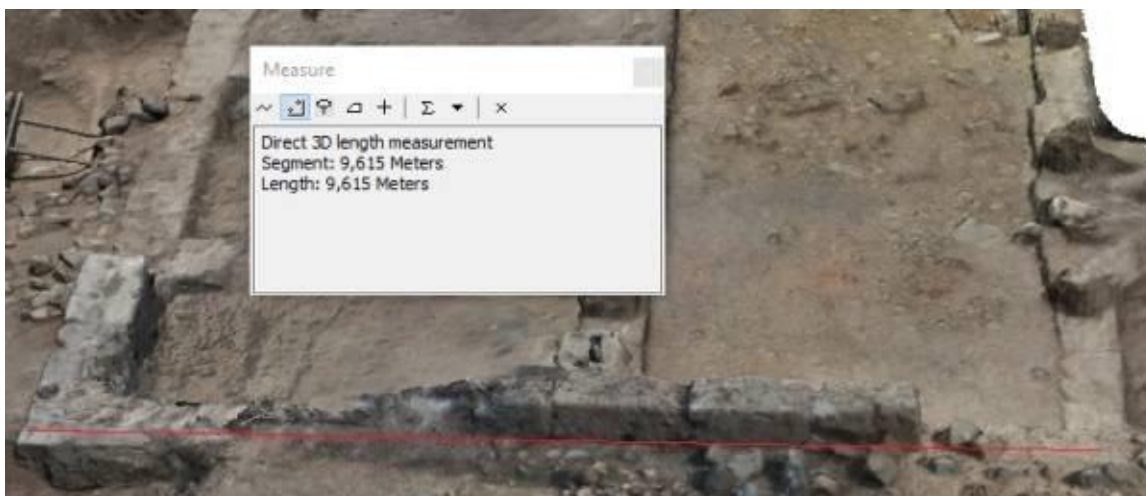
Εικόνα 27. Το πλήρες μοντέλο της τελικής φάσης του χώρου ανασκαφής 2017.



Εικόνα 28. Προσθήκη των μοντέλων για τα δωμάτια τις Δ. στοάς και για το Δ. σκέλος του Ν. Αναλημματικού Τοίχου.



Για την επιβεβαίωση της ακρίβειας των μοντέλων, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «Measure» που παρέχει το ArcScene προκειμένου να μετρηθούν γνωστές αποστάσεις και να φανεί αν οι αποστάσεις στο GIS αντιστοιχούν με τις πραγματικές. Με βάση τις εξωτερικές μετρήσεις της Δυτικής Στοάς ως 9,60 x 11.15 μ. (Παλιαδέλη 1990, σελ. 29), επιχειρείται η μέτρηση των ίδιων αποστάσεων και πάνω στα μοντέλα.



Εικόνα 29. Τα αποτελέσματα της μέτρησης των εξωτερικών διαστάσεων της Δ. Στοάς μέσα στο ArcScene.

Παρόμοιες μετρήσεις επιχειρούνται και στα μοντέλα των δωματίων της Δ. Στοάς,

επιβεβαιώνοντας τις διαστάσεις 4x3 μ. που είχαν προκύψει κατόπιν μετρήσεων στο σκάμμα την περίοδο της ανασκαφής. Η λειτουργία Measure επίσης είναι ικανή να μετρήσει βάθη, και με αυτή τη λειτουργία ελέγχθηκαν και επιβεβαιώθηκαν πάνω στα μοντέλα τα καταγεγραμμένα τελικά βάθη της ανασκαφής 2017. Με βάση τα αποτελέσματα, η τοποθέτηση των μοντέλων κρίνεται αρκετά ακριβής, και επομένως οποιεσδήποτε περαιτέρω μετρήσεις διεξαχθούν μέσα στο GIS μπορούν να θεωρηθούν εξίσου ακριβείς και αξιόπιστες.

Μετά την εισαγωγή των μοντέλων, εισήχθησαν στην κεντρική γεωβάση του Project μια σειρά από ξεχωριστά, πολυγωνικά Feature Classes που αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών όπως οι ανασκαφικές τομές του 2017, επιλεγμένα ευρήματα της ανασκαφής του 2017 όπως Νομίσματα, Μετάλλια, Πήλινα ή Γυάλινα αντικείμενα, και λοιπά σημεία ενδιαφέροντος. Έπειτα τα εισαχθέντα Feature Classes τοποθετήθηκαν ως πολύγωνα στον χώρο για τον οποίο προορίζονταν, και χρωματίστηκαν με ξεχωριστό χρώμα. Στη συνέχεια υπέστησαν επεξεργασία τα Attributes του κάθε πολυγωνικού Feature Class ξεχωριστά, ώστε να παρέχονται οι απαραίτητες πληροφορίες για αυτό ανάλογα με τον τύπο του:

- Στα Feature Classes που αντιπροσωπεύουν ανασκαφική τομή, παρέχονται ως πληροφορίες το όνομα της εκάστοτε τομής, το αρχικό και το τελικό της βάθος όπως μετρήθηκε στην πρώτη και την τελευταία ημέρα της ανασκαφικής περιόδου, αλλά και ένα URL που οδηγεί στο φύλλο καταγραφής όλων των μικροευρημάτων που βρέθηκαν στη συγκεκριμένη τομή κατά την ανασκαφή του 2017. Αξίζει να σημειωθεί πως το ArcScene προσφέρει μέσω της εργαλειοθήκης του και την απευθείας εισαγωγή φύλλων excel ως πίνακες δεδομένων, προοπτική η οποία αναμφισβήτητα θα διερευνηθεί περαιτέρω κατά τη μελλοντική ενασχόληση με το λογισμικό.
- Στα ευρήματα, προστίθεται η περιγραφή τους (πχ «Γυάλινη Χάντρα»), ο αύξων αριθμός που τους έχει αποδοθεί στους καταλόγους καταγραφής μικροευρημάτων («Γ17/4»), η συμβατική ομάδα κατά την ανασκαφή της οποίας αποκαλύφθηκαν («17/28: αφαίρεση συγκέντρωσης μαύρου χώματος στη ΝΑ γωνία του Νότιου Δωματίου»), το βάθος στο οποίο βρέθηκαν, οι μετρήσεις της απόστασής τους από

