



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΜΕ ΝΕΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΝΑΟ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ
ΣΤΗ ΝΑΞΟ**



ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων Με Νέες Τεχνολογίες.
Εφαρμογή Στο Ναό Της Δήμητρα Στη Νάξο».*

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΑ

A.M. 4362016004

Επιβλέπων: Καθηγητής Ανδρέας Γεωργόπουλος (ΕΜΠ)

Συνεπιβλέπων: Καθηγητής Ιωάννης Λυριτζής (Παν/μιο Αιγαίου)

Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Γ. Παυλίδης (Ερευνητικό Κέντρο ΑΘΗΝΑ, ερευνητής με βαθμίδα Α')

Δρ. Α. Κουτσούδης (Ερευνητικό Κέντρο ΑΘΗΝΑ, ερευνητής με βαθμίδα Β')

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος "Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες" του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εμπνευστή του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος και συνεπιβλέποντα αυτής της εργασίας Ι. Λυριτζή. Το πολύ ενδιαφέρον πρόγραμμα σπουδών που παρείχε το συγκεκριμένο μεταπτυχιακό υπήρξε και ο καθοριστικός λόγος απόφασης για την επιλογή του. Ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω και στους Δρα. Γ. Παυλίδη και Δρα. Κουτσούδη, για τον ρόλο τους ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής και για τον χρόνο που αφιέρωσαν σε αυτό. Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ανδρέα Γεωργόπουλο για την πολύτιμη στήριξη καθόλη τη διάρκεια σύνθεσης της εργασίας. Ο τρόπος διδασκαλίας του στο πλαίσιο του μαθήματος, υπήρξε ο βασικός λόγος ώστε να διαλέξω το θέμα αυτό. Οι πολύτιμες συμβουλές, οι παρατηρήσεις και οι συζητήσεις μαζί του καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό και διαμόρφωσαν το αποτέλεσμα της μελέτης αυτής. Του είμαι ευγνώμων για την εμπιστοσύνη, την υπομονή, τη βοήθεια καθώς και για την πάντοτε άμεση ανταπόκρισή του. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Σέβη Ταπεινάκη Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό ΕΔΙΠ για την βοήθεια της αλλά και για την παρότρυνσή της να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα της εργασίας. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και συγκεκριμένα τη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών καθώς και το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας, στο οποίο με δέχτηκαν οι φοιτητές, επιτρέποντάς μου να δημιουργήσω το τρισδιάστατο μοντέλο του ναού. Πιο συγκεκριμένα, τη Μαργαρίτα Σκαμαντζάρη Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό, για την πολύτιμη καθοδήγησή της και για τον χρόνο που αφιέρωσε στην προσπάθειά μου με τα λογισμικά που χρησιμοποίησα και την Γεωργία Κοντογιάννη Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό, για τη στήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχαν, τόσο στο επιστημονικό κομμάτι όσο και σε ανθρώπινο επίπεδο. Επίσης θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στις φίλες μου Γεωργία Μπουντουράκη Αρχαιολόγο και Λίνα Τουρούτσικα Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό για την αρωγή και για τις πολύτιμες συμβουλές τους στην προσπάθειά μου αυτή. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους φίλους που με στήριξαν δείχνοντας κατανόηση και συμπαράσταση στις δύσκολες στιγμές. Τέλος, τίποτε από αυτά δεν θα είχε επιτευχθεί χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη της

οικογένειας μου. Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων σε ό,τι μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια και για όλες τις θυσίες που έχουν κάνει.

Χριστίνα Γιαννακούλα

Σεπτέμβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Σκοπός Εργασίας	2
1.2. Δομή Εργασίας	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ	5
2.1. Γεωμετρική Τεκμηρίωση	6
2.1.1. Μέθοδοι Αποτύπωσης Μνημείων	8
2.1.2. Τα προϊόντα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων	11
2.2. Φωτογραμμετρία	14
2.2.1. Το Παρελθόν	14
2.2.2. Το Παρόν	16
2.2.3. Βασικές τεχνικές Φωτογραμμετρίας	17
2.3. Γεωφυσική Διασκόπηση	21
2.4. Αρχαιομετρία	22
2.5. Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ Φθορισμού (X-ray fluorescence spectroscopy, XRF)	24
2.6. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών	27
2.7. Παραδείγματα και Εφαρμογές των Παραπάνω Τεχνολογιών	30
2.7.1. Παραδείγματα Γεωφυσικών Μεθόδων	30
2.7.2. Αρχαιομετρικές Εφαρμογές και Παραδείγματα	34
2.7.3. Παράδειγμα Εφαρμογής της Μεθόδου XRF	38
2.7.4. GIS στην Αρχαιολογία	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΤΟ ΙΕΡΟ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΣΤΗ ΝΑΞΟ	43
3.1. Αρχαιολογία της Νάξου	44
3.2. Το ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί	48
3.3. Η ανάδειξη του αρχαιολογικού χώρου	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΝΑΟ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ	63

4.1. Εργασίες Πεδίου	64
4.2. Επεξεργασία Μετρήσεων.....	72
4.2.1. Επεξεργασία με το λογισμικό Scene.....	72
4.2.2. Επεξεργασία εικόνων με το λογισμικό Photoscan.....	75
4.2.3. Επεξεργασία των νέφων σημείων με το λογισμικό Geomagic	80
4.3. Παραγόμενα Προϊόντα (Τρισδιάστατο Μοντέλο Και Ορθοφωτογραφίες)	84
4.4. Αξιολόγηση Διαδικασίας	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη παρουσίαση ενός μνημείου (Γεωργόπουλος 2017)	7
Εικόνα 2.2: Απλά όργανα μετρήσεων: αποστασιόμετρο λέιζερ και μεταλλικό μέτρο (ΙΠΕΤ 2005).....	8
Εικόνα 2.3: Φωτογραμμετρικά συστήματα μέτρησης συντεταγμένων (ΙΠΕΤ 2005). ...	9
Εικόνα 2.4: Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων (ΙΠΕΤ 2005).	10
Εικόνα 2.5: Διάγραμμα διαδικασιών τρισδιάστατης ψηφιοποίησης (Παυλίδης κ.ά. 2014).....	17
Εικόνα 2.6: Σχήμα από Σιλουέτα (Pavlidis κ.ά 2007)	18
Εικόνα 2.7: Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου (Παυλίδης κ.ά 2014)....	19
Εικόνα 2.8: Αποτύπωση τρισδιάστατου αντικειμένου από στερεοφωτογράφιση (Παυλίδης κ.ά 2014).	20
Εικόνα 2.9: Η αρχή λειτουργίας και η τυπική διάταξη φασματοσκοπίας XRF (Ζαχαριάς 2017β).....	25
Εικόνα 2.10: Διαδικασία λειτουργίας GIS (Καπαγερίδης 2006).....	28
Εικόνα 2.11: Οι αρχαιότητες που αποκαλύφθηκαν βάσει του αποτελέσματος της γεωφυσικής διασκόπησης σε τοποθεσία κοντά στην ακρόπολη του αρχαίου Αχινού, έχουν αποτυπωθεί σε υπέρθεση πάνω σε αυτό. Οι παρειές των σκαμμάτων που διανοιχθήκαν και οικοδομικά λείψανα που αποκαλύφθηκαν μέσα σε αυτά έχουν σχεδιαστεί με κίτρινο χρώμα (Τσόκας κ.ά. 2012).	31
Εικόνα 2.12: Το αποτέλεσμα της γεωφυσικής διασκόπησης με την ηλεκτρική μέθοδο σε τοποθεσία κοντά στην ακρόπολη του αρχαίου Αχινού (Τσόκας κ.ά. 2012).....	32
Εικόν 2.13: Κατανομή της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του μαγνητικού πεδίου σε θέση του αρχαιολογικού χώρου της Ευρωπού (Tsokas κ.ά. 1994).	33
Εικόνα 2.14: Ο κλίβανος κεραμοποιίας ο οποίος ανακαλύφθηκε μετά από ανασκαφή στο χώρο των ερειπίων της αρχαίας Ευρωπού. Η ανασκαφή κατευθύνθηκε επιλεκτικά	

στο χώρο που παρουσιάστηκε η έντονη γεωμαγνητική ανωμαλία της εικόνας 2.13 (Tsokas κ.ά. 1994).	34
Εικόνα 2.15: Η Σινδόνη του Τορίνο πριν την αποκατάσταση του 2002 (https://en.wikipedia.org/wiki/Shroud_of_Turin)	34
Εικόνα 2.16: Χρονολόγηση καταλοίπων εστίας. Μέτρηση προσανατολισμού, έγκλιση, απόκλιση μαγνητικού πεδίου (Λυριτζής 2017).....	35
Εικόνα 2.17: Βασικές αρχές χρονολόγησης της φωταύγειας (Λυριτζής 2017).....	36
Εικόνα 2.18: Η διάχυση του νερού στον οψιανό (Λυριτζής 2017)	37
Εικόνα 2.19: Φάσματα XRF που ελήφθησαν από τις χρωματικές εντυπώσεις της τοιχογραφίας. Ανάλογα με το χρώμα, παρατηρούνται διαφορετικές εντάσεις των χαρακτηριστικών κορυφών (Κούη κ.ά. 2015).....	38
Εικόνα 2.20: (α) Παράδειγμα χάρτη κατανομής των αρχαιολογικών χώρων στη περιοχή των Θεσπιών, που απαρτίζονται από 17 ιστορικούς και πιθανόν έναν (LSE7) προϊστορικό. (β) Αντίστοιχη εικόνα της πυκνότητας εύρεσης αρχαίων κεραμικών στην περιοχή (με λευκές τελείες οι αρχαιολογικοί χώροι) (Bintliff 2005).....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Εικόνα 3.1: Χάρτης της Νάξου με σημειωμένες τις θέσεις αρχαιολογικού ενδιαφέροντος (Ζαφειροπούλου 2015).....	44
Εικόνα 3.2: Η κόρη της Ναξίας Νικάνδρης, 660 π.Χ. (EAM) (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Statue_of_Nikandre.jpg)	45
Εικόνα 3.3: Ημίεργο άγαλμα Διονύσου ύψους 10,5 μ. στα λατομεία του Απόλλωνα, περ. 540 π.Χ. (Λαμπρινουδάκης 2005).....	46
Εικόνα 3.4: Τα ερείπια του ναού του Δηλίου Απόλλωνα στα Παλάτια (Λαμπρινουδάκης 2005)	47
Εικόνα 3.5: Σχέδιο κάτοψης των κατασκευών διαφόρων φάσεων στο Γύρουλα (Λαμπρινουδάκης 2001)	49
Εικόνα 3.6: Συστήματα διδύμων λάκκων που ενώνονται με αυλάκι για υγρές προσφορές σε θεότητες (Λαμπρινουδάκης 2001)	50

Εικόνα 3.7: Η κάτοψη του αρχαϊκού ναού (με διαγράμμιση), η κάτοψη της παλαιοχριστιανικής βασιλικής (με στίξη) και η κάτοψη του ναυδρίου του Αγ.Ιωάννου (λευκή) (Gruben 2001)	52
Εικόνα 3.8: Σχεδιαστική αποκατάσταση του αρχαϊκού ναού του Γύρουλα Σαγκρίου Νάξου (Gruben 2001).	53
Εικόνα 3.9: Αρχαϊκός ναός Γύρουλα. Τομή κατά πλάτος (άξονας Α.-Δ.) (Λαμπρινουδάκης 2001)	55
Εικόνα 3.10: Μικρογραφικές τροχήλατες υδρίες (ύστερος 5ος αι.- 4ος αι. π.Χ.) (Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001)	56
Εικόνα 3.11: Η κάτοψη της τρίκλιτης βασιλικής με τον νάρθηκα και το αίθριο (Κορρές 2001).....	57
Εικόνα 3.12: Άποψη του αναστηλωμένου αρχαϊκού ναού και του Αγ. Ιωάννη του Γύρουλα στη νέα του θέση (Μπιλής και Μαγνήσαλη 2001).....	60
Εικόνα 3.13: Ο αναστηλωμένος αρχαϊκός ναός από ΝΑ (Μπιλής και Μαγνήσαλη 2001).....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εικόνα 4.1: Φωτογραφική μηχανή (https://www.dpreview.com/articles/7466980622/canoneos1ds)	65
Εικόνα 4.2: Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (http://www.topcon.com.sg/survey/gpt30.html)	65
Εικόνα 4.3: Σαρωτής λέιζερ (http://sealandsurvey.co.uk/faro-x330-laser-scanner-hire/)	65
Εικόνα 4.4: Κατάφωτο και τρίποδας (https://www.landmark.com.gr/product-showcase/τρίποδες/)	65
Εικόνα 4.5: Τμήμα του βόρειου τοίχου από το εσωτερικό του ναού (Στεφάνου 2017)	66
Εικόνα 4.6: Η εξωτερική πλευρά του ανατολικού τοίχου του σηκού (Στεφάνου 2017).....	67
Εικόνα 4.7: Άποψη των δυο θυρωμάτων του ναού (Στεφάνου 2017).....	67
Εικόνα 4.8: Τμήμα του ανατολικού τοίχου του προνάου (Στεφάνου 2017)	68

Εικόνα 4.9: Η νότια πλευρά του ναού (Στεφάνου 2017).....	68
Εικόνα 4.10: Οι κίονες του προνάου (Στεφάνου 2017).....	69
Εικόνα 4.11: Η εσωτερική πλευρά του ανατολικού τοίχου του σηκού (Στεφάνου 2017).....	69
Εικόνα 4.12: Φωτοσταθερό	73
Εικόνα 4.13: Το αρχικό νέφος σημείων από τον σαρωτή	74
Εικόνα 4.14: Σκόπευση φωτοσταθερών στη φωτογραφία στο λογισμικό FaroScene	74
Εικόνα 4.15: Τοποθέτηση μάσκας στη φωτογραφία	76
Εικόνα 4.16: Σκόπευση φωτοσταθερών (markers) στο λογισμικό Photoscan της Agisoft.....	77
Εικόνα 4.17: Το αραιό νέφος σημείων (sparse cloud).....	78
Εικόνα 4.18: Οι θέσεις λήψης της φωτογραφικής μηχανής	78
Εικόνα 4.19: Συντεταγμένες φωτοσταθερών σημείων με τα σφάλματά τους.....	79
Εικόνα 4.20: Το αποτέλεσμα δημιουργίας του πυκνού νέφους σημείων (dense cloud)	80
Εικόνα 4.21: Άλλο στιγμιότυπο από το πυκνό νέφος σημείων	80
Εικόνα 4.22: Το πυκνό νέφος σημείων όπως απεικονίζεται στο λογισμικό του Geomagic, πριν την επεξεργασία και την αφαίρεση θορύβου.....	81
Εικόνα 4.23:Στιγμιότυπο από την τελική τρισδιάστατη επιφάνεια (mesh) στο Geomagic μετά την απαραίτητη επεξεργασία	83
Εικόνα 4.24: Το τελικό μοντέλο από το λογισμικό του Geomagic	84
Εικόνα 4.25: Μοντέλο με φωτοσκίαση (shaded model).....	85
Εικόνα 4.26: Τρισδιάστατο πλέγμα τριγώνων (wireframe model).....	85
Εικόνα 4.27: Το τρισδιάστατο μοντέλο με υφή (texture)	86
Εικόνα 4.28: Ορθοφωτογραφία της κάτοψης του ναού.....	87
Εικόνα 4.29:Ορθοφωτογραφία του ανατολικού τμήματος του ναού με την αψίδα	87
Εικόνα 4.30: Ορθοφωτογραφία του ανατολικού τμήματος του ναού χωρίς την αψίδα	88
Εικόνα 4.31: Ορθοφωτογραφία του νότιου τμήματος του ναού	88

Εικόνα 4.32: Έλλειψη πληροφορίας σε κάποια μέρη του ναού στο επίπεδο κυρίως της κάτοψης.....89

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην ανάλυση της διαδικασίας της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων με την χρήση νέων τεχνολογιών και συγκεκριμένα στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου για τον Ναό της Δήμητρας στη Νάξο. Στη θέση Γύρουλας, σε ένα ύψωμα στο μέσον περίπου του νησιού, κοντά στο χωριό Σαγκρί, εντόπισε το 1949 ο αρχαιολόγος Νικόλαος Κοντολέων τα κατάλοιπα ενός αρχαίου ιερού. Κατά τις ανασκαφικές έρευνες που διεξήχθησαν ήρθαν στο φως πλείστα ευρήματα που καταδεικνύουν μια λατρευτική χρήση του χώρου ήδη από τις αρχές του 8^{ου} αι. π.Χ. Κεντρική θέση κατέχει ο ναός της Δήμητρας, ένα οικοδόμημα κατασκευασμένο εξολοκλήρου από μάρμαρο, που χρονολογείται στον 6^ο αι. π.Χ. Πρόκειται για ένα μνημείο ιδιάζουσας σημασίας καθώς παρουσιάζει δομές που αναγνωρίζονται ως πρόδρομοι της κλασικής αττικής αρχιτεκτονικής. Επίσης, διατηρεί μια καλά σωζόμενη φάση από την περίοδο της χριστιανικής λατρείας, κατά τον 6^ο αι. μ.Χ., όταν μετετράπη σε βασιλική. Δεδομένου ότι το αρχαίο υλικό σώζεται σε ποσοστό περίπου 65%, αποφασίστηκε η αναστήλωσή του με πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Αθηνών (1994). Η αναστηλωτική πρόταση απέβλεψε στην ανάδειξη των πιο χαρακτηριστικών στοιχείων κάθε ιστορικής φάσης του μνημείου, ώστε αυτό να καταστεί σαφές και κατανοητό προς το ευρύτερο κοινό. Μετά την παρουσίαση της ιστορίας του ιερού, προσεγγίζεται και αναλύεται η έννοια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, οι μέθοδοι αποτύπωσης μνημείων και τα προϊόντα που παράγει. Παρουσιάζεται αναλυτικά η χρήση και η χρησιμότητα των νέων τεχνολογιών που έχουν τεθεί στη διάθεση της αρχαιολογίας. Η φωτογραμμετρία, οι διασκοπήσεις, οι αρχαιομετρικές μέθοδοι, τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν αλλάξει τον τρόπο διεξαγωγής της αρχαιολογικής έρευνας, τόσο στο πεδίο όσο και στο εργαστήριο. Τέλος, το πρακτικό μέρος της διπλωματικής στοχεύει στην τρισδιάστατη απεικόνιση του ναού. Αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και αναλύονται τα βήματα για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου καθώς επίσης και η παραγωγή ορθοφωτογραφιών, με βάση φωτογραμμετρικά δεδομένα που τέθηκαν προς επεξεργασία μέσω της χρήσης λογισμικών μοντελοποίησης.