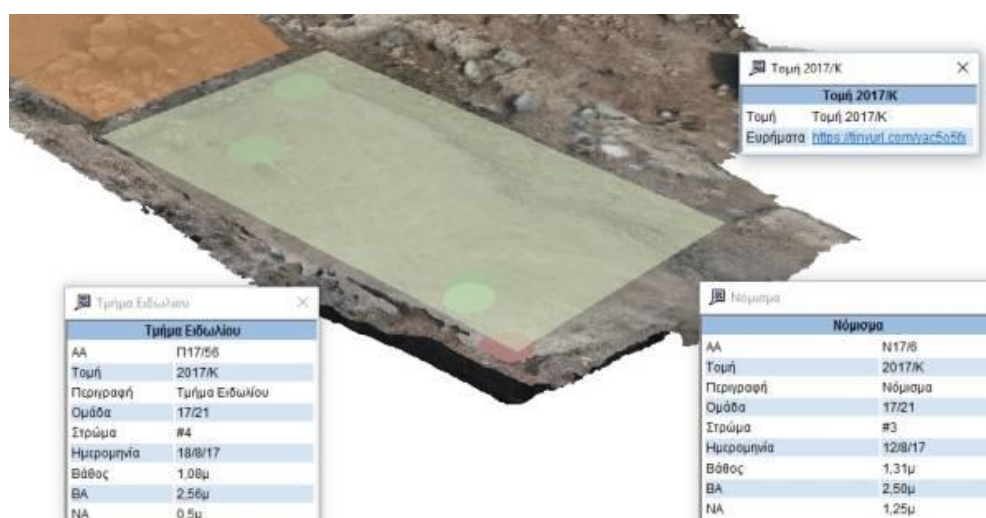
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»

τη ΒΑ και τη ΝΑ γωνία της εκάστοτε τομής, και η ημερομηνία κατά την οποία εντοπίστηκαν.

- Για τα λοιπά σημεία ενδιαφέροντος, παρατίθεται η περιγραφή τους («εμφάνιση μεγάλης συγκέντρωσης κάρβουνου ή καμένου ξύλου, ίσως από δοκάρι της οροφής της στοάς»), το ανασκαφικό στρώμα κατά το οποίο εντοπίστηκαν, και, αν κρίνεται χρήσιμο και υπάρχει η δυνατότητα, φωτογραφία του σημείου ή URL που οδηγεί σε ένα 3D μοντέλο του που έχει εξαχθεί προηγουμένως στο διαδίκτυο).

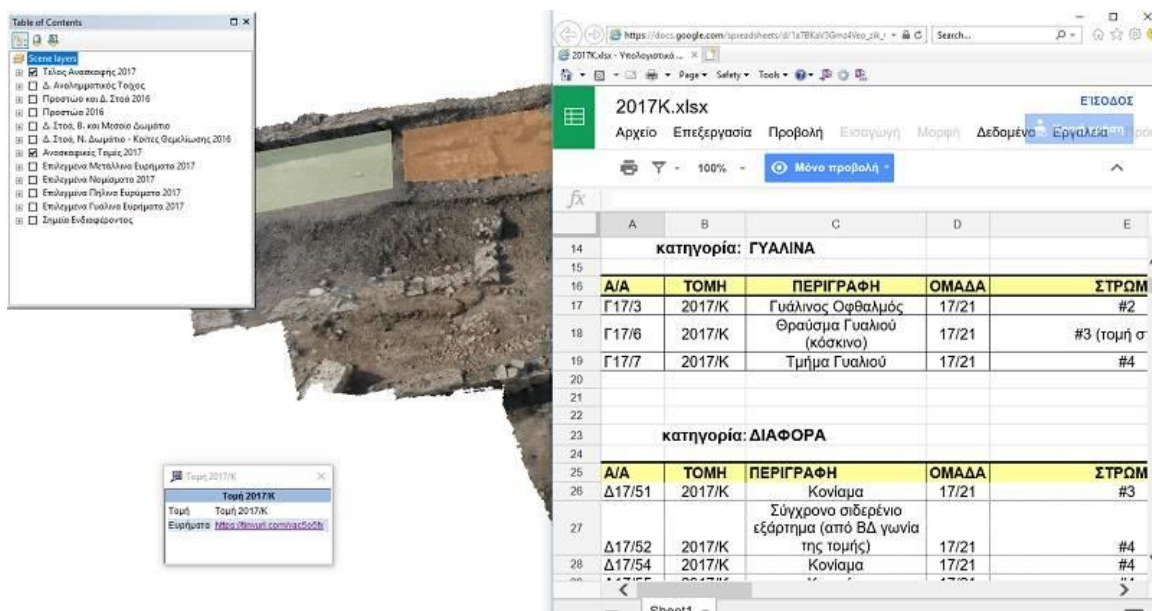


Εικόνα 30. Παράδειγμα 3D μοντέλου σημείου ενδιαφέροντος, που εξήχθη στη σελίδα Sketchfab (<https://sketchfab.com/models/635fc6c7f44c4b69b0963c8c1b1efaaf>)



Εικόνα 31. Το πολυγωνικό Feature Class της Τομής 2017/Κ, διάφορα χρωματικά Features που αντιστοιχούν σε ευρήματα, και οι πίνακες με τις πληροφορίες (Attribute Tables) τους.

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»**



**Εικόνα 32. Τμήμα του φύλλου καταγραφής μικροευρημάτων της τομής 2017/Κ.**

Συνολικά για το σκοπό της εργασίας δημιουργήθηκαν στο ArcScene 40 διαφορετικά Feature Classes. 6 εξ αυτών αντιστοιχούν στα όρια των ανασκαφικών τομών του 2017, 32 στα σημεία όπου εντοπίστηκαν ευρήματα (23 μετάλλινα αντικείμενα, 2 γυάλινα, 1 πήλινο και 6 νομίσματα) και 2 σε λοιπές περιοχές ενδιαφέροντος.

Αναλυτικότερες πληροφορίες για κάθε τομή:

**2017/Ι**





Η τομή είναι καινούργια και η έρευνα σε αυτήν ξεκίνησε από το επιφανειακό στρώμα, φτάνοντας σε βάθος μέχρι +1,00 μ. από το σημείο 0 της ανασκαφής. Πέρα από τα θραύσματα κεραμικής, οστών και λίθων (οι συντεταγμένες των οποίων ούτως ή άλλως δεν λαμβάνονται), στην τομή 2017/Ι εντοπίστηκαν και 9 μετάλλια ευρήματα, από τα οποία πάρθηκαν οι συντεταγμένες μόνο των 2 καθώς τα υπόλοιπα βρέθηκαν κατά το κοσκίνισμα του χώματος που προέκυπτε από την ανασκαφή και άρα δεν είναι γνωστή η ακριβής τους θέση.



1. Στέλεχος Σιδερένιας Στλεγγίδας (Βάθος: 1:10μ.)
2. Σιδερένιο Στέλεχος (Βάθος: 1:05μ.)

Επίσης στα αριστερά του (1) άρχισε να εμφανίζεται λίθος που πιθανότατα να ανήκει στον Ν. Αναλημματικό Τοίχο, πιστοποιώντας την περαιτέρω πορεία του προς τα νότια.