Abstract

The present study analyzes processes for the geometric documentation of monuments using new technologies, specifically the creation of a 3D model for the Temple of Demeter in Naxos. In Gyroulas, a small hill in roughly the center of the island, near the village of Sangri, archaeologist Nikolaos Kontoleon spotted in 1949 the remains of a small sanctuary. During the excavations that followed, numerous finds came to light, which demonstrate the use of the cult site from the beginning of the 8th c. BC. The most important find was the temple of Demeter, a building constructed exclusively from marble, which dates back in the 6th c. BC. It is a monument of exceptional importance, comprising structures that are precursors of classical Attic architecture. Moreover, the temple's afterlife during the Christian period (6th c. AD), when it was converted to a basilica, is also well preserved. Considering that about 65% of the ancient material survives, its restoration was initiated through the efforts of the University of Athens in 1994. The restoration proposal aimed to highlight the most characteristic elements of every historical phase of the monument so that it could be intelligible to the general public. After the presentation of the monument's history, the issue of geometrical documentation is treated, along with its methods of capturing monuments and the results it can deliver. The use and usefulness of new technologies, placed at the disposal of archaeology and cultural heritage, are presented. Photogrammetry, surveying, archaeometric methods and geographical information systems have changed the way archaeological research is being conducted, both in the field and the laboratory. Finally, the practical part of the study aims at the temple's three-dimensional representation. An outline of the methodology follows, in addition to analysis of the stages for the creation of the 3D model, as well as the development of orthophotographs, based on photogrammetric data processed with the use of modeling software.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός Εργασίας

Το ενδιαφέρον για το παρελθόν αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των περισσότερων ανθρώπινων κοινωνιών. Διαχρονικά, οι κοινότητες των ανθρώπων κατέβαλαν προσπάθειες για να καλύψουν την ανάγκη τους για σαφή και έγκυρη γνώση της ιστορίας τους. Ιστοριοδιφικές και αρχαιοδιφικές έρευνες πραγματοποιούνται κυρίως μετά την Αναγέννηση του 15^{ου} αι., όταν η περιέργεια για το παρελθόν συνδυάζεται με τη συστηματική έρευνα και τον κριτικό έλεγχο των πηγών. Από τον 18^ο αι. και μετά αρχίζει να καλλιεργείται η πεποίθηση ότι ο ανθρώπινος πολιτισμός είναι αποτέλεσμα διαρκούς εξέλιξης, δημιουργώντας παράλληλα και την ανάγκη για επιστημονική εξακρίβωση της εξέλιξης αυτής. Η δημιουργία των εθνικών κρατών στην Ευρώπη κατά τον 19^ο αι. έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της αρχαιολογίας ως επιστήμης που μελετά τα υλικά κατάλοιπα του παρελθόντος ενός έθνους ώστε να πιστοποιήσει την ιστορικότητα και να προβάλλει την πολιτισμική του μοναδικότητα. Η ανάδυση, επομένως, της αρχαιολογίας ως επιστήμης βασίζεται στην εξεύρεση και προβολή των απτών μαρτυριών του ιστορικού παρελθόντος.¹

Η αρχαιολογία ανήκει στον κλάδο των ανθρωπιστικών επιστημών. Με την πάροδο όμως του χρόνου η έννοια της αρχαιολογίας διευρύνεται. Το θεωρητικό της υπόβαθρο επηρεάζεται τόσο από τη μεθοδολογία όσο και από τη θεωρία των θετικών επιστημών, των οποίων η συμβολή κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να εμπλουτιστούν και να επικυρωθούν τα αρχαιολογικά συμπεράσματα. Ο αρχαιολόγος στη προσπάθειά του να μελετήσει και να αναπλάσει την εικόνα του αρχαίου κόσμου καταφεύγει στη συνεργασία άλλων ειδικοτήτων αλλά πλέον, έχει στα χέρια του ερμηνευτικά εργαλεία και δυνατότητες που διευκολύνουν κατά πολύ το έργο του. Η ανάπτυξη και η εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν δώσει μία νέα διάσταση τόσο στην αρχαιολογική έρευνα όσο και στον τρόπο διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Η πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί τον φορέα διασφάλισης της ιστορικής μνήμης του εθνικού και παγκόσμιου πολιτισμού και περιλαμβάνει τα μνημεία αλλά και κάθε είδους τεκμήριο πολιτισμού. Με την πάροδο του χρόνου, και ειδικά μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, τα κράτη ευαισθητοποιήθηκαν στο να δημιουργήσουν θεσμούς και οργανισμούς που επιφορτίστηκαν το καθήκον της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς γίνεται πλέον ζήτημα

¹ Πλάντζος 2011

μείζονος σημασίας. Με διεθνείς συμβάσεις και διεθνείς οργανισμούς (κυβερνητικούς και μη), που δραστηριοποιούνται στο να διαμορφωθεί ένα πολυδιάστατο νομικό πλαίσιο, επιτυγχάνεται η εφαρμογή της αποτελεσματικής προστασίας αρχαιοτήτων και άλλων αγαθών. Επιπλέον, στις περισσότερες συμβάσεις σημειώνεται ρητά η ανάγκη γεωμετρικής αποτύπωσης και τεκμηρίωσης των μνημείων με σκοπό την αποτελεσματικότερη και ευκολότερη μελέτη, προστασία και συντήρησή τους. Η τεκμηρίωση της πολιτιστικής κληρονομιάς επιβάλλει την καταγραφή της κατάστασης ενός μνημείου σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με σχετική έμφαση στη μετρητική διάσταση και ακρίβεια.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αναλύεται η διαδικασία γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων και η ένταξη των νέων τεχνολογιών στην αρχαιολογική έρευνα. Σκοπός της εργασίας είναι η καταγραφή και γεωμετρική τεκμηρίωση του ναού της Δήμητρας στη Νάξο, μέσα από τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με υφή καθώς και η παραγωγή τεσσάρων ορθοφωτογραφιών: της κάτοψης του ναού, του ανατολικού τμήματος του ναού με την αψίδα, του ανατολικού τμήματος του ναού χωρίς την αψίδα και του νότιου τμήματος του ναού.

Μετά το αρχικό στάδιο, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων, ξεκίνησε η διαδικασία επεξεργασίας αυτών για τη δημιουργία τρισδιάστατης απεικόνισής του υπό μελέτη ναού μέσω της χρήσης των λογισμικών Faro Scene, Geomagic και Photoscan. Ουσιαστικό στόχο αποτελεί η περαιτέρω κατανόηση και μελέτη της αρχιτεκτονικής του συγκεκριμένου ναού με τη χρήση των νέων αυτών τεχνολογικών μεθόδων αλλά και η ανάδειξη της προσφοράς και της χρησιμότητας των νέων τεχνολογιών στην αρχαιολογική έρευνα εν γένει.

1.2. Δομή Εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια, των οποίων η δομή αναλύεται παρακάτω.

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, το οποίο είναι εισαγωγικό, παρουσιάζεται ο σκοπός και η δομή της εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** εκτίθεται με σαφήνεια ο ορισμός της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μιας κατασκευής και κατ'επέκταση των μνημειακών συνόλων, καθώς και οι μέθοδοι καταγραφής και τα προϊόντα αποτύπωσης των μνημείων. Επιπλέον, γίνεται εκτενής αναφορά στη συμβολή των νέων τεχνολογιών στην αρχαιολογική έρευνα. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ιστορική αναδρομή της φωτογραμμετρίας και αναφορά στις βασικές τεχνικές της. Επίσης, γίνεται αναφορά στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, που έχουν αλλάξει τον τρόπο ερμηνείας των αρχαιολογικών θέσεων και ευρημάτων, στη χρησιμότητα των διασκοπήσεων για τον εντοπισμό θέσεων και καταλοίπων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, καθώς επίσης και στις νέες και πιο αναλυτικές μεθόδους χρονολόγησης. Το κεφάλαιο κλείνει με παραδείγματα των παραπάνω τεχνολογιών.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται μια συνοπτική αλλά πλήρης περιγραφή σχετικά με τη γεωμορφολογία της Νάξου, το ιστορικό πλαίσιο ξεκινώντας από τη Νεολιθική εποχή, καθώς επίσης και τη μνημειακή τέχνη που αναπτύχθηκε στο νησί. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ιστορία του ιερού της Δήμητρας, όπου με βάση τα ευρήματα που ήρθαν στο φως, παρατηρείται μια λατρευτική χρήση του χώρου ήδη από τις αρχές του 8^{ου} αι. π.Χ. Γίνεται περιγραφή της αρχιτεκτονικής δομής με αναφορά στις τεχνικές ανοικοδόμησης, τα αρχιτεκτονικά μέλη του ναού, τον ρυθμό, τα υλικά κατασκευής και τις οικοδομικές φάσεις. Τέλος αναλύεται η αναστήλωση του ναού και η ανάδειξη του αρχαιολογικού χώρου.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναλύεται το πρακτικό κομμάτι της εργασίας. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία συλλογής δεδομένων και ο τρόπος επεξεργασίας τους μέσω των λογισμικών. Περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού και της παραγωγής ορθοφωτογραφιών. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου γίνεται μία κριτική αξιολόγηση της όλης διαδικασίας.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση σχετικά με τα συμπερασματικά σχόλια που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ

2.1. Γεωμετρική Τεκμηρίωση

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία της μελέτης και αποκατάστασης ενός μνημείου ή αρχαιολογικού χώρου είναι η ακριβής γεωμετρική τεκμηρίωσή του². Η συνολική όμως τεκμηρίωση ενός μνημείου ώστε να είναι πλήρης, περιλαμβάνει παράλληλα και την αρχαιολογική, ιστορική, βιβλιογραφική, νομική, αρχιτεκτονική και άλλων ειδών έρευνα, καλύπτοντας ολόκληρη τη διάσταση του μνημείου από διάφορες πλευρές³. Τα μνημεία είναι απαραίτητο να αποτυπώνονται, αφού με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζονται η καταγραφή των στοιχείων της πολιτιστικής κληρονομιάς και ειδικά των μνημείων εκείνων που διατρέχουν έντονα τον κίνδυνο φθοράς μέσα στο χρόνο, των μεταβολών που μπορεί να συμβαίνουν λόγω των φυσικών συνθηκών αλλά και της ανθρώπινης παρέμβασης. Ιδιαίτερη αναφορά σχετικά με το θέμα αυτό γίνεται και σε δυο άρθρα της Χάρτας της Βενετίας (1964). Στο άρθρο 2 διακηρύσσεται πως «η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο, ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς». Στο άρθρο 16 επισημαίνεται πως «οι εργασίες συντήρησης, αποκατάστασης και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες». Βασισόμενη σε αυτήν την κατεύθυνση ιδρύθηκε το 1968, η Διεθνής Επιτροπή για την Αρχιτεκτονική Φωτογραμμετρία (CIPA – The International Committee for Architectural Photogrammetry) σε συνεργασία της Διεθνούς Ένωσης Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS), και του ICOMOS (International Council on Monuments and Sites). Ο σκοπός ίδρυσής της ήταν η μετάδοση της τεχνογνωσίας και των νέων τεχνολογιών σε επιστημονικούς κλάδους, οι οποίοι εστιάζουν περισσότερο στη θεωρητική προσέγγιση, στη συντήρηση και μελέτη των μνημείων και αρχαιολογικών χώρων με στόχο τη διεπιστημονική συνεργασία αυτών για την προστασία και αποκατάσταση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Η επιτροπή ασχολείται με δραστηριότητες που υλοποιούνται από ομάδες εργασίας και καθηκόντων και αναφέρονται στην καταγραφή, τεκμηρίωση και διαχείριση πληροφοριών πολιτιστικής κληρονομιάς, κάνοντας χρήση μετρητικών και άλλων μεθόδων όπως είναι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, η Χρήση

² <http://www.ysma.gr/γεωμετρική-τεκμηρίωση>

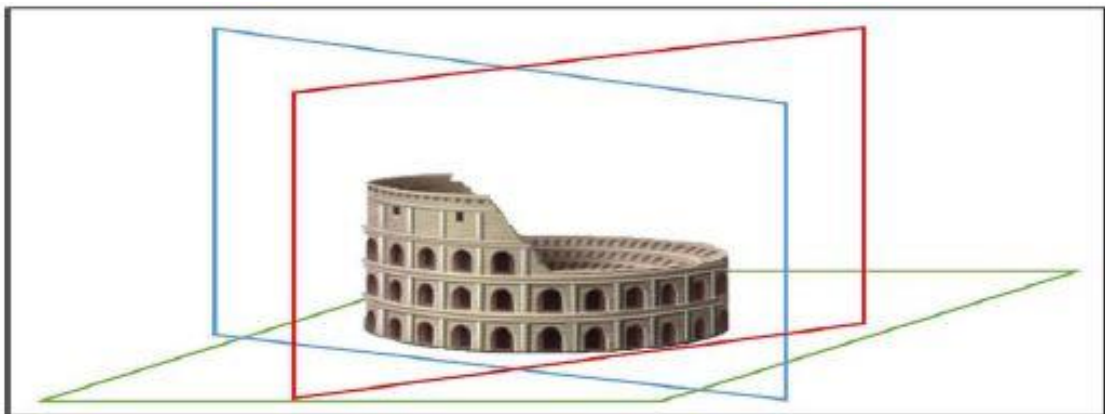
³ Γεωργόπουλος 2013, Διαφάνεια 22

Πολυμέσων, η Εικονική Πραγματικότητα, η Τοπογραφία, η Υποβρύχια καταγραφή, η Φωτογραμμετρία κ.ά⁴.

Με τον όρο αποτύπωση νοείται η λεπτομερής σχεδιαστική παρουσίαση των μνημείων ώστε να αποδίδεται με πληρότητα και ακρίβεια η μορφή τους. Τεκμηρίωση είναι η αρχειοθέτηση και η πλήρης καταγραφή όλων των πληροφοριών που έχουν σχέση με τη γεωμετρική πληροφορία, τα ιστορικά στοιχεία και την παθολογία του μνημείου. Επομένως, η τεκμηρίωση μιας κατασκευής εμπεριέχει την έννοια της αποτύπωσης καθώς περιλαμβάνει τα δεδομένα που απαιτούνται για αυτή αλλά και τον προσδιορισμό της θέσης, του σχήματος και του μεγέθους της κάθε κατασκευής, τη δεδομένη χρονική στιγμή. Συνεπώς:

Η γεωμετρική τεκμηρίωση των μνημείων είναι η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή⁵.

Στόχος της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης των μνημείων και η παραγωγή σχεδίων και άλλων προϊόντων που θα αποτελέσουν αξιόπιστο υπόβαθρο για τους μελετητές της πολιτιστικής κληρονομιάς⁶.



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη παρουσίαση ενός μνημείου

⁴ Παυλίδης κ.ά. 2014, 12

⁵ Γεωργόπουλος 2008

⁶ Τοκμακίδης 2014

2.1.1. Μέθοδοι Αποτύπωσης Μνημείων

Η αποτύπωση ενός μνημείου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μετρητικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται από επιστήμονες όπως Αρχαιολόγους, Μηχανικούς, Συντηρητές και Σχεδιαστές. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι η τοπομετρική (ή εμπειρική), η τοπογραφική, η φωτογραμμετρική και αυτή με τη χρήση σαρωτή Laser⁷.

- **Τοπομετρική ή εμπειρική μέθοδος.** Είναι μία μέθοδος αποτύπωσης περιορισμένης μετρητικής ακρίβειας με τη χρήση απλών οργάνων όπως μετροταινίες, αλφαδολάστιχα, μεταλλικό μέτρο κ.λ.π. (εικ. 2.2). Με αυτή τη



Εικόνα 2.2: Απλά όργανα μετρήσεων: αποστασιόμετρο λέιζερ και μεταλλικό μέτρο.

μέθοδο λαμβάνονται χαρακτηριστικά σημεία στην επιφάνεια του μνημείου. Ο καθορισμός των συντεταγμένων γίνεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων σε μία επίπεδη

επιφάνεια του μνημείου. Η μέθοδος είναι απλή, παραγωγική, φορητή και χαμηλού κόστους. Από την άλλη πλευρά, είναι χαμηλής ακρίβειας και απαιτητική όσον αφορά τον χρόνο φυσικής παρουσίας κοντά στο μνημείο. Μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία όταν ένα μνημείο έχει απλή μορφή ή δεν υπάρχει ανάγκη για την καταγραφή τομής ή τμήματος του εσωτερικού⁸.

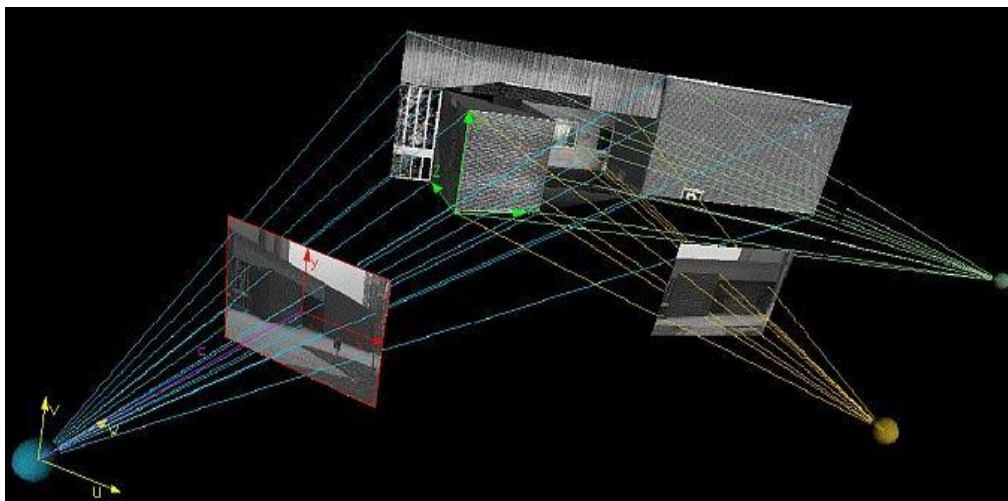
- **Τοπογραφική Μέθοδος.** Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζεται ένα τρισδιάστατο ορθογωνικό σύστημα συντεταγμένων με τη χρήση πολύπλοκων μετρητικών συσκευών υψηλής ακρίβειας. Κυρίως χρησιμοποιείται ο Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station), ένα όργανο για τη μέτρηση γωνιών και αποστάσεων χαρακτηριστικών σημείων στην επιφάνεια του μνημείου, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε συντεταγμένες σε σχέση με το αρχικό ορθογωνικό σύστημα συντεταγμένων. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η υψηλή της ακρίβεια και η αντικειμενικότητα των μετρήσεων. Είναι αξιόπιστη και τα αποτελέσματά της είναι εύκολα επεξεργάσιμα. Ένα μειονέκτημα είναι η ανάγκη για μακρά φυσική παρουσία κοντά στο μνημείο,

⁷ Τσιούκας 2009

⁸ Livieratos 1992

αλλά είναι μία από τις λίγες μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δύσκολες συνθήκες, όπως ένα περίπλοκο σχήμα και μία δύσκολη πρόσβαση. Θεωρείται ιδανική για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας μοντέλων κλίμακας 1:100 ή και καλύτερων⁹.