URL προς το φύλλο καταγραφής ευρημάτων: <https://tinyurl.com/y8566r4f>

2017/J



Οι εργασίες στην τομή 2017/J επικεντρώθηκαν αποκλειστικά στην αφαίρεση του μάρτυρα που είχε αφηθεί από την ανασκαφή του 2008 στη Ν παρειά της τομής. Ως προς τα ευρήματα, βρέθηκε μεταξύ άλλων μια βάση πινακίου και 4 μετάλλινα αντικείμενα, εκ των οποίων μετρήθηκαν οι συντεταγμένες των τριών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως στα πλαίσια διάνοιξης μιας αποστραγγιστικής αύλακας στο Ν όριο του οικοπέδου ακριβώς Ν της τομής 2017/J, βρέθηκε ένα χάλκινο νόμισμα που χρονολογείται στα χρόνια του Φιλίππου Β'. Πλήρης λίστα ευρημάτων: <https://tinyurl.com/ycmieace>

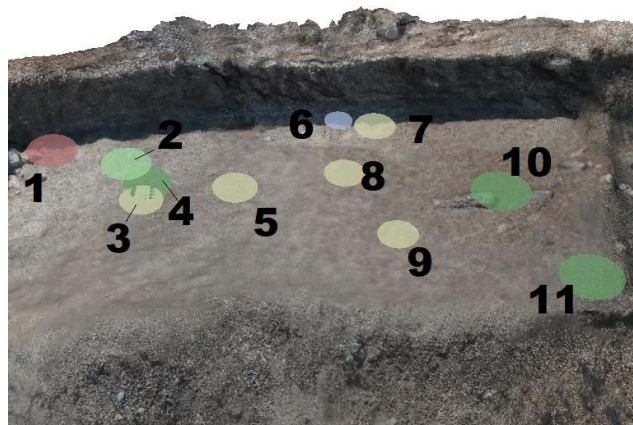


- 1) Ήλος κατόμματος.
- 2) Σιδερένιο Στέλεχος (Βάθος: 1,09μ.)
- 3) Χάλκινο Έλασμα (Βάθος: 1,12μ)

2017/Κ



Η έρευνα στο 2017/Κ ξεκίνησε επίσης από το επιφανειακό στρώμα, φτάνοντας σε βάθος μέχρι +1,00μ. Στα ευρήματα συγκαταλέγονται ένας μυκτήρας λύχνου, ένας γυάλινος οφθαλμός, 7 μετάλλια αντικείμενα και 4 νομίσματα (τα οποία, τη στιγμή της συγγραφής, δεν έχουν καθαριστεί και συντηρηθεί ακόμα ούτως ώστε να χρονολογηθούν με σαφήνεια). Πλήρης λίστα με τα ευρήματα: <https://tinyurl.com/yac5o5fx>



- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. Τμήμα Ειδωλίου (Βάθος: 1,08μ.)         | 6. Γυάλινος Οφθαλμός (1,34μ.) |
| 2. Νόμισμα (1,31μ.)                       | 7. Σκωρία (1,34μ.)            |
| 3. Τμήμα Σιδερένιου Αντικειμένου (1,55μ.) | 8. Εφηλίδα (1,07μ.)           |
| 4. Χάλκινο Νόμισμα (1,1μ.)                | 9. Εφηλίδα (1,12μ.)           |
| 5. Σιδερένιο Καρφί (1,10μ.)               | 10. Νόμισμα (1,22μ.)          |
|   | 11. Νόμισμα                   |

Προστώ Δ. Στοάς, Ν. Τμήμα



Η αφαίρεση του μάρτυρα στα ΝΔ (εικόνα 34) ξεκίνησε από βάθος 0 και τελείωσε στο -0,42. Στη ΝΑ γωνία εντοπίστηκε ένα είδος δαπέδου στα -0,45μ., και στο μέσο της τομής η έρευνα σταμάτησε στα -0,55μ. Πλήρη ευρήματα στο: <https://tinyurl.com/ybndhasy>



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Γυάλινη Χάντρα (-0,45μ.)       | 7. Σιδερένια Βελόνα (-0,48μ.)      |
| 2. Σιδερένιο Καρφί (-0,48μ.)      | 8. Σιδερένιο Καρφί (-0,60μ.)       |
| 3. Σιδερένιο Θραύσμα (-0,16μ.)    | 9. Χάλκινο Νόμισμα (-0,09μ.)       |
| 4. Μολύβδινος Σύνδεσμος (-0,07μ.) | 10. Μολυβδοχοημένο Καρφί (-0,60μ.) |
| 5. Σκωρία (-0,18μ.)               | 11. Χάλκινο Νόμισμα (-0,65μ.)      |
| 6. Σιδερένιο Αμφίκαρφο (-0,33μ.)  |                                    |

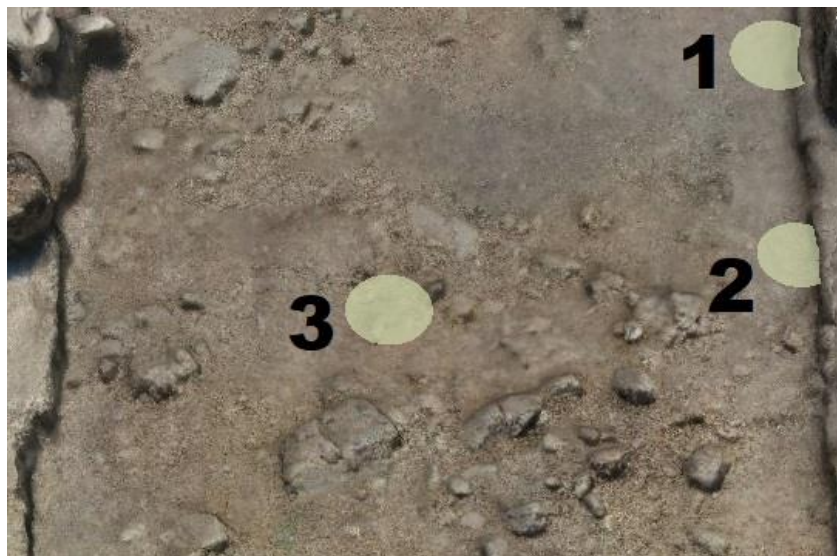


Προστώ Δ. Στοάς, Μ. Τμήμα



Η έρευνα στο μέσο της τομής τομή έφτασε σε βάθος μέχρι  $-0,50\mu.$ , στις άκρες λίγο βαθύτερα. Καθώς προχωράμε προς τη Β. πλευρά του προστώου, προοδευτικά τα μέταλλα/γυάλινα/νομίσματα λιγοστεύουν και εντοπίζονται κυρίως θραύσματα κεραμικής, κεραμίδες, λατύπες, δείγματα κάρβουνου και οστών.

Ευρήματα: <https://tinyurl.com/y96f2n97>



1. Τμήμα Μολύβδινου Συνδέσμου ( $-0,55\mu.$ )
2. Θραύσμα Σιδερένιου Στελέχους
3. Τμήμα Μολυβδοχόησης ( $-0,60\mu.$ )

Προστώο Δ. Στοάς, Β. Τμήμα



Στα Β της τομής, η κοινή θεμελίωση με το Ναό ΙΙ αποκαλύφθηκε στα -0,78μ. Η έρευνα στο χώμα αμέσως Ν των γωνιόλιθων της θεμελίωσης έφτασε μέχρι το -0,86. Πέρα από κεραμική, αποκαλύπτονται μεγάλες ποσότητες οστών, κάρβουνου και λατυπών μαρμάρου. Δεν σημειώθηκαν συντεταγμένες κάποιου ευρήματος στην τομή, αν και βρέθηκε ένα σιδερένιο στέλεχος κατά το κοσκίνισμα του χώματος. Η συνέχιση της έρευνας κατά μήκος της μεσοτοιχίας με το Ναό ΙΙ θα παρουσιάσει ενδιαφέρον στην ανασκαφική περίοδο του 2018.

Ευρήματα: <https://tinyurl.com/y9etg6xt>



### 3.4 Αποτελέσματα της διαδικασίας

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω διαδικασιών είναι η δημιουργία μιας γεωβάσης εντεταγμένης σε ένα ArcScene Project, η οποία ουσιαστικά περιέχει τα κυριότερα δεδομένα (αν όχι όλα) που προέκυψαν κατά την ανασκαφική περίοδο του 2016 και του 2017 στο χώρο:

- 3D μοντέλα των ανασκαφικών τομέων κατά την ανασκαφή του 2016, του 2017 αλλά και σε ενδιάμεσες φάσεις στη διάρκεια των δύο.
- Επιλεγμένα 3D μοντέλα από σημεία ενδιαφέροντος που στην πορεία αφαιρέθηκαν ανασκαφικά, και άρα δεν είναι πλέον φανερά στον φυσικό ανασκαφικό χώρο.
- Πληροφορίες για τα ανασκαφικά τετράγωνα.
- Πρόσβαση στα πλήρη φύλλα καταγραφών των ευρημάτων αλλά και αποτύπωση των σημείων όπου εντοπίστηκε το κάθε εύρημα, παράλληλα με παράθεση των επιμέρους στοιχείων του.

Επίσης, μέσω των εργαλείων που παρέχει το ArcScene επιτρέπεται η πραγματοποίηση πάνω στα ψηφιοποιημένα σκάμματα διαφόρων ειδών μετρήσεων όπως μέτρηση μεγεθών, αποστάσεων ή και βαθών, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για φυσική παρουσία στο χώρο της ανασκαφής.

Έπειτα, μέσω της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των 3D μοντέλων και των Feature Classes ως Layers από τα περιεχόμενα του Project, ο χρήστης μπορεί να εμφανίσει στην οθόνη του τις πληροφορίες που ταιριάζουν καλύτερα στην αναζήτηση ή την υπόθεση εργασίας του. Για παράδειγμα, να δει στην οθόνη του μόνο ευρήματα που βρέθηκαν σε ένα συγκεκριμένο ορίζοντα βάθους, να δει τα νομίσματα και τα καρφιά που βρέθηκαν στο νότιο τμήμα του προστώου το 2017 τοποθετημένα ψηφιακά πάνω στο αντίστοιχο σκάμμα του 2016 (δείχνοντας ουσιαστικά την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους ακριβώς πάνω από το κάθε εύρημα), ή την απεικόνιση αποκλειστικά του σημείου εντοπισμού ευρημάτων που χρονολογήθηκαν σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανάλογα με τις αντίστοιχες πληροφορίες που έχουν περαστεί στους πίνακές τους. Άλλη

ενδιαφέρουσα δυνατότητα που παρουσιάζεται είναι η εναλλαγή των προβαλλόμενων μοντέλων ώστε να φαίνεται σαφέστατα η ανασκαφική πρόοδος σε κάθε τομή από το 2016 μέχρι το 2017, ή η κατάσταση στα δωμάτια της δυτικής στοάς και σε άλλες τομές πριν και μετά την επιχωμάτωσή τους.



Εικόνα 33. Οι μεταβολές στο χώρο της Δυτικής Στοάς μετά τις ανασκαφές του 2016 (πάνω) και του 2017 (κάτω)





Εικόνα 34. Ο μάρτυρας και η πηλοκατασκευή στη ΝΔ γωνία του προστώου, πριν και μετά την αφαίρεσή τους.



Εικόνα 35. Το Ν. Δωμάτιο της Δ. Στοάς, πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την επιχωμάτωσή του.



Εικόνα 36. Τα σημεία εντοπισμού των κυριότερων μικροεπιρημάτων της ανασκαφής του 2017.



Εικόνα 37. 3D μοντέλα του Α. λάκκου στο Β. τμήμα του Προστώου, στην αρχή της ανασκαφής του 2016 (1), στη διάρκειά της (2), στο τέλος της (3) και στο τέλος της ανασκαφής του 2017 (4).

Οπωσδήποτε εξαιρετικές δυνατότητες παρουσιάζονται και με την προοπτική προσθήκης νέων δεδομένων ποικίλης φύσεως από μελλοντικές ανασκαφές, ή ακόμα και την εισαγωγή δεδομένων που είχαν καταγραφεί σε προηγούμενες ανασκαφικές περιόδους και που πλέον θα μπορούν να μελετηθούν υπό σαφώς πιο ξεκάθαρο context μέσω της γεωχωρικής αντιπαραβολής τους με τα ευρήματα άλλων ανασκαφικών περιόδων. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η δυνατότητα του ArcScene να εξάγει ολόκληρη τη Γεωβάση ως αρχείο Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality), παρέχοντας την προοπτική να υπάρξει κάποτε διαθέσιμη ολόκληρη η ψηφιοποιημένη ανασκαφή στο διαδίκτυο ούτως ώστε να μπορεί να περιηγηθεί ψηφιακά σε αυτήν και στα δεδομένα της ο χρήστης που διαθέτει το κατάλληλο υλικό VR.





Εικόνα 38. Από δεξιά προς αριστερά, οι τομές 2017/I, J και K στο τέλος της ανασκαφής 2017.