- **Φωτογραμμετρική Μέθοδος.** Κάτω από κατάλληλες συνθήκες, κοινές ψηφιακές φωτογραφίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις με ακρίβεια εφάμιλλη αυτής των τοπογραφικών μεθόδων. Με την εφαρμογή διαδικασιών προσανατολισμού και μετατροπών ψηφιακής φωτογραμμετρίας είναι δυνατόν να εξαχθούν δισδιάστατες ή τρισδιάστατες συντεταγμένες από μία, δύο ή και περισσότερες φωτογραφίες (εικ. 2.3). Η μέθοδος είναι αντικειμενική και αξιόπιστη και μπορεί να υποστηριχθεί από λογισμικό CAD. Είναι σχετικά απλή και έχει χαμηλό κόστος. Από την άλλη, πρέπει να συνδυαστεί με τοπογραφικές ή τοπομετρικές μετρήσεις και το τελικό αποτέλεσμα είναι συνάρτηση του χρόνου που έχει δαπανηθεί. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύνθετα αντικείμενα με υψηλό βαθμό επιφανειακής λεπτομέρειας, αλλά καθώς βασίζεται σε φωτογραφίες είναι αναγκαίος ο επαρκής χώρος για τη λήψη τους. Επίσης, είναι χρήσιμη όταν δεν είναι δυνατή η άμεση πρόσβαση στο μνημείο. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή φάσεων ενός μνημείου στον χρόνο. Όταν συνδυάζεται με ακριβείς μετρήσεις μπορεί να παράγει μοντέλα υψηλής ακρίβειας σε κλίμακα 1:100 ή και μεγαλύτερη¹⁰.



Εικόνα 2.3: Φωτογραμμετρικά συστήματα μέτρησης συντεταγμένων.

⁹ Livieratos 1992

¹⁰ Livieratos 1992· Hanke & Grusenmeyer 2002· Tsioukas & Patias 2002

- **Μέθοδος με τη χρήση τρισδιάστατου σαρωτή Laser (3D laser scanner).** Οι σαρωτές laser μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξελιγμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί και κατ'επέκταση να χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση τοπογραφικών δεδομένων. Μπορούν να μετρήσουν την κατεύθυνση μιας οπτικής γραμμής που συνδέει τα χαρακτηριστικά σημεία στην επιφάνεια του μνημείου σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς στο μετρητικό όργανο. Επιπρόσθετα, οι σαρωτές μπορούν να υπολογίσουν την απόστασή τους από αυτά τα σημεία και εφαρμόζοντας τη μέθοδο του τριγωνισμού παράγουν αυτόματα καρτεσιανές συντεταγμένες (εικ. 2.4). Βασικό πλεονέκτημα είναι η υψηλή ακρίβεια και παραγωγικότητα, καθώς και ο μεγάλος όγκος των μετρητικών δεδομένων. Η μέθοδος είναι αξιόπιστη και αντικειμενική. Ωστόσο, έχει υψηλό κόστος και παρουσιάζει δυσκολίες στη μεταφορά και την αυτονομία. Μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε κάθε ψηφιοποίηση μνημείου, με κάποια μειονεκτήματα¹¹.



Εικόνα 2.4: Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων.

Για το αν θα επιλεγθεί ή θα απορριφθεί μία μέθοδος σημαντικό κριτήριο αποτελούν τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα που έχει. Η επιλογή της είναι ιδιαίτερα σημαντική και γίνεται αφού σταθμιστούν οι ανάγκες που έχει όποιος τη χρησιμοποιήσει σε συνδυασμό με την ακρίβεια του φυσικού ορισμού των σημείων, με βάση τα οποία καθορίζονται οι λεπτομέρειες που είναι προς αποτύπωση, ενώ σημαντικός είναι και ο παράγοντας της οικονομικής εκτίμησης για τις εργασίες. Το έργο της αποτύπωσης μπορεί να δυσχεραίνεται ή να διευκολύνεται από τις μεθόδους αποτύπωσης σύμφωνα με τη φύση του αντικειμένου και το μέγεθός του. Επιπρόσθετα, πέρα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, για να επιλεγθεί η

¹¹ Boehler & Marbs 2002

κατάλληλη μέθοδος ή συνδυασμός μεθόδων, πρέπει να συνεκτιμώνται η κλίμακα αποτύπωσης, που έχει σχέση με το μέγεθος του αντικειμένου αλλά και το σύνολο των μετρήσεων που απαιτούνται, που έχει σχέση με την πολυπλοκότητα του αντικειμένου¹².

Οι εμπειρικές μέθοδοι είναι δυνατόν να δώσουν διαστάσεις και θέσεις αντικειμένων μεγέθους μερικών μέτρων, για πιο μεγάλα αντικείμενα όμως, που απαιτούνται πολλές μετρήσεις, η διαδικασία καθίσταται χρονοβόρα και επισφαλής. Για την παροχή μεγάλου αριθμού μετρήσεων μεγάλων αντικειμένων και για σχήματα που είναι αρκετά πολύπλοκα θα χρησιμοποιηθούν η επίγεια φωτογραμμετρία και οι επίγειοι σαρωτές Laser, καθώς υπάρχει η δυνατότητα να αναπτυχθούν και από αέρος για να αποτυπώσουν ακόμα μεγαλύτερες περιοχές. Για τέτοια μεγέθη περιοχών θα μπορούσε να γίνει χρήση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite System). Όμως, για να αποτυπωθούν τα μνημεία δεν συνιστάται η αποτύπωση με GNSS καθώς τα μεγέθη δεν είναι αρκετά μεγάλα και οι απαιτήσεις των μετρήσεων είναι πιο πολλές. Έτσι λοιπόν, η χρήση των GNSS δεν γίνεται αυτόνομα αλλά επικουρικά για να συντελέσει στον τρόπο ελέγχου της εναέριας φωτογραμμετρίας. Όσον αφορά στον έλεγχο των σαρωτών Laser γίνεται με τοπογραφικά όργανα επίγεια, όπως ο γεωδαιτικός σταθμός (Total Station). Η σάρωση με Laser, συντελεί στο να αποτυπωθεί μεγάλος όγκος τρισδιάστατης πληροφορίας¹³.

2.1.2. Τα προϊόντα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων¹⁴

Τα προϊόντα των αποτυπώσεων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις ανάγκες του χρήστη και τον σκοπό για τον οποίο θα τα χρησιμοποιήσει. Μπορεί να είναι απλά όσο μία αρχική εικόνα ή ένα σύνολο τρισδιάστατων συντεταγμένων, είτε πολύπλοκα όσο ένα σύστημα πληροφοριών χώρου ή ένα σύστημα πολυμέσων. Μέχρι την ανάπτυξη της Φωτογραμμετρίας και τη συστηματική ένταξη και ενασχόληση των φωτογραμμετρών με τις αποτυπώσεις μνημείων και αρχαιολογικών χώρων, τα προϊόντα περιορίζονταν μόνο σε γραμμικά σχέδια, όπως κατόψεις, όψεις, τομές κ.τ.λ. Η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας εισάγει όμως τις μετρήσιμες φωτογραφίες και όλα τα παράγωγά τους, όπως

¹² Πατιάς 2008, 75

¹³ Mills & Andrews 2011

¹⁴ Πατιάς 2008, 73-75

ορθοφωτογραφίες, φωτομωσαϊκά, κ.ά. Η σύγχρονη τεχνολογία εξέλιξε ακόμη περισσότερο τα παράγωγα προϊόντα της Φωτογραμμετρίας με αποτέλεσμα να βρουν εφαρμογή σε πιο σύνθετα και πολύπλοκα μέσα απεικόνισης, όπως είναι για παράδειγμα τα πολυμέσα, τα τρισδιάστα μοντέλα, τα συστήματα πληροφοριών χώρου, τα 3D animation videos, τα εκπαιδευτικά serious games και οι εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα διαφορετικής μορφής της αποτύπωσης είναι τα εξής:

- **Φωτογραμμετρικές εικόνες.** Αποτελούν τα πρώτα και πιο απλά προϊόντα, τα οποία όμως παρέχουν πλήθος μετρητικών και ποιοτικών πληροφοριών. Μπορούν να είναι αναλογικές ή ψηφιακές και είναι χρήσιμες για τη δημιουργία ανηγμένων εικόνων, ορθοφωτογραφίας, μωσαϊκών κ.λ.π.
- **Αρχιτεκτονικά κροκί - Σκαριφήματα μετρήσεων.** Τα συγκεκριμένα είναι μικρής μετρητικής αξίας, αλλά καθοριστικής σημασίας για τη σωστή ή εσφαλμένη αντίληψη αντικειμένου και του χώρου προς αποτύπωση. Αποτελούν, επίσης, το βασικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνονται διάφορες μετρήσεις, τοπογραφικές ή αρχιτεκτονικές.
- **Αρχιτεκτονικά / Τοπογραφικά σχέδια** όπως κατόψεις, όψεις, τομές κ.ά. Τα γραμμικά μετρητικά σχέδια και διαγράμματα αποτελούν το κλασικό προϊόν της αποτύπωσης και το βασικό υλικό τεκμηρίωσης.
- **Ανηγμένες φωτογραφίες.** Ο σκοπός της παραγωγής ανηγμένων εικόνων είναι η απαλοιφή των σφαλμάτων που προκαλούνται από τις παραμορφώσεις εξαιτίας των κλίσεων των εικόνων. Οι ανηγμένες εικόνες παράγονται πιο εύκολα από τις ορθοφωτογραφίες, αλλά βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε επίπεδες επιφάνειες και αντικείμενα.
- **Ορθοφωτογραφίες.** Στην ορθοφωτογραφία έχουν εξαλειφθεί και τα σφάλματα που προκύπτουν από την κλίση της εικόνας, και οι αποκλίσεις από την ορθή προβολή εξαιτίας του αναγλύφου του αντικειμένου. Έτσι προκύπτει μία ορθή προβολή του συνόλου της επιφάνειας του αντικειμένου.
- **Ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας.** Είναι ένα ενδιαμέσο προϊόν, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ορθοφωτογραφιών, αλλά αποτελεί και ένα σημαντικό τελικό φωτογραμμετρικό προϊόν κυρίως για εφαρμογές που σχετίζονται με τη μορφολογία του εδάφους ή του αρχαιολογικού χώρου. Γραφικά μπορεί να αποδοθεί με ισοϋψείς καμπύλες, ένα τρισδιάστατο

κάνναβο σημείων (wireframe) ή ένα τρισδιάστατο φωτορρεαλιστικά σκιασμένο μοντέλο επιφάνειας (shaded model).

- **Φωτογραμμετρικά αποτυπωμένο αντικείμενο σε πλήρη τρισδιάστατη ψηφιακή διανυσματική μορφή.** Πρόκειται για πλήρες φωτογραμμετρικό προϊόν, που προκύπτει χάρη στις πολλές δυνατότητες που έχουν σήμερα τα συστήματα αυτοματοποιημένης σχεδίασης. Συγκεκριμένα, μπορεί να είναι ένα τρισδιάστατο γραμμικό σχέδιο ή συνθετικές εικόνες που έχουν προκύψει με την προσθήκη και την απόδοση χρώματος και υφής. Η δημιουργία ενός βίντεο από τέτοιες εικόνες επιτρέπει την παρουσίαση του αποτυπωμένου αντικειμένου με φωτορρεαλιστική κίνηση διαμέσου του, γύρω του ή από ψηλά.
- **Πλήρες τρισδιάστατο ψηφιακό αντικείμενο με συνύπαρξη διανυσμάτων και εικονοψηφίδων.** Είναι ένα πολύπλοκο φωτογραμμετρικό προϊόν και αποτελείται από τη διανυσματική μορφή που περιγράφηκε πριν, εμπλουτισμένο όμως με ψηφιακές εικόνες, κατά κανόνα ανηγμένες ή ορθοφωτογραφίες, που έχουν προβληθεί στην επιφάνεια του αντικειμένου. Το προϊόν αυτό είναι ιδιαίτερα εποπτικό και αποτελεί το πρώτο στάδιο για τη δημιουργία πολυμέσων.
- **Συστήματα πληροφοριών χώρου.** Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τα πλήρη τρισδιάστατα (ή και δισδιάστατα) ψηφιακά γραφικά αρχεία των αντικειμένων με δομές βάσεων δεδομένων, όπου καταχωρούνται μια σειρά από άλλες θεματικές πληροφορίες όπως αρχιτεκτονικές, αρχαιολογικές, ιστορικές κ.τ.λ. Είναι πιο ολοκληρωμένα προϊόντα και εφαρμόζονται κυρίως όταν η τεκμηρίωση είναι πιο απαιτητική.
- **Συστήματα πολυμέσων.** Εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες της σύγχρονης τεχνολογίας για να εισάγουν ηχητικές ή/και οπτικές περιγραφές ως συμπληρωματικό στοιχείο της τεκμηρίωσης. Συνήθως αποβλέπουν στην ευρεία διάδοση των επιμέρους φωτογραμμετρικών προϊόντων, και μάλιστα για μη ειδικευμένους τελικούς χρήστες και το ευρύ κοινό.

Το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του αντικειμένου, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του χρήστη και το σκοπό της αποτύπωσης, αποτελούν τις βασικές παραμέτρους και τις κατευθυντήριες οδηγίες για την επιλογή της μεθόδου αποτύπωσης και τα τελικά προϊόντα.

2.2. Φωτογραμμετρία

2.2.1. Το Παρελθόν

Φωτογραμμετρία ονομάζεται *''η τέχνη, επιστήμη και τεχνική για την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας¹⁵''*.

Οι φωτογραμμετρικές τεχνικές αποτελούν έμμεσους τρόπους καταγραφής της θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων, καθώς δεν χρησιμοποιούν απευθείας μετρήσεις πάνω στο αντικείμενο, αλλά τη μετρητική πληροφορία που συλλέγεται σε μια φωτογραφική εικόνα. Με τις τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων χρόνων, ο ορισμός της Φωτογραμμετρίας έχει επεκταθεί και καλύπτει και την καταγραφή σημάτων από ηλεκτρομαγνητικές και ηχητικές πηγές¹⁶.

Ο όρος «Φωτογραμμετρία» πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τον A. Meydenbauer, ο οποίος ήταν αρχιτέκτονας και στα μέσα του 19^{ου} αι. ανέπτυξε την επίγεια Φωτογραμμετρία, ίδρυσε το Πρωσικό ίδρυμα για τεκμηρίωση μνημείων με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας και πραγματοποίησε γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων της Γερμανίας αλλά και πολλών άλλων χωρών μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα. Αυτό ήταν ιδιαίτερα σημαντικό γιατί παρείχε 80.000 αρνητικά με ολοκληρωμένο τοπογραφικό έλεγχο που όμως λόγω του πολέμου μόνο ένα μέρος έχει διασωθεί σήμερα στο Πότσνταμ κοντά στο Βερολίνο. Αυτό αποτέλεσε το πρώτο και πιο σημαντικό φωτογραμμετρικό αρχείο αλλά και επίσης αναδεικνύει πόσο στενά συνδέεται η φωτογραμμετρία με την αρχιτεκτονική και με την αρχαιολογία¹⁷.

Στη συνέχεια, όμως, η φωτογραμμετρία συνδέθηκε περισσότερο με την χαρτογραφική της προτεραιότητα, παρόλο που η αρχιτεκτονική και αρχαιολογική εφαρμογή δεν σταμάτησε εντελώς. Εφαρμόστηκαν, όμως, αποσπασματικά και αυτό συνέβη καθώς ήταν ιδιαίτερα σύνθετες και το κόστος της φωτογραμμετρίας, των μηχανικών και αναλογικών οργάνων ήταν ιδιαίτερα υψηλό. Μέθοδοι όπως η αναγωγή

¹⁵ American Society of Photogrammetry 1980

¹⁶ Πατιάς 1991, 2

¹⁷ Πατιάς 2008, 71

επίπεδων αντικειμένων, όψεων κτηρίων, ανασκαφών και μωσαϊκών, που δεν έχουν μεγάλο κόστος και που είναι εύκολο να κατανοηθούν από όσους τις χρησιμοποιούν, διατηρούν μέσα στα χρόνια την αλληλεπίδραση του αρχαιολόγου, του φωτογραμμέτρη και του αρχιτέκτονα. Υπάρχουν, όμως, ορισμένες διαφορές μεταξύ τους. Όσον αφορά στον τοπογράφο δεν έχει καταρτιστεί κατάλληλα και δεν αποτελεί άμεση αρμοδιότητά του η εξειδικευμένη αρχαιολογική και αρχιτεκτονική αποτύπωση. Το αντικείμενό του είναι τεχνικό και παρέχει ακρίβεια που για ορισμένους χρήστες είναι ασαφής ενώ για άλλους δεν αφορά στην πιστότητα της μορφής, στα χαρακτηριστικά και τις ιδιομορφίες του αντικειμένου ή των υλικών του στο σύνολο. Οι αρχιτέκτονες θεωρούν πως το ζήτημα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης αποτελεί κυρίως τέχνη και όχι τόσο τεχνική. Επίσης, αντιμετωπίζουν σύγχυση σχετικά με την ακρίβεια και την κλίμακα, το μετρητικό σχέδιο με το ελεύθερο και το διάγραμμα με το σκαρίφημα¹⁸.

Υπάρχουν διάφορες κριτικές που έχουν διατυπωθεί και πολλές συζητήσεις έχουν γίνει και μπορεί να έχουν καταλήξει σε διενέξεις, λόγω ορισμένων προβλημάτων που υπάρχουν. Οι τοπογραφικές μέθοδοι αλλά και η φωτογραμμετρία όπως και η εφαρμογή τους για την τεκμηρίωση των μνημείων έχουν σχέση με τις σύγχρονες τάσεις για τη συντήρηση και την αποκατάσταση, καθώς είναι απαραίτητο να υπάρχουν για την εις βάθος γνώση ενός μνημείου. Η γεωμετρική τεκμηρίωση, λοιπόν, αποτελεί δομικό στοιχείο της γνώσης και για τον λόγο αυτό είναι αναντικατάστατη.

Για να είναι λειτουργική η γεωμετρική τεκμηρίωση πρέπει να εντάσσεται στις απαιτήσεις και την ευρύτερη θεώρηση που έχουν οι αρχιτέκτονες και οι αρχαιολόγοι καθορίζοντάς την μέσω αναλυτικών συζητήσεων μεταξύ τους. Όσοι χρησιμοποιούν τη φωτογραμμετρία δεν αποτελούν απλά εκτελεστικά όργανα. Μπορεί να μην έχουν πλήρως σαφή ιδέα για το τι ακριβώς θέλουν να κάνουν και συνεπώς να προβούν σε αντίστοιχη μέτρηση, με τον τρόπο που θα εξετάσουν το αποτέλεσμα και θα συσχετίσουν τα δεδομένα. Ο ειδικός της αποτύπωσης, λοιπόν, πρέπει να κατανοήσει τη διάλεκτο που έχει ο χρήστης, να θέσει σε αυτή τις έννοιές του και ταυτόχρονα να τον φέρει κοντά στην έννοια των δικών του εργαλείων. Για τους αρχιτέκτονες η αμοιβαία προσέγγιση είναι ευκολότερη ενώ για τους αρχαιολόγους δυσκολότερη,

¹⁸ Πατιάς 2008, 71

όμως και στις δύο περιπτώσεις, στις μέρες μας, νέα δεδομένα διευκολύνουν και τους δύο¹⁹.

2.2.2. Το Παρόν

Υπάρχει μία ευρύτερη πίεση που ασκείται από το κοινωνικό περιβάλλον για τα πολιτιστικά μνημεία σε σχέση με την καταγραφή, αποκατάσταση αλλά και τη συντήρησή τους. Πέραν αυτής της πίεσης, αναπτύσσεται το αίσθημα της νοσταλγίας για πολιτισμικά παρελθοντικά στοιχεία που με την πάροδο των χρόνων χάνονται από πολέμους, φυσικές καταστροφές αλλά και από την παρέμβαση ή την μη παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, μπορεί να βοηθήσει το έργο των φωτογραμμετρών, που σε σύγκριση με το παρελθόν, είναι σήμερα περισσότερο έτοιμοι από ποτέ προς ανταπόκριση σε οτιδήποτε τους αφορά.

Η εξέλιξη του τεχνολογικού τομέα τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει συντελέσει στη διερεύνηση των μεθόδων της φωτογραμμετρίας και έτσι γίνονται περισσότερο προσιτές. Λόγω της ψηφιακής επανάστασης, της ανάπτυξης αλγορίθμων και της αυτοματοποίησης διαδικασιών μπορεί να γίνει χρήση ενός πιο φθηνού και πιο ελαφρού εξοπλισμού και να αντιμετωπιστούν καταστάσεις που παρελθοντικά θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολο. Τα μεγάλα ψηφιακά όργανα δεν αντικαθίστανται για τις υψηλές ακρίβειες τις οποίες αναμφίβολα θα επωμιστεί ο φωτογραμμέτρης. Ο ίδιος ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει ορισμένες απλές μετρητικές εργασίες με εξειδικευμένα πακέτα λογισμικών που, ως ένα βαθμό, δεν είναι υποχρεωτικό να τα χειρίζεται ειδικός. Το τελικό προϊόν είναι δυνατόν να διαμορφωθεί, βασιζόμενο στις δυνατότητες που δίνει η σημερινή τεχνολογία, από μεμονωμένη εικόνα έως το πλήρες ηλεκτρονικό σύστημα τεκμηρίωσης βάσει της τεχνολογίας των πολυμέσων²⁰.

Με τις ψηφιακές εξελίξεις και τις προσφερόμενες δυνατότητες ασχολούνται και επιστήμονες από άλλους τομείς που σταδιακά εξοικειώνονται με αυτές όπως και με τα πακέτα γραφικών αλλά και την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας. Έτσι και αυτοί είναι πιθανόν να είναι πιο ανοιχτοί σε μια πιο στενή συνεργασία και στην ανάπτυξη σεβασμού για την ειδικότητα των άλλων. Στις μέρες μας, υπάρχει χώρος και ανάγκη για τις μεθόδους, τα όργανα και τις τεχνικές ώστε να μπορέσουν οι ενδιαφερόμενοι

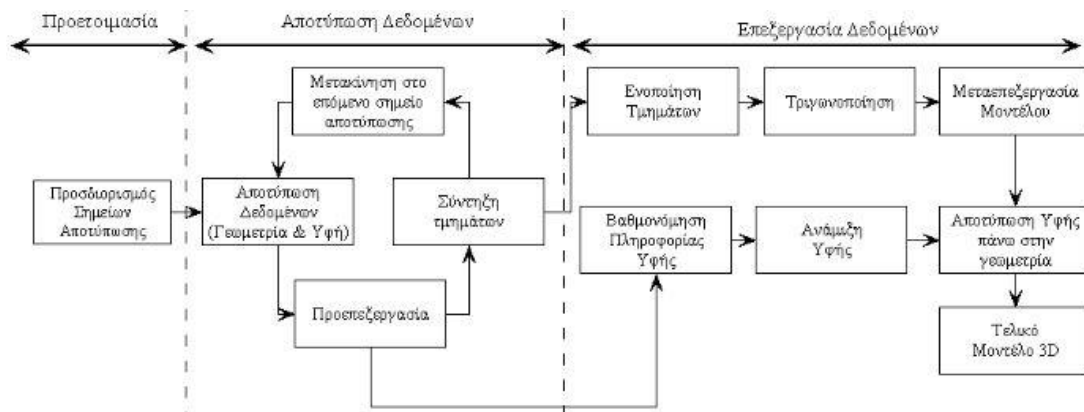
¹⁹ Πατιάς 2008, 72

²⁰ Πατιάς 2008, 72

να συνεργαστούν μεταξύ τους και να φέρουν τα βέλτιστα αποτελέσματα, η διάθεση για συνεργασία έχει πλέον αναπτυχθεί. Ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να αναλάβει κάποιες φωτογραμμετρικές εργασίες κάνοντας χρήση μη σύνθετων προγραμμάτων και συστημάτων που οι φωτογραμμέτρες έχουν δημιουργήσει. Παρόλο που κάποια από τα προγράμματα που έχουν δημιουργηθεί είναι σχετικά απλά, αυτό δεν σημαίνει πως οι σημερινές τεχνικές της φωτογραμμετρίας είναι απλές. Χρειάζεται προσπάθεια για εις βάθος κατανόηση και να εξασφαλιστούν οι συνθήκες για να μπορέσει να γίνει εφαρμογή με την απαραίτητη αξιοπιστία.

2.2.3. Βασικές τεχνικές Φωτογραμμετρίας

Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση περιλαμβάνει πολλές διαδικασίες και πληθώρα μεθόδων και τεχνολογιών (εικ. 2.5). Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής είναι το αποτέλεσμα τριών βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν την καταλληλότητα της κάθε μεθόδου: 1. η πολυπλοκότητα σε μέγεθος και σχήμα, 2. η μορφολογική πολυπλοκότητα (επίπεδο λεπτομέρειας), 3. η ποικιλία πρώτων υλών²¹, 4. τα επιθυμητά αποτελέσματα της τεκμηρίωσης (σχέδια, 3D κ.τ.λ).



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα διαδικασιών τρισδιάστατης ψηφιοποίησης.

Οι κυριότερες τεχνικές για τη συλλογή ψηφιακών δεδομένων μέσω της φωτογραμμετρικής μεθόδου μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

²¹ Pavlidis κ.ά. 2007, 93

➤ **Σχήμα από Σιλουέτες.** Στην τεχνική αυτή, πολλές φωτογραφίες του αντικειμένου – στόχου λαμβάνονται από διάφορες γωνίες παρατήρησης (εικ. 2.6). Οι



Εικόνα 2.6: Σχήμα από σιλουέτα.

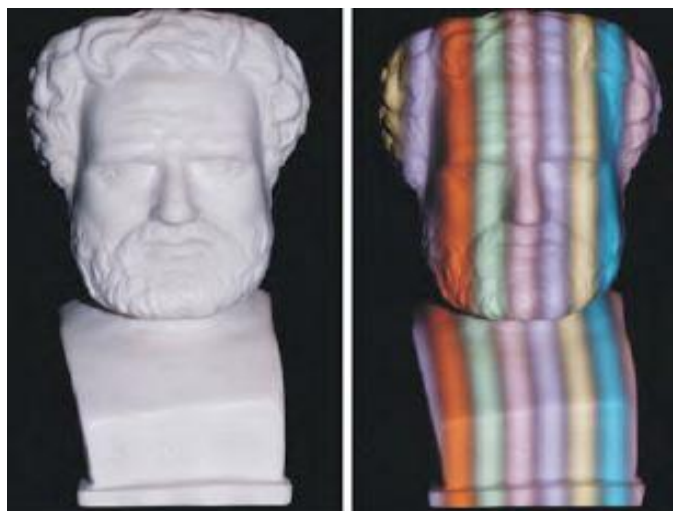
γεωμετρικές πληροφορίες εξάγονται μέσω της σιλουέτας του αντικειμένου. Οι τελευταίες εξελίξεις αυτής της τεχνικής βελτιστοποίησαν τη γεωμετρική της ακρίβεια με την αξιοποίηση δεδομένων υψής. Το κύριο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η αυτοματοποιημένη διαδικασία ψηφιοποίησης, ενώ το βασικό

μειονέκτημα είναι η μέση προς χαμηλή ακρίβεια των γεωμετρικών δεδομένων²².

➤ **Σχήμα από Δομημένο Φως.** Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου είναι απλή. Η ανάκτηση της πληροφορίας βάθους πραγματοποιείται με την προβολή ενός μοτίβου φωτός πάνω σε ένα αντικείμενο, από γνωστή οπτική γωνία. Η μέθοδος *Σχήμα-Από-Δομημένο-Φως* βασίζεται στην επίλυση τριγωνισμών στο χώρο, όπως και η σάρωση με ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων. Οι δύο μέθοδοι έχουν παρεμφερή χαρακτηριστικά, ενώ οι εμπορικές υλικοτεχνικές κατασκευές πολλές φορές ταυτίζονται μεταξύ τους. Εξάιρεση αποτελεί η αντικατάσταση της πηγής λέιζερ από μια συσκευή προβολής εικόνας. Για την τρισδιάστατη αποτύπωση πραγματοποιούνται προβολές από φωτεινά μοτίβα που περιέχουν πολλαπλές ρίγες, πλέγματα ή ακόμα και ελλείψεις. Σε κάποιες περιπτώσεις συναντούμε και χρωματικά κωδικοποιημένα μοτίβα (εικ. 2.7). Η χρωματική κωδικοποίηση βοηθά τον σαρωτή να ξεχωρίσει ευκολότερα τις μεταβολές που δέχεται το μοτίβο, καθώς προβάλλεται πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η κωδικοποίηση μπορεί να γίνει με ποικίλες μεθόδους. Δημοφιλέστερες είναι η μεταβλητή φωτεινότητα χρωμάτων και η μεταβλητή πυκνότητα των σχημάτων που φέρει ένα μοτίβο. Ο κύριος στόχος της προβολής των κωδικοποιημένων μοτίβων είναι ο εύκολος διαχωρισμός των εικονοστοιχείων. Από τη στιγμή λοιπόν που το μοτίβο είναι κωδικοποιημένο, μπορούν να συγκριθούν οι αντιστοιχίες ανάμεσα στις θέσεις των εικονοστοιχείων που αποτυπώνει ο σαρωτής και των αρχικών σημείων του μοτίβου. Με την σύγκριση

²² Laurentini 1994, Tosovic κ.ά. 2002

υπολογίζονται όλες οι αποκλίσεις στα αντίστοιχα σημεία και μπορεί, με τον έμμεσο αυτό τρόπο, να ανακτηθεί η τρίτη διάσταση²³.



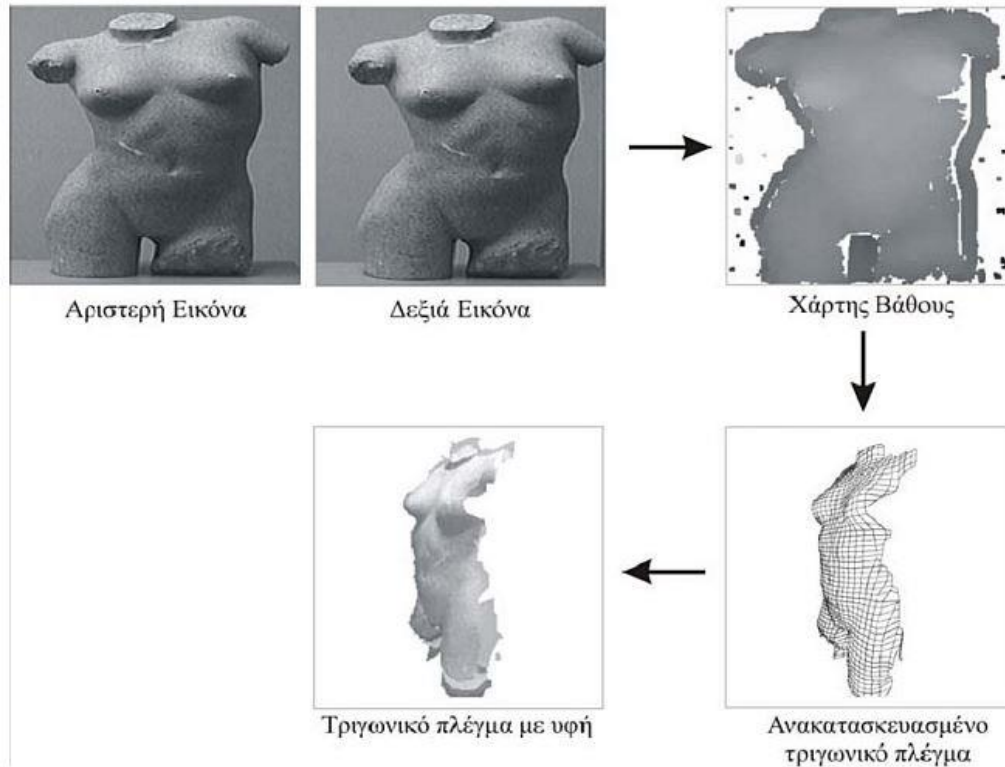
Εικόνα 2.7: Προβολή χρωματικά κωδικοποιημένου μοτίβου.

➤ **Σχήμα από Στερεοσκοπική Φωτογράφιση (Στερεοφωτογράφιση)** (εικ. 2.8). Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται η αρχή λειτουργίας της στερεοφωτογραμμετρίας και τεχνικές στερεοσκοπίας με στόχο την απόκτηση δεδομένων γεωμετρίας ενός αντικειμένου - στόχου από ένα ζεύγος φωτογραφιών²⁴. Στη στερεοφωτογραμμετρία οι 3D συντεταγμένες της επιφάνειας ενός αντικειμένου υπολογίζονται από τουλάχιστον δύο φωτογραφίες που λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις με τη χρήση φωτογραμμετρικού τριγωνισμού. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη στερεοσκοπική φωτογραφική επεξεργασία είναι η φωτογράφιση, έτσι ώστε οι άξονες της κάμερας στις δύο θέσεις λήψης φωτογραφίας να είναι σχεδόν παράλληλοι μεταξύ τους και περίπου κάθετοι προς την επιφάνεια του υπό μελέτη αντικειμένου²⁵.

²³ http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=53

²⁴ Menci 2000⁷ Hullο κ.ά. 2009

²⁵ Τζανάκης & Βασιλάκης 2014, 881



Εικόνα 2.8: Αποτύπωση τρισδιάστατου αντικείμενου από στερεοφωτογράφιση.

➤ **Σχήμα από Κίνηση - Σχήμα από ακολουθία εικόνων.** Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια αυτοματοποιημένη παραλλαγή και εξέλιξη του Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση, κατά την οποία οι δύο φωτογραφικές μηχανές έχουν αντικατασταθεί από μια κινούμενη μηχανή λήψης που καταγράφει το αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η απόλυτη ακινησία του αντικείμενου, ενώ θεωρείται δεδομένο ότι δεν υπάρχουν κινητά μέρη πάνω του. Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται είναι παρόμοιοι με αυτούς της Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση και είναι ευαίσθητοι στο θόρυβο που παρουσιάζει η ακολουθία εικόνων. Οι αλγόριθμοι που εφαρμόζονται είναι παρόμοιοι με αυτούς της μεθόδου Σχήμα-Από-Στερεοφωτογράφιση και είναι ευαίσθητοι στο θόρυβο που παρουσιάζει η ακολουθία εικόνων. Όπως είναι αναμενόμενο και η Σχήμα-Από-Κίνηση αντιμετωπίζει το πρόβλημα αντιστοίχισης των κοινών σημείων ανάμεσα στις εικόνες. 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. Τις περισσότερες φορές η λύση του προβλήματος αντιστοίχισης σε διαφορετικές οπτικές

γωνίες καταλήγει να δίνεται χειροκίνητα. Ένας θεμελιώδης περιορισμός τον οποίο δε δύναται να ξεπεράσει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ότι ο χάρτης βάθους λειτουργεί μόνο για τα σημεία του αντικειμένου που είναι ορατά στο φωτογραφικό φακό²⁶.

2.3. Γεωφυσική Διασκόπηση

Η επιστήμη της γεωφυσικής μελετά την κατάσταση και τη δομή του υπεδάφους. Χρησιμοποιεί μεθόδους, οι οποίες αναλύουν φυσικά φαινόμενα που δημιουργούνται στη γη, και κάνοντας μετρήσεις, αποτυπώνει τη μορφή του υπεδάφους σε χώρους που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες²⁷.

Οι διάφορες γεωφυσικές μέθοδοι για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους, εξαρτώνται από τις μεταβολές στις ηλεκτρικές, μαγνητικές ή σεισμικές ιδιότητες των πετρωμάτων και των ιζημάτων. Οι μέθοδοι μπορούν να ταξινομηθούν σε παθητικές και ενεργητικές²⁸. Οι παθητικές διασκοπήσεις περιλαμβάνουν μετρήσεις ιδιοτήτων της γης και φυσικών πεδίων. Σε αυτές εντάσσονται οι βαρυτομετρικές και οι μαγνητικές με αντίστοιχα φυσικά πεδία, το βαρυτικό και το μαγνητικό. Οι χωρικές μεταβολές μετρούνται σε αυτά τα πεδία, χωρίς όργανα που παράγουν σήματα και τα αποτελέσματα ερμηνεύονται με βάση τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους που διαταράσσουν το πεδίο. Όταν διεξάγονται ενεργητικές γεωφυσικές διασκοπήσεις, ένα σήμα θα εισαχθεί στη γη και γίνονται μετρήσεις για το πώς η γη θα ανταποκριθεί σε αυτό το σήμα. Αυτά τα σήματα είναι δυνατόν να έχουν μία πληθώρα μορφών όπως είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και η μετατόπιση. Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν η μέθοδος ειδικής αντίστασης συνεχούς ρεύματος, η σεισμική, η ηλεκτρομαγνητική και το ραντάρ διείσδυσης εδάφους.