## 4. Σκέψεις, δυσκολίες και τελικό συμπέρασμα

### 4.1 Σκέψεις για τη μελλοντική έρευνα

Πρώτη σκέψη/συνειδητοποίηση που προκύπτει στον «απόηχο» της όλης διαδικασίας από πλευράς μελλοντικού περιεχομένου είναι ότι τα δεδομένα που έχουν οπτικοποιηθεί ως features στο ArcScene δεν περιλαμβάνουν κανένα δείγμα από την κεραμική που εντοπίστηκε και συλλέχθηκε κατά τη διάρκεια των ανασκαφών είτε του 2016 είτε του 2017, όπως το ίδιο ισχύει και για τα οστά ή τις λατύπες. Υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης στα φύλλα καταγραφής ευρημάτων της κάθε τομής, όπου μεταξύ άλλων υπάρχει και ξεχωριστό φύλλο με τις ποσότητες κεραμικής, οστών και λοιπών λίθινων ευρημάτων που συλλεγόταν καθημερινά από την κάθε τομή, όμως λόγω της φύσης των ευρημάτων δεν υπάρχει σαφής τρόπος να οπτικοποιηθεί, για παράδειγμα, η εύρεση των επιμέρους θραυσμάτων κεραμικής ως διάσπαρτα ευρήματα σε κάθε ανασκαφικό στρώμα μιας τομής. Ως ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το ευρύτερο context της ανασκαφής, ειδικά η κεραμική (και σε επόμενο στάδιο και οι υπόλοιπες κατηγορίες ευρημάτων) και η εισαγωγή της στο GIS οφείλει να απασχολήσει ένα μέρος της μελλοντικής έρευνας.



Εφόσον είναι εξασφαλισμένη η ανανέωση της γεωβάσης του GIS με δεδομένα που θα συλλέγονται κατά τις μελλοντικές ανασκαφές, έτερη σκέψη που δημιουργείται είναι το αν θα άξιζε ενδεχομένως μια πειραματική δοκιμή δημιουργίας 3D μοντέλων παρελθοντικών ανασκαφών μέσω της 3D ψηφιοποίησης φωτογραφιών που συλλέχθηκαν στα πλαίσια της ανασκαφικής τεκμηρίωσης προηγούμενων ετών. Τα μοντέλα που θα προκύψουν από αυτήν την διαδικασία θα είναι σίγουρα χαμηλότερης ποιότητας σε σχέση με τα μοντέλα που δημιουργήθηκαν μετά από τη συλλογή φωτογραφιών με αποκλειστικό σκοπό την ψηφιοποίηση, αλλά θα είχε ενδιαφέρον η ύπαρξη ενός έστω και χαμηλής ποιότητας ενδεικτικού μοντέλου από τομή παλαιότερης ανασκαφικής περιόδου, που θα μπορούσε να προστεθεί στο GIS μαζί με τα καταγεγραμμένα ευρήματά της ώστε να συμπεριληφθούν και αυτά ως οπτικοποιημένα δεδομένα στο context των μελετών που θα διεξαχθούν μελλοντικά. Αλλά ακόμα και αν το πλάνο δημιουργίας 3D μοντέλων δεν τελεσφορήσει, είναι σαφώς πιο εύκολο και πραγματοποιήσιμο το να εισαχθούν στα μοντέλα των σύγχρονων σκαμμάτων οι τοποθεσίες έστω και λίγων επιλεγμένων ευρημάτων από παλαιότερες ανασκαφές με βάση τους σωζόμενους καταλόγους καταγραφής τους.

Πάνω στο θέμα των καταλόγων καταγραφής, μετά και την προβολή των δυνατοτήτων του συστήματος που δημιουργήθηκε για τη διπλωματική εργασία, ενδεχομένως και να καταστεί δυνατόν μελλοντικά να καταγράφονται τα μικροευρήματα απευθείας μέσα στο GIS, με τις συντεταγμένες τους και την περιγραφή των στοιχείων τους, χωρίς να εισάγονται πρώτα σε ξεχωριστούς καταλόγους. Κάτι τέτοιο θα ήταν ιδανικό αν μπορούσε μάλιστα να πραγματοποιείται επιτόπου στο πεδίο της ανασκαφής, αλλά η απαραίτητη προϋπόθεση κατοχής πανίσχυρου φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή στο πεδίο καθιστά αυτό το ενδεχόμενο μάλλον απαγορευτικό για το άμεσο μέλλον. Επίσης οφείλει να μελετηθεί για το μέλλον η προοπτική εισαγωγής στο GIS 3D μοντέλων από επιλεγμένα μικροευρήματα, τα οποία θα έδιναν άλλη διάσταση στην τεκμηρίωση της ανασκαφής, κάτι το οποίο δεν κατέστη δυνατόν με βάση τα ευρήματα του 2017.

Άλλη σκέψη και πρόθεση για το άμεσο μέλλον είναι η περαιτέρω αναβάθμιση του υπολογιστή γραφείου στον οποίο στηρίχτηκε η εργασία, προκειμένου να υποστούν εκ νέου επεξεργασία οι αποθηκευμένες φωτογραφίες από τις ανασκαφικές τομές του 2016

και του 2017, να δημιουργηθούν τα 3D μοντέλα στην υψηλή ποιότητα που υπήρχε ως στόχος εξ αρχής, και στη συνέχεια τα νέα μοντέλα να αντικαταστήσουν τα ήδη υπάρχοντα που βρίσκονται στη γεωβάση (το ArcScene παρέχει τη δυνατότητα για άμεση και ομαλή αντικατάσταση ενός Texture με κάποιο άλλο, χωρίς να επηρεάζονται τα δεδομένα και τα Feature Classes). Λογικά τα μοντέλα που θα προκύψουν από τις μελλοντικές ανασκαφές θα μπορούν να δημιουργηθούν εξ αρχής στα υψηλά επίπεδα ποιότητας.

Ενδιαφέρον θα είχε, τέλος, η προοπτική μελλοντικής δοκιμής και άλλων τεχνικών 3D ψηφιοποίησης στο πεδίο πέρα από την Structure from Motion, προκειμένου η συμπληρωματική δράση 2 ή παραπάνω τεχνικών να έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση περισσότερων δεδομένων υψηλότερης ποιότητας.

## 4.2 Δυσκολίες κατά τη διαδικασία

Οι περισσότερες δυσκολίες που συναντήθηκαν καθ' όλα τα στάδια που προηγήθηκαν του τελικού προϊόντος είναι αμιγώς τεχνικής φύσεως. Παρά τις ομολογουμένως άνω του μέσου όρου προδιαγραφές του υπολογιστή γραφείου στον οποίο επιχειρήθηκε η διαδικασία, οι αρχικές επιδιώξεις ως προς το επίπεδο ποιότητας και ακρίβειας κατά τη διάρκεια του σκέλους της ψηφιοποίησης εν τέλει δεν επετεύχθησαν λόγω των υψηλών απαιτήσεων συστήματος από πλευράς του Agisoft PhotoScan. Συγκεκριμένα, όσες φορές επιχειρήθηκε Alignment ή κατασκευή Dense Cloud ή Mesh κατά τη δημιουργία των μοντέλων με τη γενική εικόνα της Δ. Στοάς και του Ν. Αναλημματικού Τοίχου με ρυθμίσεις ποιότητας και ακρίβειας άνω του Medium, έπειτα από αρκετές ώρες επεξεργασίας η διαδικασία σταματούσε απότομα προβάλλοντας το μήνυμα σφάλματος «Not Enough Memory», σφάλμα που ίσως μπορεί να ξεπεραστεί με την εγκατάσταση περισσότερης μνήμης RAM στον υπολογιστή, παράλληλα με ενδεχόμενη μείωση του αριθμού αλλά και του μεγέθους αρχείου των φωτογραφιών. Ως δυσκολία, αν και όχι ανυπερβλήτη, πρέπει να θεωρηθεί και το υπερβολικό χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για την ψηφιοποίηση των παραπάνω μοντέλων. Η σημασία αυτού του παράγοντα μετριάζεται σε περιπτώσεις όταν η επεξεργασία των 3D μοντέλων διεξάγεται αρκετούς μήνες μετά τη λήξη της ανασκαφής και άρα δεν υπάρχει κάποιο άμεσα πιεστικό χρονικό