Η εισαγωγή των γεωφυσικών διασκοπήσεων στην αρχαιολογική έρευνα στον διεθνή χώρο έγινε με το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου. Στην Αγγλία έγιναν οι πρώτες δοκιμές τόσο της ηλεκτρικής μεθόδου το 1946 όσο και της μαγνητικής το 1958²⁹.

²⁶ http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=64&Itemid=53

²⁷ Bery 2012

²⁸ Σαρρής 2017

²⁹ Aitken 1974

Είναι φανερό ότι οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης εφαρμόζονται στην εξερεύνηση αρχαιολογικών χώρων και επικουρούν την αρχαιολογική έρευνα προσφέροντας πολλά πλεονεκτήματα, καθώς δίνεται πλέον η δυνατότητα ανάλυσης θέσεων και άντλησης πληροφοριών χωρίς την εφαρμογή των παραδοσιακών αρχαιολογικών ανασκαφικών μεθόδων³⁰. Οι μέθοδοι αυτές, μπορούν να δώσουν μία εικόνα των θαμμένων αρχαίων αρχιτεκτονικών λειψάνων ή των θαμμένων κατασκευών σε μια περιοχή. Συνεπώς το αποτέλεσμα τους οδηγεί στην πληρέστερη σχεδίαση των ανασκαφών, στη συμπλήρωση των ανασκαφικών δεδομένων και στην επιτάχυνση της έρευνας³¹. Επομένως, η γεωεπισκόπηση περιοχών μπορεί να γλυτώσει από κόπο και κόστος την ανασκαφική έρευνα σχετικά με τη θέση της ανασκαφής, τα μέσα και το δυναμικό που θα χρειαστεί, τους σκοπούς της διαδικασίας αλλά και δίνοντας περισσότερα και πιο συγκεκριμένα επιστημονικά επιχειρήματα για την επιλογή του σημείου της έρευνας³².

2.4. Αρχαιομετρία

Η τεχνολογική εξέλιξη, η έρευνα σε τομείς που δεν ήταν γνωστοί μέχρι πρότινος και η εμφάνιση νέων ειδικοτήτων συνέβαλαν ώστε το γνωστικό αντικείμενο κάθε επιστήμης να έχει ξεπεράσει τα όρια που είχε πριν και να εισχωρεί σε περιοχές άλλων επιστημών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, με σκοπό την έρευνα του ίδιου του αντικειμένου. Η ανάγκη συνεργασίας επιβάλλεται και στην επιστήμη της Αρχαιολογίας³³. Λαμπρό παράδειγμα ζεύξης θεωρητικής και θετικής σκέψης είναι η επιστήμη της Αρχαιομετρίας³⁴.

Η αρχαιομετρία είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος, ο οποίος αντλεί τα εργαλεία του από το σύνολο των θετικών επιστημών, δηλαδή τη φυσική, τη χημεία, τα μαθηματικά, την αστρονομία, τη γεωλογία, τη βιολογία και εστιάζει στις ανθρωπιστικές επιστήμες με ιδιαίτερη εφαρμογή την αρχαιολογία και την ιστορία της τέχνης. Απώτερος σκοπός είναι η ακριβέστερη μελέτη της ανθρώπινης εξέλιξης και των πολιτισμών. Η ανάπτυξη του κλάδου της αρχαιομετρίας προέκυψε από την

³⁰ Lock 2003, 14

³¹ Τσόκας, Τσούρλος 2017

³² Sarris κ.ά 2017

³³ Τσάϊμου 1993, 104

³⁴ Τιβέριος 2008, 103

ανάγκη επίλυσης προβλημάτων που οι παραδοσιακές μέθοδοι αδυνατούσαν να καλύψουν³⁵.

Τα βασικά στάδια εφαρμογής της αρχαιομετρίας συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

- ❖ Φυσικές και χημικές μέθοδοι χρονολόγησης αρχαιολογικού υλικού.
- ❖ Μελέτες εξέτασης και ανάλυσης αρχαιολογικού υλικού και έργων τέχνης.
- ❖ Προσεγγιστικές περιβαλλοντικές εφαρμογές που σχετίζονται με πληροφορίες σχετικά με το κλίμα, την πανίδα, τη χλωρίδα, τις συνθήκες διαβίωσης κ.τ.λ. του παρελθόντος.
- ❖ Μαθηματικές μέθοδοι αξιολόγησης και στατιστικές μελέτες προτύπων βάσεων δεδομένων.
- ❖ Γεωφυσικές μελέτες και εφαρμογές για την ανάλυση αρχαιολογικών πεδίων και ανασκαφών.
- ❖ Εφαρμογές στον τομέα της συντήρησης αρχαιολογικών αντικειμένων και έργων τέχνης που σχετίζονται με τη διερεύνηση των παραγόντων και της εξέλιξης νέων υλικών και μεθόδων συντήρησης.

Η μελέτη των υλικών στην αρχαιολογία περιλαμβάνει δύο στάδια. Πρώτον τη διερεύνηση των διεργασιών παραγωγής, διασποράς και χρήσης των αντικειμένων και δεύτερον την ερμηνεία των αποτελεσμάτων με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς των πολιτισμών που παρήγαγαν και χρησιμοποίησαν τα συγκεκριμένα υλικά³⁶.

Οι τεχνικές της αρχαιομετρίας εφαρμόζονται σε αντικείμενα αρχαιολογικής προέλευσης, καλλιτεχνικής και χρηστικής αξίας αλλά και σε περιβαλλοντικά υλικά που σχετίζονται με τους ανθρώπους και τα μνημεία. Στόχος, όπως προαναφέρθηκε, είναι να επιλυθούν ζητήματα που έχουν σχέση με τη χρονολόγηση, τη σύσταση και προέλευση υλικών, τον εντοπισμό τους χωρίς ανασκαφή, την ερμηνεία του προσανατολισμού των μνημείων, την ανασύσταση του περιβάλλοντος και οικοσυστήματος του πρώιμου ανθρώπου, τη δραστηριότητα σχετικά με το εμπόριο και τη ναυσιπλοΐα αλλά και γενικότερα την ανάδειξη της κοινωνικής και οικονομικής δομής. Αυτά θα πραγματοποιηθούν με διάφορες αναλύσεις και ειδικές μετρήσεις όπως π.χ ανιχνεύσεις τροφών σε αρχαία κεραμικά, αναλύσεις σε ταφικά κτερίσματα,

³⁵ Wagner 2007

³⁶ Τα παραπάνω στοιχεία αντλήθηκαν κυρίως από την ιστοσελίδα <http://www.nikias.gr/ell/categories/αρχαιομετρία> ενώ για περισσότερες πληροφορίες πάνω στο θέμα βλ. Λυριτζής 1994

εντοπισμό του προσανατολισμού των μνημείων προς τον ήλιο ή προς συγκεκριμένα αστέρια, αναλύσεις γύρης (παλυνολογία) και βιολογικές και ανθρωπολογικές μετρήσεις σκελετικών υπολειμμάτων³⁷.

Οι ανασκαφές έφεραν στο φως διάφορα αρχαία υλικά, προσελκύοντας τους χημικούς χρόνια πριν η αρχαιολογία διαμορφωθεί και δομηθεί με τον τρόπο που είναι γνωστή σήμερα. Οι πρώτοι θετικοί επιστήμονες που ασχολήθηκαν με αρχαιομετρικά ζητήματα (19^{ος} αιώνας), το έκαναν είτε από προσωπικό ενδιαφέρον είτε παρακινούμενοι από γνωστούς αρχαιολόγους της εποχής, και επικεντρώνονταν κυρίως στις χημικές αναλύσεις με σκοπό τη διαλεύκανση ζητημάτων ταυτοποίησης και προέλευσης υλικών³⁸. Τα πρώτα σημαντικά αποτελέσματα χημικής ανάλυσης αρχαιολογικών αντικειμένων δημοσιεύτηκαν από τον Klaproth το 1796. Ο Μ. Η. Klaproth ήταν ένας αναλυτικός χημικός που ανακάλυψε τα στοιχεία τιτάριο, ουράνιο και ζιρκόνιο και ήταν πρωτοπόρος στη χημική έρευνα αρχαιολογικών αντικειμένων³⁹.

2.5. Φασματοσκοπία Ακτίνων X Φθορισμού (X-ray fluorescence spectroscopy, XRF)

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η μέθοδος της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων X, η οποία αποτελεί μια βασική μέθοδο ενόργανης ανάλυσης και προέρχεται από την εκπομπή δευτερογενών ακτίνων X κατά την ακτινοβόληση του δείγματος με πρωτογενείς ακτίνες X⁴⁰.

Ο Γερμανός φυσικός Wilhelm K. Röntgen ανακάλυψε τις ακτίνες X το 1895. Η φασματοφωτομετρία των ακτίνων X ήταν γνωστή από το 1909 από τον Charles G. Barkla αλλά η χρήση τους για τη στοιχειακή ανάλυση έγινε στα μέσα του εικοστού αιώνα. Η φύση των ακτίνων X μελετήθηκε από τον Barkla σε σχέση με την ατομική δομή που έχει το δείγμα. Στη συνέχεια ο Henry G. J. Moseley έκανε τη συσχέτιση της χαρακτηριστικής ενέργειας με τον ατομικό αριθμό που έχει το στοιχείο και τοποθέτησε τα στοιχεία στον περιοδικό πίνακα, στηριζόμενος όχι στο ατομικό βάρος αλλά στην αύξηση του ατομικού αριθμού. Τα θεμέλια για τη φασματοσκοπία

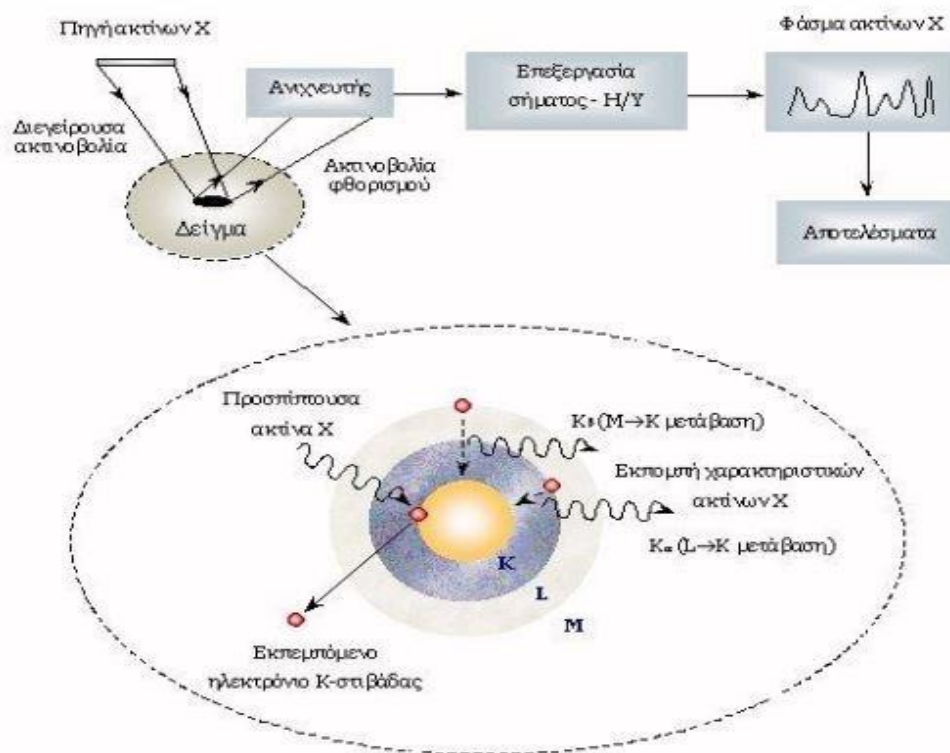
³⁷ Day κ.ά. 1999· Aloupi κ.ά. 2000· Λυριτζής 2007

³⁸ Ζαχαριάς 2017α

³⁹ Caley 1967· Hertz & Garrison 1998

⁴⁰ Κούη κ.ά. 2015, 169

φθορισμού ακτίνων X έθεσε ο νόμος του Moseley. Αργότερα, και συγκεκριμένα το 1947, οι Friedman και Birk ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη των ακτίνων X χρησιμοποιώντας την πρώτη διάταξη. Αρχικά, η φασματοσκοπία ακτίνων X χρησιμοποίησε ηλεκτρόνια ως πηγή διέγερσης, αλλά οι απαιτήσεις υψηλού κενού, τα ηλεκτρικά αγώγιμα δείγματα και το πρόβλημα της πητικότητας, αποτέλεσαν εμπόδια. Προκειμένου να ξεπεραστούν, το δείγμα τοποθετήθηκε έξω από τη λυχνία παραγωγής ακτίνων X υπό κενό και σε συνθήκες ψύξης. Η διέγερση του δείγματος οδήγησε στη παραγωγή δευτερογενών ακτίνων X (φθορισμός). Τα τελευταία χρόνια η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X πλεονεκτεί λόγω της χρήσης ημιαγωγών ως ανιχνευτές και της ανάπτυξης των υπολογιστικών συστημάτων. Αυτό που την ανάγει σε μια πολύ ενδιαφέρουσα τεχνική είναι η ανάλυση σύνθετων υλικών με διαφορετική σύσταση. Η φασματοσκοπία XRF χρησιμοποιείται ευρέως για την ποιοτική και ποσοτική στοιχειακή ανάλυση περιβαλλοντικών, γεωλογικών, βιολογικών, βιομηχανικών και άλλων δειγμάτων⁴¹.



Εικόνα 2.9: Η αρχή λειτουργίας και η τοπική διάταξη φασματοσκοπίας XRF.

⁴¹ Ζαχαριάς 2017β

Η μέθοδος της φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων X είναι μη καταστρεπτική, πολυστοιχειακή, ταχεία και μπορεί να εφαρμοστεί σε ευρεία περιοχή συγκεντρώσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να πλεονεκτεί, συγκρινόμενη με άλλες τεχνικές. Το γεγονός ότι είναι μη καταστρεπτική μέθοδος σημαίνει ότι τα δείγματα όταν εκτεθούν σε ακτίνες X δεν υπόκεινται σε αλλαγές ούτε καταστρέφονται, συνεπώς είναι δυνατόν να γίνει χρήση αυτών σαν πρότυπα ή να μελετηθούν με άλλες μεθόδους που μπορεί να είναι καταστρεπτικές. Επιπλέον, δεν απαιτεί πολύπλοκη προετοιμασία των προς μέτρηση δειγμάτων ενώ η ανάλυση των φασμάτων είναι κατά κανόνα απλή⁴². Στην περίπτωση των αρχαιολογικών αντικειμένων δεν απαιτείται εκτενής καθαρισμός, αφού η διείσδυση των ακτίνων X δεν επηρεάζεται από τα υπολείμματα χρώματος της επιφάνειας⁴³. Επίσης ο εύκολος χειρισμός του οργάνου που πραγματοποιεί τις μετρήσεις επιτυγχάνεται καθώς τα περισσότερα σύγχρονα όργανα λειτουργούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και ενός εύχρηστου λογισμικού για τη λήψη των μετρήσεων και τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων (εικ. 2.9). Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι το κόστος που απαιτείται για την πραγματοποίηση μιας μέτρησης, είναι χαμηλό⁴⁴. Τέλος, η φορητότητα της τεχνικής αυτής, η ευαισθησία στην ανάλυση κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων καθώς και το γεγονός ότι είναι πολυστοιχειακή (μια μέτρηση δύναται να δώσει πληροφορίες για πολλά χημικά στοιχεία), την κάνουν να ξεχωρίζει ανάμεσα στις υπόλοιπες τεχνικές ταυτοποίησης και ανάλυσης⁴⁵.

Η φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X βρίσκει εφαρμογές στην ανάλυση διαφόρων δειγμάτων όπως πλαστικά, τρόφιμα, φάρμακα, ορυκτά, μέταλλα, περιβαλλοντικά δείγματα, γυαλιά, χρωστικές, κεραμικά και αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς⁴⁶. Αρχαιολογικά υλικά διαφόρων διαστάσεων μπορούν να αναλυθούν, είτε στην ύπαιθρο είτε σε εσωτερικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα η φασματοσκοπική αναλυτική τεχνική εφαρμόζεται στα εξής: κεραμικά σκεύη, ειδώλια, πηλούς, ιζήματα από ανασκαφές, λίθινα εργαλεία από οψιανό, ασβεστόλιθο, ηφαιστειακά πετρώματα, φαγεντιανή, γυάλινα, πίνακες ζωγραφικής και τοιχογραφίες προσδιορίζοντας τις χρωστικές ουσίες, στιλβωμένες επιφάνειες, επιχρίσματα⁴⁷. Η τεχνολογία αυτή

⁴² Ζαχαριάς 2017β

⁴³ Κούη κ.ά. 2015, 169

⁴⁴ Κούη κ.ά. 2015

⁴⁵ Ζαχαριάς 2017β

⁴⁶ Κούη κ.ά. 2015, 180

⁴⁷ Λυριτζής 2017

προσφέρει καλύτερη κατανόηση και διερεύνηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των αντικειμένων, επιτρέπει την ανάπτυξη νέων θεωριών για τις εμπορικές ανταλλαγές και τον προσδιορισμό της σύστασης των κραμάτων σε αμετακίνητα αγάλματα και μεταλλικές επενδύσεις, καθώς και τη μελέτη των αντικειμένων *in situ* χωρίς δειγματοληψία⁴⁸.

2.6. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S. Geographic Information System) αποτελούν συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Είναι ψηφιακά συστήματα που μπορεί να προβούν στην ενσωμάτωση, αποθήκευση, προσαρμογή, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών συσχετιζόμενων πληροφοριών και αυτό αφορά στην αυστηρότερη τους μορφή. Όσον αφορά στη γενικότερη μορφή του αποτελεί ένα εργαλείο που λειτουργεί σαν “έξυπνος χάρτης” και δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να κάνουν αποτύπωση του πραγματικού κόσμου. Μπορούν να προβούν στη δημιουργία ερωτήσεων χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα όπως και στην ανάλυση χωρικών δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια θα τα τοποθετήσουν και θα τα αποδώσουν είτε σε αναλογικά μέσα με εκτύπωση χάρτη ή διαγραμμάτων είτε σε ψηφιακά μέσα με αρχεία χωρικών δεδομένων και διαδραστικών χαρτών στο διαδίκτυο⁴⁹.

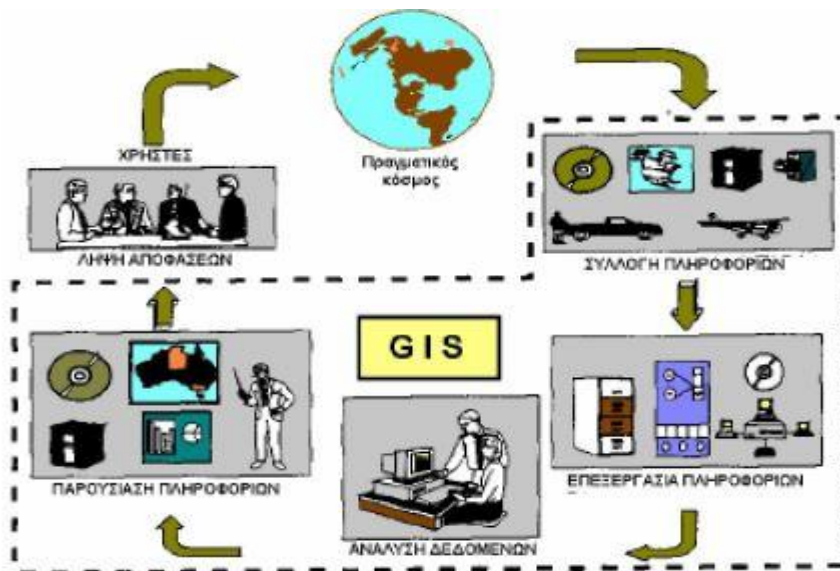
Τα χωρικά δεδομένα αποτυπώνονται σε γεωγραφικό, χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων από τα συστήματα GIS και CAD. Βασικό στοιχείο των GIS είναι η σύνδεση των χωρικών δεδομένων με τα περιγραφικά. Όπως μια ομάδα σημείων που απεικονίζουν θέσεις πόλεων και έχουν συνδεθεί με έναν πίνακα στον οποίο κάθε εγγραφή πέρα από τη θέση παρέχει πληροφορίες π.χ. ονομασία και πληθυσμό⁵⁰. Η λειτουργία βασίζεται σε τέσσερα δομικά στοιχεία: στον μηχανισμό εισαγωγής των δεδομένων που μετατρέπουν την πληροφορία στην ψηφιακή μορφή της, κατόπιν στις μονάδες αποθήκευσης της πληροφορίας με σκοπό τη δυνατότητα ανάκτησης και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων, τρίτον στα εργαλεία που πραγματοποιούν τη χωρική ανάλυση και, τέλος, σε μία πλατφόρμα απεικόνισης των

⁴⁸ Κούη κ.ά. 2015, 180-181

⁴⁹ Foresman 1998

⁵⁰ https://el.wikipedia.org/wiki/Σύστημα_Γεωγραφικών_Πληροφοριών

δεδομένων που έχουν εισαχθεί με τη μορφή χάρτη⁵¹. Η διαφορά που υπάρχει με τα προγράμματα CAD - τα οποία επεξεργάζονται δεδομένα σχεδίασης - είναι στην ανάλυση και επεξεργασία των χωρικών δεδομένων, τα οποία αναπαριστώνται και γραφικά στα συστήματα GIS.



Εικόνα 2.10: Διαδικασία λειτουργίας GIS.

Τα πανεπιστήμια και οι κυβερνητικοί φορείς το 1960 ξεκίνησαν να αναπτύσσουν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, τα οποία αρχικά αποτέλεσαν μια προέκταση των συστημάτων CADD (Computer Aided Design and Drafting), σύντομα όμως αποσυνδέθηκαν από αυτά. Στις αρχές το GIS αποτελούσε υπόθεση των λιγοστών φορέων και αυτό εξαιτίας της ιδιαίτερα μεγάλης, για εκείνα τα χρόνια, υπολογιστικής ισχύος και των μεγάλων συστάδων αποθηκευτικών μέσων που χρειαζόνταν για να λειτουργήσουν. Στις αρχές του 1980 όταν ξεκίνησαν να έχουν πιο πολλές δυνατότητες τα mini computers και εν συνεχεία τα microcomputers, ξεκίνησαν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών να χρησιμοποιούνται και από άλλες ομάδες. Για τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών υπάρχουν ποικίλοι ορισμοί. Το 1986 ο Keith C. Clarke τα όρισε ως ένα σύστημα που συλλέγει, αποθηκεύει, ανακτά, αναλύει, προβάλλει και διαχειρίζεται δεδομένα εντός ενός συγκεκριμένου οργανισμού.

⁵¹ Marble 1990

Αυτός ο ορισμός αναδεικνύει την έννοια των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, τα οποία δεν έχουν μόνο μια όψη αλλά έχουν πολλές δυνατότητες. Αναλόγως με το τι επιδιώκει ο φορέας που χρησιμοποιεί το σύστημα και τις ανάγκες που έχει αναπτύξει. Οι βασικές προσεγγίσεις είναι η διαχειριστική χρήση του καθώς αποθηκεύει και ανακτά τα χωρικά δεδομένα, η χαρτογραφική χρήση του που εστιάζει κυρίως στην γεωγραφική πληροφορία, η προσέγγιση της χωρικής ανάλυσης στην οποία εφαρμόζονται σύνθετα μαθηματικά μοντέλα για να βρεθεί μια καινούργια χωρική πληροφορία από την ήδη υπάρχουσα και τέλος, η προσέγγιση της σχεδίασης που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτό που είναι τα CADD⁵².

Η εφαρμογή τεχνολογιών στις ανθρωπιστικές επιστήμες και συγκεκριμένα στην αρχαιολογία αύξησε το ενδιαφέρον για αυτά τα συστήματα κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων. Αρκετές τεχνικές, κυρίως αυτές που βασίζονται στην τεχνολογία της πληροφορίας έχουν ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία στην αρχαιολογική έρευνα και ορισμένες από αυτές θεωρούνται ήδη ως συνήθης πρακτική. Καθώς η φύση της αρχαιολογικής έρευνας περιλαμβάνει την ανάλυση των χωρικών και χρονικών δεδομένων, σύντομα διαπιστώθηκε ότι οι τεχνολογίες GIS θα μπορούσαν να παρέχουν χρήσιμα εργαλεία. Η εφαρμογή των τεχνολογιών GIS στην αρχαιολογία τα τελευταία χρόνια έχει αποφέρει σημαντική τεχνογνωσία που μπορεί να αξιοποιηθεί με επιτυχία από την αρχαιολογική έρευνα και, επιπλέον, σύμφωνα με ορισμένους μελετητές, αναμένεται να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος της αρχαιολογικής πρακτικής, στην ερμηνεία και κατανόηση της κοινωνικοοικονομικής δομής του παρελθόντος⁵³. Ωστόσο, η μέθοδος που καθόρισε το GIS ως κύριο εργαλείο στον τομέα της αρχαιολογίας είναι ότι έχει τη δυνατότητα προγνωστικών μοντέλων κατοίκησης (predictive modeling)⁵⁴ και πιο συγκεκριμένα, είναι μία «τεχνική που προσπαθεί να προβλέψει τις τοποθεσίες αρχαιολογικών χώρων ή υλικών σε μια περιοχή, βασισμένη είτε σε δείγμα της περιοχής αυτής είτε σε θεμελιώδεις έννοιες που αφορούν την ανθρώπινη συμπεριφορά»⁵⁵.

Συμπερασματικά, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αρχαιολογική έρευνα με σκοπό τον εντοπισμό νέων αρχαιολογικών θέσεων, τη μοντελοποίηση των τρόπων κατοίκησης σε ιστορικές

⁵² Kvamme 1992

⁵³ Harris & Lock 1995

⁵⁴ Gourad 1999

⁵⁵ Kohler & Parker 1986

περιόδους, τη μελέτη της επικοινωνίας και των ορίων επικράτειας των αρχαίων οικισμών και την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Συγχρόνως, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορούν να αναχθούν σε ένα εξαιρετικό, χρήσιμο, μεθοδολογικό εργαλείο που μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στην αντιμετώπιση προβλημάτων που απορρέουν από την ανάγκη προστασίας και διαχείρισης των πολιτιστικών μνημείων υπό την πίεση των σύγχρονων αναπτυξιακών έργων. Η δημιουργία ηλεκτρονικών θεματικών χαρτών και συστημάτων αρχαιολογικών γεωγραφικών πληροφοριών, σε συνάρτηση με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες, τις γεωμορφολογικές και κλιματικές αλλαγές και τις πιέσεις που δημιουργούνται από τον χωροταξικό σχεδιασμό, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ενός μοντέλου αντιμετώπισης προβλημάτων που αφορούν στη διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς⁵⁶.

2.7. Παραδείγματα και Εφαρμογές των Παραπάνω Τεχνολογιών

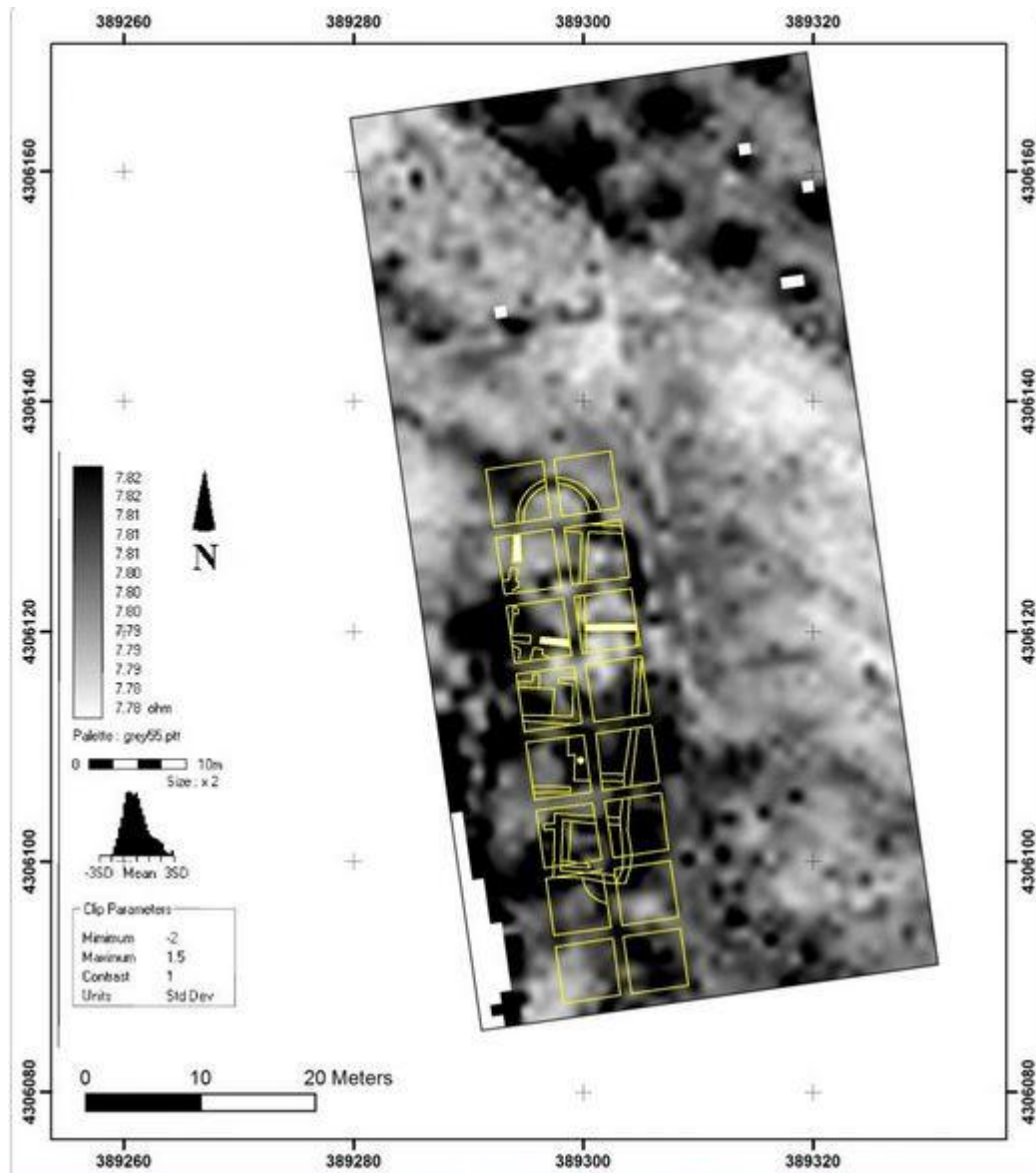
2.7.1. Παραδείγματα Γεωφυσικών Μεθόδων⁵⁷

Ένα παράδειγμα ηλεκτρικής διασκόπησης εφαρμόστηκε στην τοποθεσία κοντά στον Καραβόμυλο της Φθιώτιδας, η οποία εξερευνήθηκε στο πλαίσιο των αρχαιολογικών ερευνών, όταν αρχαιότητες αποκαλύφθηκαν τυχαία κατά τη διάνοιξη της αύλακος του αυτοκινητοδρόμου Αθηνών – Θεσσαλονίκης. Ο χώρος ανήκει στο συγκρότημα του αρχαίου Αχινού, και βρίσκεται κοντά στα ερείπια της αρχαίας ακρόπολης. Το γεωφυσικό αποτέλεσμα δείχνει πολλές ευθύγραμμες ανωμαλίες υψηλών αντιστάσεων, οι οποίες συναρθρώνονται σχηματίζοντας σχήμα το οποίο παραπέμπει σε κάτοψη κτηριακού συγκροτήματος. Επιπλέον, στη βόρεια πλευρά του συστήματος αυτού των ανωμαλιών εμφανίζεται καμπύλη διάταξη των υψηλών αντιστάσεων, πράγμα που αντανάκλα την ύπαρξη αντιστοίχου σχήματος δομής στο υπέδαφος, η οποία ερμηνεύτηκε ως θεμέλιο αψιδωτής κατασκευής. Στην εικόνα 2.11 φαίνεται και η κάτοψη των αρχαιοτήτων που αποκαλύφθηκαν μετά τη γεωφυσική έρευνα και σε υπέρθεση το αποτέλεσμα της διασκόπησης (εικ. 2.12). Τα οικοδομικά λείψανα που

⁵⁶ Σαρρής κ.ά. 1999

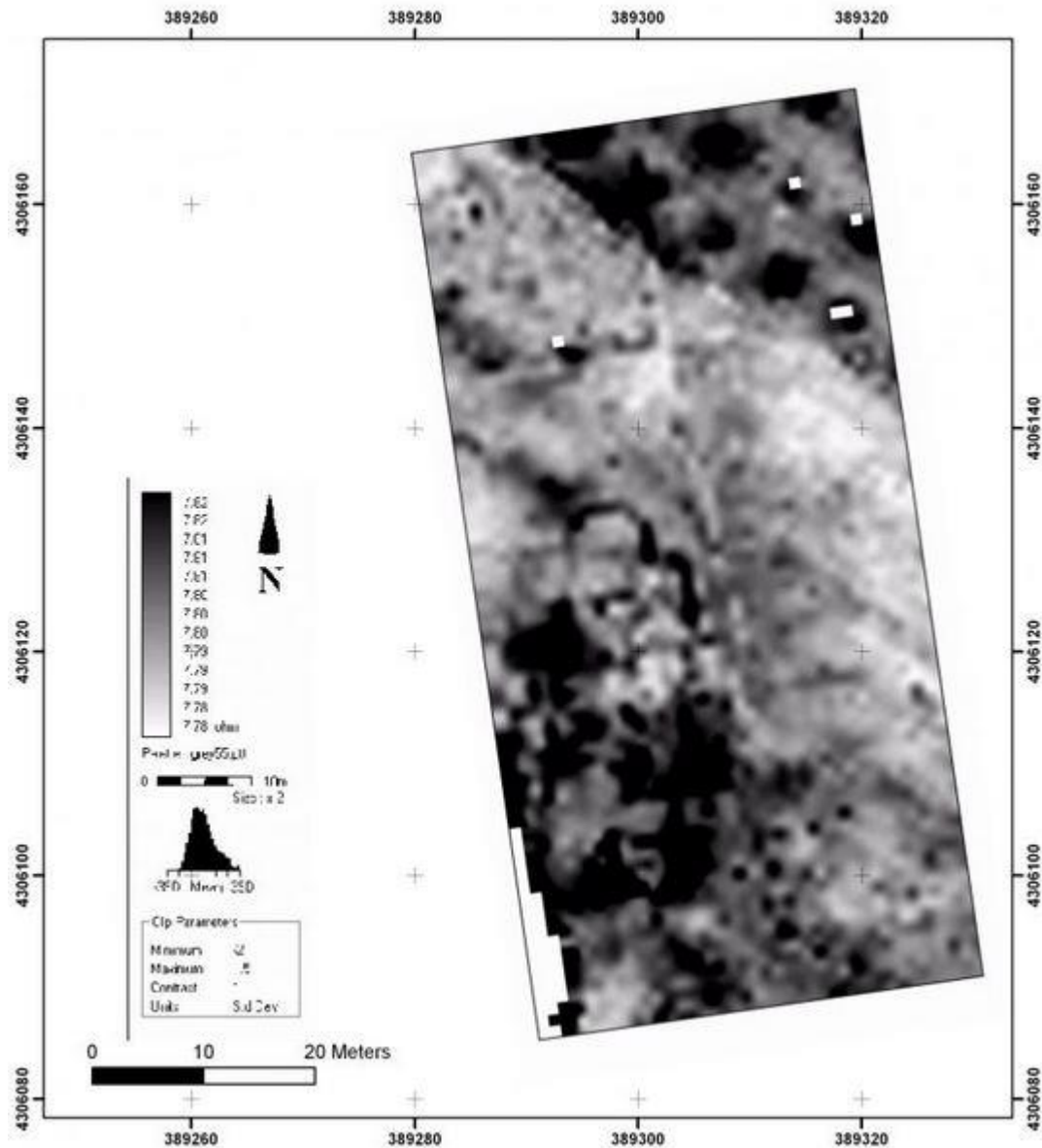
⁵⁷ Τσόκας, Τσούρλος 2017

ήρθαν στο φως από την αρχαιολογική σκαπάνη ανήκουν σ' ένα αρχαίο συγκρότημα λουτρών⁵⁸.



Εικόνα 2.11: Οι αρχαιότητες που αποκαλύφθηκαν βάσει του αποτελέσματος της γεωφυσικής διασκόπησης σε τοποθεσία κοντά στην ακρόπολη του αρχαίου Αχινού, έχουν αποτυπωθεί σε υπέρθεση πάνω σε αυτό. Οι παρειές των σκαμμάτων που διανοίχθηκαν και οικοδομικά λείψανα που αποκαλύφθηκαν μέσα σε αυτά έχουν σχεδιαστεί με κίτρινο χρώμα.