όριο, όμως αντίθετα καθιστούν τη διαδικασία απαγορευτική όταν υπάρχει η ανάγκη να δημιουργηθεί ένα 3D μοντέλο στη διάρκεια της ανασκαφής, εκτός κι αν υπάρχει άμεσα διαθέσιμος στην ερευνητική ομάδα πανίσχυρος ηλεκτρονικός υπολογιστής γραφείου ή φορητός. Σε γενικές γραμμές το PhotoScan αποδίδει εξαιρετικά στα πλαίσια ψηφιοποίησης μικρών τομών ή αντικειμένων, όμως το εγχείρημα συστηματικής καταγραφής του συνόλου του ανασκαφικού τομέα ως ένα ενιαίο 3D μοντέλο, και μάλιστα χωρίς την κατοχή του ανάλογης ισχύος και κατάλληλων δυνατοτήτων ειδικού τεχνικού εξοπλισμού, είναι αναπόφευκτο πως θα παρουσιάσει δυσκολίες, έστω και μη-ανυπέρβλητες.

Και στο ArcScene όμως συναντήθηκαν δυσκολίες διαφόρων ειδών. Κάποιες από αυτές οφείλονται στην δαιδαλώδη διάρθρωση του ίδιου του λογισμικού, το οποίο λόγω της πληθώρας από εξειδικευμένες επιλογές που προσφέρει καταλήγει να μετατρέπει αρκετά χαοτική την περιήγηση σε αυτό από πλευράς κάποιου χρήστη που δεν έχει εξοικειωθεί ακόμα αρκετά με τις λειτουργίες του. Υπήρξαν όμως και δυσκολίες που οφείλονται καθαρά σε αναίτια αστοχία του λογισμικού. Αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της γεωβάσης και της εισαγωγής των πάσης φύσεως δεδομένων, το ArcScene έκλεινε απότομα από μόνο του χωρίς να εμφανίζει κάποιο ουσιαστικό μήνυμα σφάλματος, και η διαδικασία μπορούσε να συνεχιστεί μόνο μετά από εκ νέου επανεκκίνηση του προγράμματος. Εξίσου συχνά συναντήθηκε και το φαινόμενο να αλλοιώνονται τα Textures των εισαγμένων 3D μοντέλων μετά από τυχαίες επεξεργασίες, περιστατικά τα οποία οδηγούσαν αναγκαστικά σε επανεκκίνηση του προγράμματος προκειμένου να αναιρεθεί η αλλοίωση.

Οφείλει να σημειωθεί επίσης, περισσότερο ως «ελαφρά ενόχληση» παρά ως «δυσκολία», το γεγονός πως default browser με τον οποίο ανοίγει το ArcScene τα URL που εισάγονται σε αυτό είναι, όλως μυστηριωδώς, ο απαρχαιωμένος και εγκαταλελειμμένος μέχρι και από την ίδια του τη δημιουργό εταιρεία, Internet Explorer (όπως διακρίνεται και στην εικόνα 32), χωρίς να προσφέρεται για κάποιο λόγο η δυνατότητα να αλλάξει αυτή η επιλογή, μέχρι την έκδοση 10.5 του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας τουλάχιστον.



**Εικόνα 39. Δείγμα του τυχαίου σφάλματος των αναίτια αλλοιωμένων Textures ενός μοντέλου κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του στο ArcScene.**

Υπήρξαν βέβαια και δυσκολίες στο σκέλος συλλογής των δεδομένων κατά τη διάρκεια της ίδιας της ανασκαφής. Η ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας από το ΑΠΘ διεξάγεται υπό δύο κύριες κατευθύνσεις, την έρευνα αυτήν καθ' αυτήν αλλά και την παράλληλη εκπαίδευση των ασκούμενων φοιτητών που συμμετέχουν σε αυτήν. Έτσι η συλλογή δεδομένων για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας ήταν, πλήρως λογικά κι αναμενόμενα, ως επί το πλείστον μια παράλληλη έξτρα δραστηριότητα και όχι αναπόσπαστος προγραμματισμός της έρευνας ανά πάσα στιγμή. Ως εκ τούτου, σε συνδυασμό και με τον περιορισμένο σχετικά διαθέσιμο χρόνο αλλά και λόγω του απρόβλεπτου παράγοντα που πηγάζει από την ταυτόχρονη συνύπαρξη τόσο μεγάλου αριθμού ατόμων στο σκάμμα (πολλά εκ των οποίων συμμετέχουν για πρώτη φορά σε ανασκαφή και άρα, αναμενόμενα, δεν γνωρίζουν πώς ακριβώς να κινούνται γενικά στο σκάμμα), αναπόφευκτα δεν κατέστη πάντα εγκαίρως δυνατή η συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ανάπτυξη της γεωβάσης, κυρίως όσον αφορά το σκέλος της συλλογής φωτογραφιών για την πραγματοποίηση 3D ψηφιοποίησης κάποιου ενδιαφέροντος σημείου. Τυπικό φαινόμενο

είναι επίσης η συνειδητοποίηση πως σε κάποιες από τις φωτογραφίες που λαμβάνονται στα πλαίσια της συλλογής δεδομένων για την 3D ψηφιοποίηση καταλήγουν να εμφανίζονται μέσα στο πεδίο λήψης της φωτογραφικής μηχανής ακουσίως τοποθετημένα αντικείμενα όπως ανασκαφικά εργαλεία, κουτιά από ροφήματα ή λοιπά προσωπικά αντικείμενα, τα οποία δεν απομακρύνθηκαν έγκαιρα και αναπόφευκτα καταλήγουν να αποτυπώνονται εν μέρει και στα ίδια τα παραγόμενα 3D μοντέλα.