⁵⁸ Τσόκας κ.ά. 2012

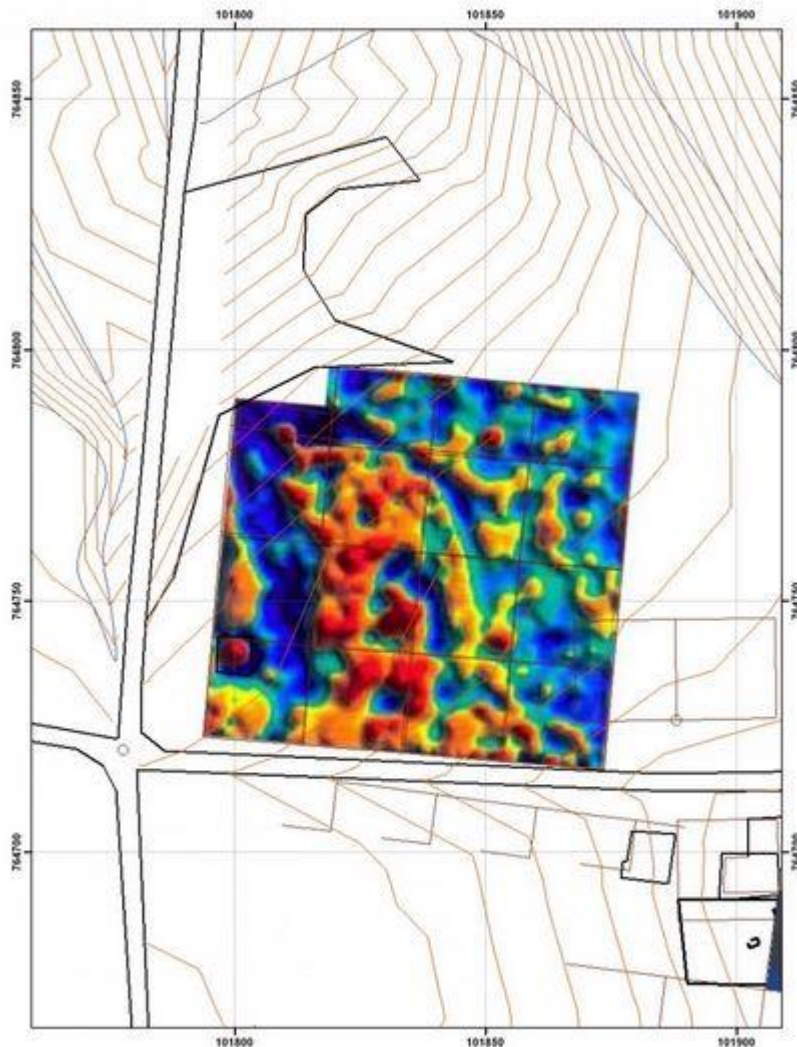


Εικόνα 2.12: Το αποτέλεσμα της γεωφυσικής διασκόπησης με την ηλεκτρική μέθοδο σε τοποθεσία κοντά στην ακρόπολη του αρχαίου Αζινού.

Ένα παράδειγμα μαγνητικής διασκόπησης αφορά στην έρευνα στην Ευρώπη. Στους πρόποδες της τοπογραφικής τράπεζας που κάποτε ορθώνονταν τα τείχη της Μακεδονικής πόλης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του Γήινου μαγνητικού πεδίου. Το πεδίο μετρήθηκε με πολύ ευαίσθητα μαγνητόμετρα ενώ στην συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν διαφορικές μετρήσεις, δηλαδή σε κάθε σημείο του χώρου έγιναν μετρήσεις σε δύο ύψη από την επιφάνεια του εδάφους (πρώτη κατακόρυφη διαφορά). Τα δεδομένα υπέστησαν και μια επιπλέον επεξεργασία για την ανόρθωση του μαγνητικού σήματος⁵⁹. Μεταξύ άλλων, παρατηρείται στην εικόνα

⁵⁹ Tsokas & Papazachos 1992, Tsokas 1993

2.13 μια ιδιαίτερα έντονη ανωμαλία στην κατανομή του μαγνητικού πεδίου στο κάτω και αριστερό τμήμα του σχήματος. Το παραλληλόγραμμο που σχηματίζεται με λεπτές μαύρες γραμμές και περιβάλλει την ανωμαλία παριστά τις παρειές του σκάμματος που διανοίχθηκε για να ερευνηθεί η αιτία της ανωμαλίας. Η ανασκαφή απέδειξε ότι η ισχυρή ανωμαλία οφείλεται στον κλίβανο κεραμοποιίας (2.14). Ο κλίβανος ήταν θαμμένος σε βάθος 0.4 m και η έντονη μαγνητική ανωμαλία που δημιουργεί οφείλεται στην έντονη παραμένουσα και επαγόμενη μαγνήτισή του⁶⁰.



Εικόνα 2.13: Κατανομή της πρώτης κατακόρυφης διαφοράς του μαγνητικού πεδίου σε θέση του αρχαιολογικού χώρου της Ευρωπού.

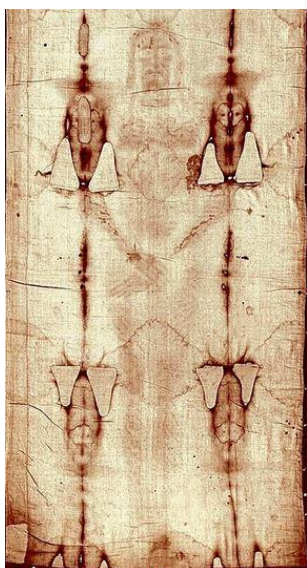
⁶⁰ Tsokas κ.ά. 1994



Εικόνα 2.14: Ο κλίβανος κεραμοποιίας ο οποίος ανακαλύφθηκε μετά από ανασκαφή στο χώρο των ερειπίων της αρχαίας Ευρωπού. Η ανασκαφή κατευθύνθηκε επιλεκτικά στο χώρο που παρουσιάστηκε η έντονη γεωμαγνητική ανωμαλία της εικόνας 2.13.

2.7.2. Αρχαιομετρικές Εφαρμογές και Παραδείγματα

Μία από τις παλαιότερες μεθόδους χρονολόγησης που χρησιμοποιείτο ευρέως στην



Εικόνα 2.15: Η Σινδόνη του Τορίνο πριν την αποκατάσταση του 2002.

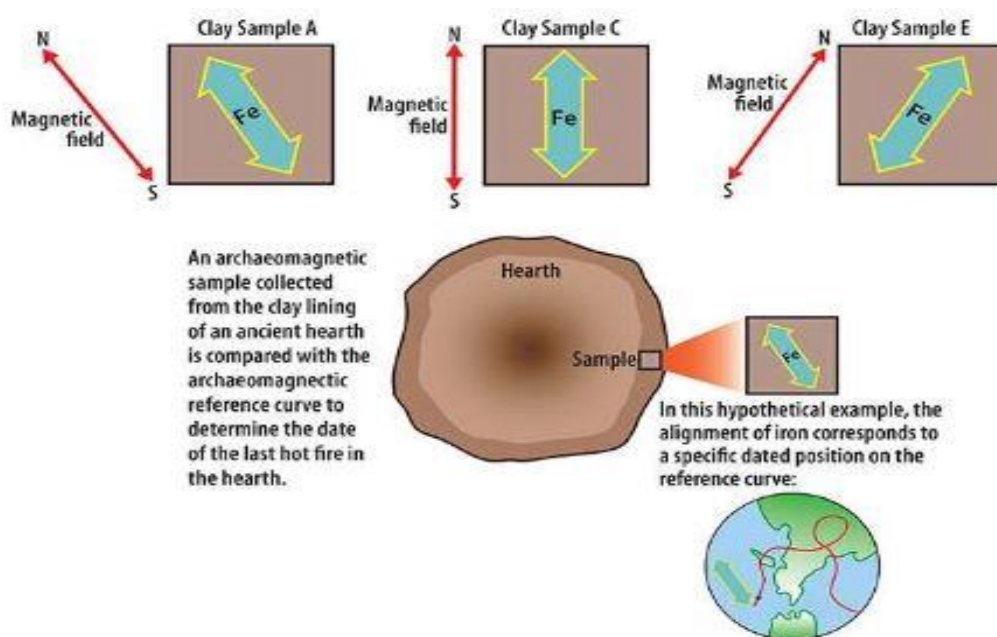
αρχαιολογία είναι η ραδιοχρονολόγηση και ειδικότερα η χρονολόγηση με άνθρακα -14 . Εφαρμόζεται σε ευρήματα οργανικής ύλης και βασίζεται στη σταδιακή μείωση της ποσότητας του $C14$ από τη στιγμή θανάτου ενός έμβιου οργανισμού. Ο $C14$ μειώνεται κατά 50% μετά από 5730 χρόνια (χρόνος ημίσειας ζωής του)⁶¹. Παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια για χρονολόγηση που φτάνει ως τα 50.000 χρόνια.

Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η χρονολόγηση της σινδόνης του Τορίνο (εικ. 2.15). Οι μετρήσεις με την τεχνική του $C14$

⁶¹ Ζαχαριάς 2017α

έδειξαν ότι είναι μεσαιωνικής περιόδου (1260-1390 μ.Χ.) και όχι της εποχής του Χριστού⁶².

Το γήινο μαγνητικό πεδίο διαδραματίζει διάφορους ρόλους στην αρχαιολογική επιστήμη. Ένας από τους οποίους είναι η “αρχαιομαγνητική χρονολόγηση”. Ο αρχαιομαγνητισμός είναι η μελέτη και ερμηνεία των μεταβολών του γεωμαγνητικού πεδίου στο παρελθόν, που αποτυπώνεται σε ψημένα αρχαιολογικά υλικά. Αυτές οι παλαιομαγνητικές μεταβολές γίνονται σε μαγνητικά υλικά τα οποία ψύχονται κάτω από το σημείο Curie (~575°C). Με αυτό τον τρόπο καταγράφεται η μαγνητική ροπή του υλικού στην κατεύθυνση του τοπικού μαγνητικού πεδίου, τη χρονική στιγμή της θέρμανσης του υλικού. Η διεύθυνση (έγκλιση και απόκλιση) και η ένταση του γεωμαγνητικού πεδίου σε συγκεκριμένο τόπο μεταβάλλεται με τον χρόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί η κλίμακα χρονολόγησης υλικών⁶³ (εικ. 2.16).



Εικόνα 2.16: Χρονολόγηση καταλοίπων εστίας. Μέτρηση προσανατολισμού, έγκλιση, απόκλιση μαγνητικού πεδίου.

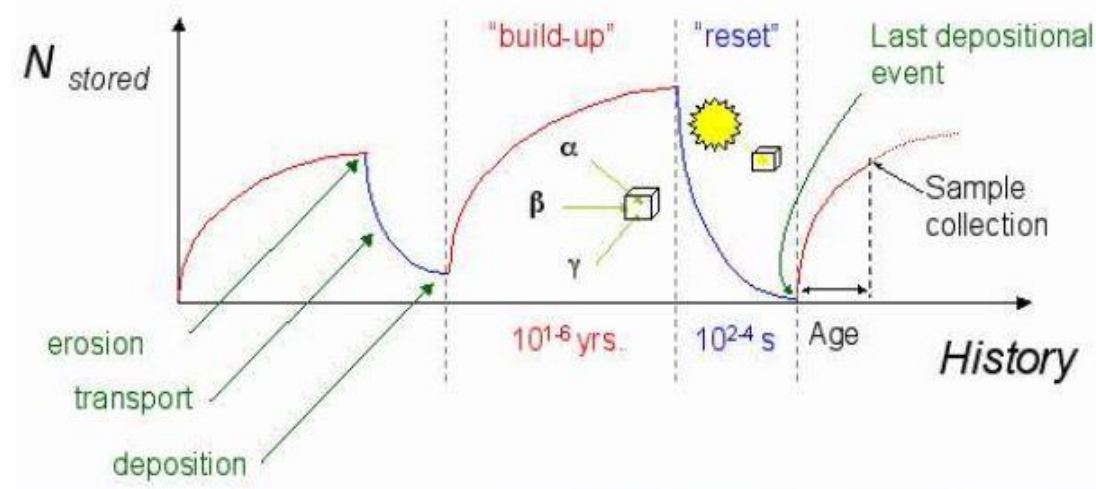
Κατά διαστήματα η πολικότητα του γήινου μαγνητικού πεδίου έχει αντιστραφεί. Η υπογραφή τέτοιων αντιστροφών, έχει καταγραφεί σε ορισμένους τύπους ίζηματογενών και ηφαιστειακών βράχων. Ένα παράδειγμα με τη μέθοδο του

⁶² Damon κ.ά. 1989

⁶³ Λυριτζής 1994

αρχαιομαγνητισμού είναι η χρονολόγηση ενός πλήρους σκελετού ανθρωποειδούς που βρέθηκε στο Sterkfontein στη Νότια Αφρική. Οι μετρήσεις αποκάλυψαν ότι τα υπολείμματα ήταν μεταξύ 3,22 και 3,58 εκατομμυρίων ετών λόγω της θέσης ανάμεσα στα στρώματα του βράχου για τα οποία γνώριζαν τις αντιστροφές πολικότητας που είχαν υποστεί⁶⁴.

Μία άλλη μέθοδος είναι αυτή της φωταύγειας (εικ. 2.17). Η τεχνική στηρίζεται στη μέτρηση της ενέργειας των ηλεκτρονίων που είναι παγιδευμένα στην κρυσταλλική δομή του αρχαιολογικού αντικειμένου. Αυτά τα ηλεκτρόνια έχουν εγκαταλείψει τα άτομά τους με την ακτινοβολία που έχουν δεχθεί από τα ραδιενεργά στοιχεία στο δείγμα ή στο περιβάλλον του δείγματος, και έχουν παγιδευτεί ύστερα στις ατέλειες του δικτυωτού πλέγματος του κρυστάλλου. Τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται από τις παγίδες με τη θέρμανση του δείγματος. Με άλλα λόγια, η θέρμανση επαναρυθμίζει το “ρολόι θερμοφωταύγειας” στο μηδέν και ο αριθμός παγιδευμένων ηλεκτρονίων συναθροίζεται με ρυθμό που ελέγχεται από την τοπική πηγή ακτινοβολίας⁶⁵.



Εικόνα 2.17: Βασικές αρχές χρονολόγησης της φωταύγειας

Το ευπαλίνειο όρυγμα είναι μία σήραγγα που κατασκευάστηκε στο νησί της Σάμου για να χρησιμεύσει ως υδραγωγείο. Η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου έδειξε ότι το όρυγμα χρονολογείται περίπου στο 570 (± 300) π.Χ⁶⁶. Επίσης με τη μέθοδο της φωταύγειας χρονολογήθηκαν δυο πυραμιδοειδή κτίσματα στο νομό Αργολίδας. Οι

⁶⁴ David & Linford 2000

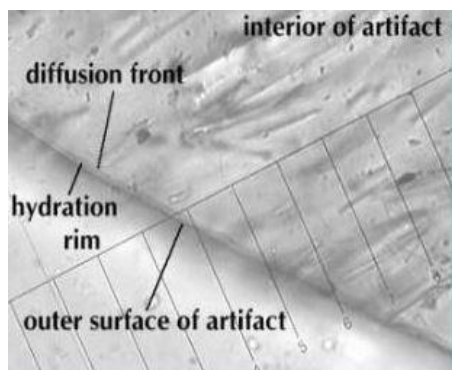
⁶⁵ David & Linford 2000

⁶⁶ Λυριτζής 2007

μετρήσεις έδειξαν ότι η ηλικία των κτισμάτων τοποθετείται περίπου στο τέλος της 3^{ης} χιλιετίας π.Χ.⁶⁷.

Η στοιχειακή χημική ανάλυση των διαφόρων ευρημάτων μπορεί, πέρα από την αποκάλυψη απομιμήσεων, πλαστογραφιών κ.λ.π., να δώσει πληροφορίες για την προέλευση των διαφόρων αντικειμένων και των υλικών κατασκευής. Οι μέθοδοι αναλύσεως πρέπει να είναι ευαίσθητες να παρέχουν μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμού, και να απαιτούν ελάχιστη ποσότητα δείγματος. Η ανάλυση με νετρονική ενεργοποίηση είναι μία από αυτές τις τεχνικές⁶⁸. Μια μικρή ποσότητα δείγματος ακτινοβολείται με μικρή ποσότητα μιας πρότυπης ουσίας με νετρόνια σε αντιδραστήρα. Τα νετρόνια με πυρηνικές αντιδράσεις μετατρέπουν τα ισότοπα των συστατικών στοιχείων του δείγματος στα αντίστοιχα ραδιενεργά τους. Η μέτρηση της ακτινοβολίας αυτών των ραδιενεργών ισότοπων (κυρίως ακτινοβολία-γ) παρέχει τις ποσοτικές πληροφορίες για τη σύσταση του δείγματος.

Με την τεχνική αυτή έγιναν μετρήσεις σε έναν αριθμό από κεκριμπάρνιες χάνδρες που βρέθηκαν στο νεκροταφείο της περιοχής Σίνδου στον νομό Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι αυτό το κεκριμπάρι παρουσιάζει σύσταση παραπλήσια με το κεκριμπάρι της Βαλτικής, παρά με αντίστοιχες ουσίες της περιοχής της Μεσογείου. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα θα μπορούσε να υποστηριχθεί κι η άποψη ότι υπήρχαν εμπορικές σχέσεις με περιοχές της Β. Ευρώπης ήδη από τον 10^ο αι. π.Χ.⁶⁹.



Εικόνα 2.18: Η διάχυση του νερού στον οψιανό.

Η χρονολόγηση αντικειμένων από οψιανό⁷⁰ βασίζεται στο φαινόμενο διάχυσης ύδατος που προέρχεται από το περιβάλλον στο εσωτερικό του οψιανού, σχηματίζοντας έτσι ένα στρώμα μορίων ύδατος. Όσο διαρκεί η διάχυση τόσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία του δείγματος. Η ενυδάτωση εξαρτάται από τον χρόνο διάχυσης, τη θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος ταφής και τη φυσικοχημική δομή⁷¹ (εικ. 2.18).