**Εικόνα 40. Χαμηλής ποιότητας πλαστικό ποτήρι, αποτυπωμένο σε ένα από τα μοντέλα του Προστώου.**

Τα παραπάνω όμως δεν σημαίνουν σε καμία περίπτωση πως η ανασκαφή υπήρξε αντίθετη ή εχθρική προς την προοπτική της έστω και περιστασιακής ένταξης της 3D ψηφιοποίησης στην γενικώς ακολουθούμενη μεθοδολογία. Απεναντίας, από την πρώτη στιγμή αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητες και οι προοπτικές της, και είναι σίγουρο πως τα χρήσιμα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά το πρώτο, πειραματικό στάδιο εφαρμογής της, παράλληλα με τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα οδηγήσουν προοδευτικά στην πιο συχνή και ορθά υλοποιημένη ένταξή της στην ανασκαφική μεθοδολογία.

### 4.3 Τελικό Συμπέρασμα

Παρά το γεγονός πως τα βήματα που έγιναν στο πλαίσιο της εργασίας μπορεί να φαντάζουν «νηπιακά» μπροστά στις απώτερες δυνατότητες του συστήματος, μετά την ολοκλήρωσή του και με μια πρώτη επισκόπηση της λειτουργίας του καθίσταται σαφές πως το GIS έχει τις προοπτικές να καθιερωθεί καθολικά ως ένα πανίσχυρο και αποτελεσματικό εργαλείο στην ανασκαφική τεκμηρίωση. Η διαρκής ενασχόληση με το ArcScene θα επιφέρει προοδευτικά την απαραίτητη εξοικείωση με τις δυνατότητες και τη μεθοδολογία του, ενώ ο εμπλουτισμός της γεωβάσης με κάθε είδους δυνατό επιπρόσθετο δεδομένο από την ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας, από νέα 3D μοντέλα των σκαμμάτων των μελλοντικών ανασκαφών και πληροφορίες για νέα ή και παλιά ευρήματα, μέχρι παρένθετη παράθεση τοπογραφικών χαρτών και υψομετρικών μοντέλων ολόκληρης της έκτασης της αρχαίας πόλης των Αιγών, θα βοηθήσει στο να περάσει η βάση δεδομένων από το στάδιο της απλής καταγραφής και τεκμηρίωσης στο να επηρεάζει με ποικίλους τρόπους μέχρι και την ευρύτερη λήψη αποφάσεων ως προς την πορεία των ερευνών που θα γίνουν σε μελλοντικούς αρχαιολογικούς τομείς της Βεργίνας.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ανδρόνικος, Μ. (1969), Βεργίνα Ι: Το Νεκροταφείον των Τύμβων, Βιβλιοθήκη της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας
- Ανδρόνικος, Μ. (1976), Ανασκαφή στη Μεγάλη Τούμπα της Βεργίνας, Αρχαιολογικά Ανάλεκτα Αθηνών 9
- Ανδρόνικος, Μ. (1984), Βεργίνα: οι βασιλικοί τάφοι και οι άλλες αρχαιότητες, Εκδοτική Αθηνών
- Ανδρόνικος, Μ. (1987), Βεργίνα - Ανασκαφή 1987, ΑΕΜΘ 1, σελ. 81-84
- Ανδρόνικος, Μ., Δρούγου, Σ., Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ., Φάκλαρης, Π. (1990), Ανασκαφή Βεργίνας, Εγνατία 2-1990, Χρονικά, σελ. 359 κ.ε.
- Ανδρόνικος, Μ. (1997), Το Χρονικό της Βεργίνας, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης
- Διόδωρος Σικελιώτης, Ιστορική Βιβλιοθήκη
- Δρούγου, Σ. (1989), Το αρχαίο θέατρο της Βεργίνας και ο περιβάλλον χώρος, ΑΕΜΘ 3, σελ.13-23
- Δρούγου, Σ. (1996), Βεργίνα 1990-1997. Το ιερό της Μητέρας των θεών, ΑΕΜΘ 10Α, σελ 41 κ.ε.
- Δρούγου, Σ. (2009), Βεργίνα - Η εικόνα του τέλους της πόλης των Αιγών, Εγνατία 13, σελ 121-132
- Δρούγου, Σ. & Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (2005), Βεργίνα: Ο τόπος και η ιστορία του Έργον 1985, Το Έργον της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 32 – 1985, σελ. 21 κ.ε.
- Έργον 1987, Το Έργον της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 34 – 1987, σελ. 44 κ.ε.
- Έργον 1989, Το Έργον της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 36 – 1989, σελ. 67 κ.ε.
- Ηρόδοτος, Ιστορίαι 8.137
- Κλαύδιος Πτολεμαίος, Γεωγραφική Υφήγησις, 3.13.39



- Κοτταρίδη, Α. (2013), Νέοι βασιλικοί τάφοι στις Αιγές, ΑΕΜΘ 27
- Κουσκουρίδας, Ρ., Μπελαγιάννης, Β., Χρυσοστόμου, Δ., και Γαστεράτος, Α. (2009), *Συγκριτική μελέτη αλγορίθμων εξαγωγής χαρακτηριστικών*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ρομποτικής
- Κουτσούδης, Α. & Παυλίδης, Γ. (2016), 3D Ψηφιοποίηση, εκδόσεις Τσότρας.
- Λίβιος, *Ab Urbe Condita*
- ΠΑΕ 1982, Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 137 – 1982, σελ. 52 κ.ε.
- ΠΑΕ 1985, Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 140 – 1985, σελ. 59 κ.ε.
- ΠΑΕ 1987, Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας, Τόμος 142 – 1987, σελ. 126 κ.ε.
- Παυλίδης, Γ., Σεβελίδης, Β., Χαραλαμπίδου, Μ. (2014), Τεχνική αναφορά: Βελτίωση τεχνικών ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης, 3D CMS - Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Ανάπτυξης και διαχείρισης 3D Εφαρμογών Πολιτιστικού Περιεχομένου
- Πλούταρχος, *Βίοι Παράλληλοι – Πύρρος*, 26.11
- Ρωμαίος, Κ. (1951), *Ο μακεδονικός τάφος της Βεργίνας*, Εταιρία Μακεδονικών Σπουδών, Αθήνα
- Σαατσόγλου – Παλιαδέλη, Χρ. (1987), *Ευριδικά Σίρρα Ευκλεία, Αμητός - Τιμητικός τόμος για τον καθηγητή Μανόλη Ανδρόνικο*.
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1989), *Βεργίνα 1989: Ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας*, ΑΕΜΘ 3, σελ. 25-36
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1990), *Βεργίνα 1990: Ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας*, ΑΕΜΘ 4, σελ. 21
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1991), *Βεργίνα 1991: Ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας*, ΑΕΜΘ 5, σελ. 12
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1992), *Βεργίνα 1992: Ανασκαφή στο ιερό της Εύκλειας (1982-1992) - Σύντομος απολογισμός*, ΑΕΜΘ 6, σελ. 51-58
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1996), *Το Ιερό της Εύκλειας στη Βεργίνα*, ΑΕΜΘ 10Α, σελ. 55-69
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (1999), *Βεργίνα 1998-1999: Ανασκαφή στο Ιερό της Εύκλειας και στη Θόλο του Ανακτόρου*, ΑΕΜΘ 13, σελ. 543 κ.έ.
- Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ. (2009), *Βεργίνα 1977/87-2006*, ΑΕΜΘ 20 χρόνια:

Επετειακός τόμος, σελ. 295-306

Σαατσόγλου-Παλιαδέλη, Χρ., Κυριάκου, Α., Μητσοπούλου, Ε., Τούρτας, Α. (2009), Πολύτιμα ταφικά σύνολα από την αγορά των Αιγών Ι: Η αρχαιολογική εικόνα και η ιστορική ερμηνεία της, ΑΕΜΘ 23, σελ. 117-122.

Χαμζάς, Χ., Παυλίδης, Γ., Κουτσούδης, Α., Αρναούτογλου, Φ. (2005), Digitech III, Μελέτη Τεχνολογιών Ψηφιοποίησης σε Τρεις Διαστάσεις: Εγχειρίδιο Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης Κινητών Πολιτιστικών Αντικειμένων, Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας (Ι.Π.Ε.Τ) / Κέντρο Εφαρμογών των Τεχνολογιών Επικοινωνίας και Πληροφορίας (Κ.Ε.Π.Ε.Τ)

## Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Allen, K. M., Green, W. S. & Zubrow, E. B (1990), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, Taylor & Francis, New York

Barker, P. (1993), *Techniques of Archaeological Excavation – Third Edition*, Routledge, London

Conolly, J. and Lake, M. (2006), *Geographical information systems in archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge, UK

Crain, I.K. and MacDonald, C.L. (1984), *From Land Inventory to Land Management: The Evolution of an Operational Geographic Information System*, Cartographica, Τεύχος 21, σελ. 40-60.

David, B. (2012), *Handbook of Landscape Archaeology*, World Archaeological Congress Research Handbooks in Archaeology

Dempsey, C. (2017), *What is GIS*, άρθρο στην ιστοσελίδα GIS Lounge, διαθέσιμο στη διεύθυνση <https://www.gislounge.com/what-is-gis/>

Elangovan, K. (2006), *GIS: fundamentals, applications and implementations*, New India Publishing Agency, New Delhi

ESRI (1999), *Understanding GIS: The ARC/INFO method*, Environmental System Research Institute

ESRI (2013), *A new dimension: 3D GIS Brings the Virtual World to Live*, διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.esri.com/library/ebooks/a-new-dimension.pdf>

Faklaris, P. (1994), *Aegae: Determining the Site of the First Capital of the Macedonians*,

American Journal of Archaeology 98, σελ. 609-616

Frankel, D. (1993), *The Excavator: Creator or Destroyer?*, Antiquity 67, σελ. 875–877

Gaffney, V., Van Leusen, P. (1995), *GIS, environmental determinism and archaeology*. Περιλαμβάνεται στο: G. Lock and Z. Stancic, ed., *Archaeology and Geographic Information Systems: an European perspective, 1st ed.*, Oxford

Hammond, N. (1972), *A History of Macedonia, Vol.1: Historical Geography and Prehistory*, The Clarendon Press, Oxford

Hammond, N. (1979), *A History of Macedonia, Vol. 2: 550-336 B.C.*, The Clarendon Press, Oxford

Harris, T. (1987), *Digital Terrain Modelling and three-dimensional surface graphics for landscape and site analysis in archaeology and regional planning*. Περιλαμβάνεται στο: Ruggles, C. and Rahtz, S., *Computer applications and quantitative methods in archaeology*, 1st ed. Oxford: BAR International Series, σελ.161-172.

Hammond, N. (1997), *The Location of Aegae*, The Journal of Hellenic Studies 117, σελ. 177-179

Harris, E. (1989), *Principles of Archaeological Stratigraphy*, Academic Press Limited, London.

Hatzopoulos, M. (1996), *Aigéai: la localisation de la première capital macédonienne*, Revue des Études Grecques 109, σελ 264-269

Heisserer, A. (1980), *Alexander the Great and the Greeks – The Epigraphical Evidence*, πίνακες 12 και 14

Heuzey, L. (1876), *Mission archéologique de Macédoine*, Paris.

Judge, W. J., and Sebastian, L. (1988), *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method and Application of Archaeological Predictive Modeling*, Bureau of Land Management, Department of Interior, Government Printing Office, Washington, DC

Kvamme, K. (1999), *Recent Directions and Developments in Geographical Information Systems*, Journal of Archaeological Research, Τεύχος 7, σελ. 153-201

Lock, G. (2001), *Theorising the practice or practicing the theory: archaeology and GIS*, Archaeologica Polona, Τεύχος 39, σελ. 153-164

Lock, G.R., Harris, T.M. (1992), *Visualizing spatial data: The importance of Geographic*

*Information Systems*. Περιλαμβάνεται στο: P. Reilly and S.P.Q. Rhatz, *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*, σελ. 81–96, Routledge, London

Lock, G., Harris, T. (2000), *Introduction: Return to Ravello*. Περιλαμβάνεται στο: *Beyond the Map - Archaeology and Spatial Technologies*, IOS Press, Amsterdam

Richards, J. D. (1998), *Recent trends in computer applications in archaeology*, Journal of Archaeological Research, Volume 6, Issue 4, σελ. 331–382

Robertson, D., P., & Cipolla, R. (2008), *Structure from Motion*.  
Περιέχεται στο: Varga, M. (2009), *Practical Image Processing and Computer Vision*

Saatsoglou-Paliadeli, Ch. (1996), *Aegae: A Reconsideration*, Athenische Mitteilungen 116, σελ. 225-235

Tafel, T. F. L. (1842), *De via militari romanorum Egnatia, qua Illyricum, Macedonia et Thracia iungebantur*

Waldheim, C. (2011), *The invention of GIS*, Harvard Gazette

Wheatley, D. and Gillings, M. (2002), *Spatial technology and archaeology: The archaeological application of GIS*, Taylor and Francis, New York.

Wilcken, U. (1962), *Griechische Geschichte: im Rahmen der Alterumsgeschichte*, Munchen

## Διαδικτυακές πηγές

Ερευνητικό Κέντρο Αθηνά, 3D Ψηφιοποίηση.

[http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=6&id=17&Itemid=49](http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=6&id=17&Itemid=49)

Ανασκαφή Βεργίνας.

<http://vergina.web.auth.gr/VeginaSite/html/index/index.html>

GeoNet: The ESRI Community

<https://community.esri.com/>

Agisoft Community Forum

<http://www.agisoft.com/forum/index.php>

Μουσείο Βασιλικών Τάφων των Αιγών

<https://www.aigai.gr/>