⁶⁷ Λυριτζής 1998

⁶⁸ Ehmman & Vance 1998

⁶⁹ Kessissoglou κ.ά. 1989

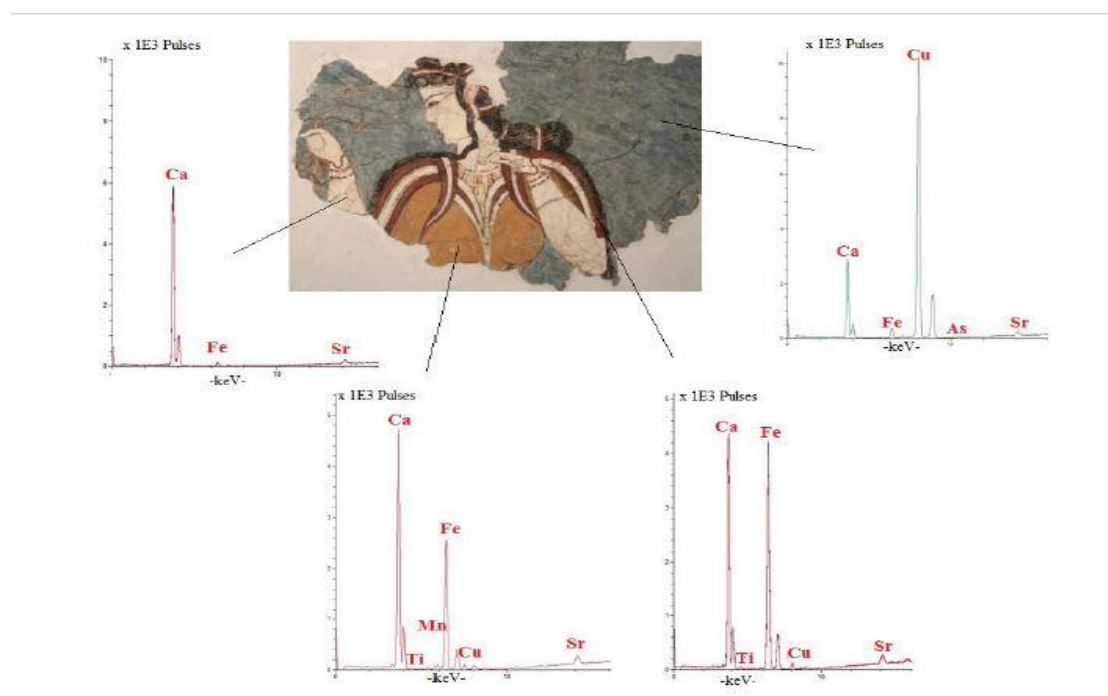
⁷⁰ Πρόκειται για μαύρο ηφαιστειακό γυαλί, το οποίο λόγω της σκληρότητας και της αιχμηρότητάς του χρησιμοποιήθηκε για χιλιετίες στην κατασκευή εργαλείων.

⁷¹ Λυριτζής 1994

Ένα παράδειγμα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η χρονολόγηση ευρημάτων από οψιανό από την αρχαιολογική τοποθεσία Φιλακωπή στο νησί της Μήλου. Η τεχνική έδωσε ηλικίες από 2566 ως 2074 χρόνια π.Χ. Επίσης χρονολογήθηκαν οψιανοί από την αρχαιολογική τοποθεσία Φτελιά Μυκόνου με ηλικίες 5149 ως 4650 χρόνια π.Χ.⁷².

2.7.3. Παράδειγμα Εφαρμογής της Μεθόδου XRF

Η μέθοδος XRF χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση της τοιχογραφίας στο θρησκευτικό κέντρο της ακρόπολης των Μυκηνών, γνωστή ως Μυκηναία (ΥΕ ΙΙΒ, β' μισό 13^{ου} αι. π.Χ.). Η ίδια τοιχογραφία παριστάνει μία θηλυκή μορφή που εκφράζει ένα θεϊκό κύρος. Η ποικιλία των χρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν από τον καλλιτέχνη έχει τα εξής χρώματα: γαλάζιο στο έδαφος, κόκκινο και κίτρινο για το πουκάμισο, μαύρο των μαλλιών και στο περίγραμμα. Στις κορδέλες για τα μαλλιά και το νήμα των περιδεραιών που κρατάει η Μυκηναία προστέθηκε άσπρο χρώμα. Τα φάσματα φθορισμού της τοιχογραφίας φαίνονται στην εικόνα 2.19⁷³. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το φορητό σύστημα XRF της Bruker, Tracer III-V.



Εικόνα 2.19: Φάσματα XRF που ελήφθησαν από τις χρωματικές εντοπώσεις της τοιχογραφίας. Ανάλογα με το χρώμα, παρατηρούνται διαφορετικές εντάσεις των χαρακτηριστικών κορυφών.

⁷² Λυριτζής 1994

⁷³ Cheilakou κ.ά. 2014

Το λευκό χρώμα στην τοιχογραφία παρουσίασε υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο σαν βασικό συστατικό του λευκού χρώματος, δείχνοντας έτσι την ένωση ασβεστίου, ανθρακικού ασβεστίου $[CaCO_3]$, ως μορφή ασβεστίτη. Ο ελάχιστος σίδηρος σχετίζεται με την παρουσία σιδηρούχου ορυκτού στο κονίαμα. Επίσης, αξιοσημείωτη σύσταση σε ασβέστιο παρατηρήθηκε σε όλες τις εξεταζόμενες χρωματικές εκφράσεις της τοιχογραφίας, ενισχύοντας την αποδοχή ότι ο σχηματισμός της εξεταζόμενης τοιχογραφίας περιλάμβανε ανάμειξη των χρωστικών ουσιών με νερό ή ασβεστόνερο και την τοποθέτηση του μείγματος σε νωπό ασβεστοκονίαμα, δηλαδή η τεχνική της νωπογραφίας. Τα φάσματα της *in-situ* XRF στοιχειακής ανάλυσης κόκκινης χρωματικής εντύπωσης της τοιχογραφίας, έδειξαν μεγάλο περιεχόμενο σε σίδηρο ως βασικό συστατικό της χρωστικής που αποδίδει το κόκκινο χρώμα, δηλώνοντας τη χρήση του αιματίτη $[Fe_2O_3]$ για την απόδοση της κόκκινης χρωματικής εντύπωσης⁷⁴.

Το φάσμα της XRF στοιχειακής ανάλυσης της κίτρινης χρωματικής εντύπωσης της τοιχογραφίας, υποδηλώνει ότι ο προσδιορισμός των υψηλών συγκεντρώσεων ασβεστίου οφείλεται στην παρουσία ασβεστιτικών ενώσεων, ενδεχομένως υπό τη μορφή ανθρακικού ασβεστίου $[CaCO_3]$. Η ανίχνευση σημαντικών συγκεντρώσεων σιδήρου υποδεικνύει την παρουσία του ένυδρου οξειδίου του σιδήρου ως κύριου συστατικού της χρωστικής που αποδίδει το κίτρινο χρώμα, πιθανότατα υπό τη μορφή του γκαιτίτη $[FeO(OH)]$ ή του λειμωνίτη $[FeO(OH) \cdot H_2O]$. Με βάση τα φασματοσκοπικά στοιχεία της XRF ανάλυσης για τις μπλε χρωματικές εντυπώσεις, βρέθηκε μεγάλη σύσταση σε χαλκό ως κύριο συστατικό, καθώς και μικρή περιεκτικότητα σιδήρου. Ο χαλκός αποτελεί ισχυρή ένδειξη της χρήσης μιας χρωστικής με κυρίαρχο συστατικό τον χαλκό, όπως είναι ο αζουρίτης $(Cu_3(OH)_2(CO_3)_2)$ ή το αιγυπτιακό μπλε $[CaCuSi_4O_{10}]$ (κουπροριβαΐτης)⁷⁵. Τελικά, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, επαληθεύεται η μέθοδος XRF στον προφανή προσδιορισμό των χρωστικών και της τεχνικής στα αρχαιολογικά έργα ζωγραφικής⁷⁶.

2.7.4. GIS στην Αρχαιολογία

Η επιστήμη της Αρχαιολογίας συγκέντρωσε μεγάλο μέρος του δυναμικού της στην ανάπτυξη της έρευνας και ενσωμάτωσης Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.

⁷⁴ Κούη κ.ά. 2015, 183

⁷⁵ Philippakis κ.ά. 1976

⁷⁶ Κούη κ.ά. 2015, 184

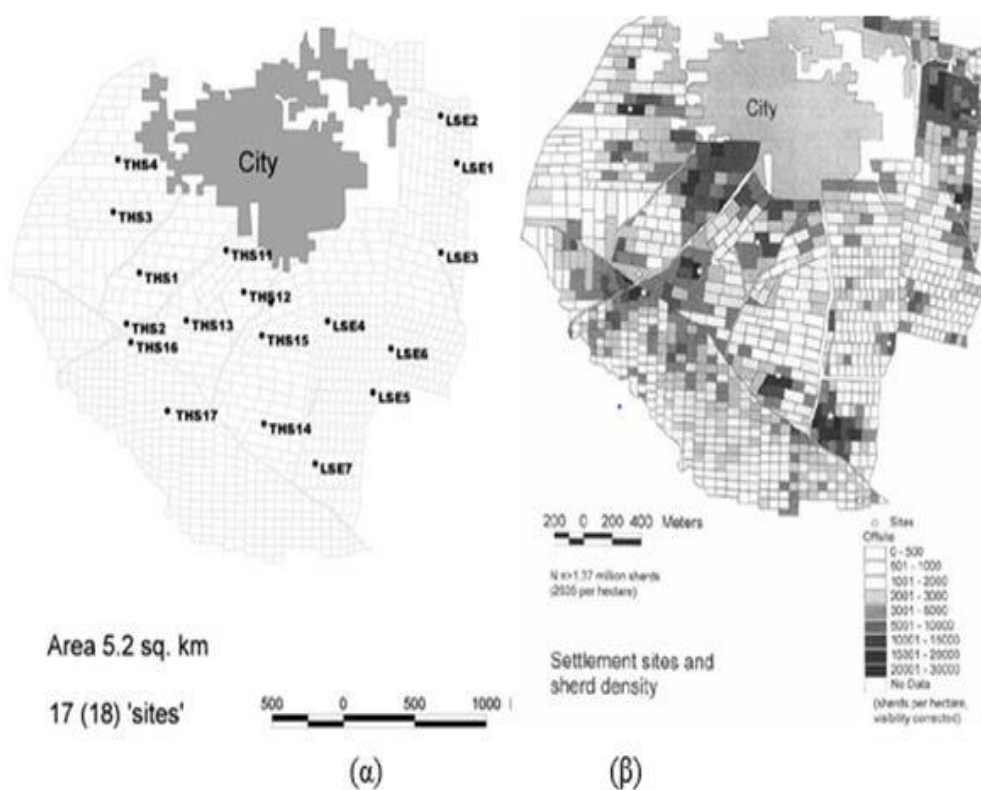
Ο κύριος λόγος της μεγάλης χρησιμοποίησης του GIS στον συγκεκριμένο τομέα είναι η εξορισμού ενασχόληση της επιστήμης με τον χώρο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και την έννοια του χρόνου.

Με τη χρησιμοποίηση του GIS, ανοίγονται στον χώρο, πέρα από την έννοια του χρόνου, ιστορικά γεγονότα, πολιτισμικά σημεία και άλλες πτυχές της αρχαιολογικής επιστήμης και ενασχόλησης. Τα δεδομένα που υπάρχουν σε αυτό το σύστημα, εξαιτίας του μεγάλου όγκου, ορίζουν την μεθοδολογία GIS, ευνοϊκή από οικονομικής άποψης, γρήγορη και με ακρίβεια στις μετρήσεις της. Αυτό συμβαίνει διότι μέσα από αυτή πραγματοποιείται η συλλογή, η αποθήκευση, η μεταχείριση για κάθε πρόβλημα και βέβαια, η παρουσίαση των δεδομένων με τρόπο κατανοητό προς τους χρήστες. Πέρα από αυτές τις παραμέτρους, η κύρια διάσταση της χρησιμοποίησης του GIS στην Αρχαιολογία δεν είναι η ερμηνεία του σαν ένα μέσο εικονοποίησης, αλλά η επιλογή συνδυασμού και επεξήγησης διαφορετικών τύπων πληροφοριών και δεδομένων με στόχο την παραγωγή καινούργιων πληροφοριών, παράγοντας έτσι νέους τρόπους που οι αρχαιολόγοι ορίζουν και ερμηνεύουν τον χώρο του παρελθόντος. Η ικανότητα αυτή του GIS να δημιουργεί μοντέλα και να προσδιορίζει ενδεχόμενους αρχαιολογικούς χώρους, εφαρμόζεται πλέον από οργανισμούς ιδιωτικούς και δημόσιους, που συμμετέχουν σε μεγάλα αρχαιολογικά έργα⁷⁷.

Ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης του GIS στον τομέα της αρχαιολογίας παρουσιάζεται από τον Bintliff. Το παράδειγμα είναι σχετικό με τις αρχαιολογικές επιφάνειες, το ιστορικό χρησιμοποίησης των εδαφών και την ανθρώπινη επιρροή στον γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας. Πραγματοποιείται η καταγραφή των αρχαιολογικών χώρων στην περιοχή των Θεσπιών, συγκεκριμένα στην τωρινή περιοχή Λεοντάρι, χρησιμοποιώντας το GIS στα πλαίσια μιας καινούργιας μεθόδου και με την υποστήριξη των ιστορικών χαρτών (εικ. 2.20). Αναλυτικώς, η μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν αυτή της σάρωσης της περιοχής και της καταγραφής εμπειρικής κλίμακας των κατακερματισμένων δειγμάτων αρχαίου πολιτισμού, υπό την μορφή κομματιών αρχαίων κεραμικών σκευών. Η περιοχή προσδιορίστηκε ως πλούσια, με μετρημένα πάνω από ένα εκατομμύριο τεμάχια στο σύνολο. Η έρευνα έδειξε πως ο μεγαλύτερος αριθμός από αυτά τα κομμάτια προέρχονταν από την Κλασική περίοδο. Επίσης, πολλές μετρήσεις έγιναν και σε τεμάχια από την μεταγενέστερη τούρκικη κατοχή, αλλά και από τα χρόνια της Ελληνιστικής – Ρωμαϊκής εποχής. Η παραπάνω

⁷⁷ Hoffman 2003

παρατήρηση δεν συμβαδίζει με την αρχαιολογική προέλευση των ιστορικών χώρων της περιοχής, που προέρχονται κυρίως από τα τέλη της Ρωμαϊκής εποχής. Αυτό μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από το μέγεθος της πόλης, το οποίο ήταν διπλάσιο κατά την Κλασική περίοδο, συγκριτικά με το μετέπειτα μέγεθός της. Οι πολίτες της εποχής εκείνης είχαν ως συνήθεια να στέλνουν οικιακά και άλλης φύσεως απορρίμματα μέσα σε κεραμικά σκεύη και να τα μεταφέρουν στις αγροτικές εκτάσεις της πόλης, συνήθως σε ξερές κορυφές τοπικών λόφων. Αυτή η διαδικασία, δείχνει πτυχές του πολιτισμού και των συνηθειών των ανθρώπων εκείνης της εποχής. Ταυτόχρονα, στον ίδιο χώρο εντοπίστηκαν σημάδια από παλαιότερες εποχές όπως τα τέλη της Νεολιθικής εποχής, των αρχών της εποχής του Χαλκού, εμπλουτίζοντας έτσι τον οικισμό με ακόμα μεγαλύτερη αρχαιολογική σημασία⁷⁸.



Εικόνα 2.20: (α) Παράδειγμα χάρτη κατανομής των αρχαιολογικών χώρων στη περιοχή των Θεσπιών, που απαρτίζονται από 17 ιστορικούς και πιθανόν έναν (LSE7) προϊστορικό. (β) Αντίστοιχη εικόνα της πυκνότητας εύρεσης αρχαίων κεραμικών στην περιοχή (με λευκές τελείες οι αρχαιολογικοί χώροι).

⁷⁸ Bintliff 2005, 137-144

Το "Nikropolis Project" του Πανεπιστημίου της Βοστώνης απετέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα προγράμματα διεπιστημονικής αρχαιολογικής έρευνας που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα κατά τα τελευταία χρόνια (1991-1994), καλύπτοντας μία έκταση περίπου 800Km² από τον Αμβρακικό κόλπο έως τον ποταμό Λούρο. Σκοπός του προγράμματος ήταν η διερεύνηση των διαχρονικών οικιστικών τάσεων της Ηπείρου και ο ρόλος των περιβαλλοντικών διαφοροποιήσεων και της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών⁷⁹. Η έρευνα συμπεριέλαβε την επεξεργασία ψηφιακών δορυφορικών εικόνων Landsat και SPOT και είχε ως αποτέλεσμα τον εντοπισμό αρκετών Παλαιολιθικών θέσεων με βάση την πολυμετρική στατιστική ανάλυση των φασματικών υπογραφών των γνωστών αρχαιολογικών οικισμών. Τόσο η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων όσο και η μελέτη πυρήνων εδάφους είχαν ως αποτέλεσμα τον καθορισμό της αρχαίας ακτογραμμής κατά την περίοδο του Ολόκαινου. Το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος στόχευε στη συνεξέταση των αποτελεσμάτων των επιφανειακών, γεωφυσικών και γεωλογικών ερευνών και της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων και στην εύρεση των οικιστικών τάσεων που υπήρχαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους⁸⁰. Η έντονη εναλλαγή του αναγλύφου και η μεγάλη έκταση κάλυψης του προγράμματος της Νικόπολης βοήθησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου⁸¹.

⁷⁹ Wiseman 1993

⁸⁰ Stein & Cullen 1993· Sarris κ.ά. 1996· Sarris 1998

⁸¹ Σαρρής κ.ά. 1999

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΤΟ ΙΕΡΟ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ ΣΤΗ ΝΑΞΟ

3.1. Αρχαιολογία της Νάξου

Η Νάξος είναι το μεγαλύτερο και πιο εύφορο νησί των Κυκλάδων. Η κεντρική γεωγραφική της θέση στο Αιγαίο, η μορφολογία της και ο φυσικός της πλούτος καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξή της στο πέρασμα του χρόνου. Οι αρχαιολογικές έρευνες επιβεβαιώνουν την ανθρώπινη παρουσία ήδη από την Ύστερη

Νεολιθική εποχή (4500- 3000 π.Χ.) στις θέσεις Σπηλιά του Ζα και Κοκκινόβραχο⁸².

Κατά την πρώιμη εποχή του Χαλκού (3200-2000 π.Χ.) παρατηρείται μία αύξηση του πληθυσμού, γεγονός που συμπεραίνεται από τον αριθμό των νεκροταφείων που βρέθηκαν, τα οποία αποτελούν και την κύρια πηγή πληροφοριών για τη Νάξο της πρωτοκυκλαδικής περιόδου⁸³. Ευρήματα όπως μαρμάρινα ειδώλια, κοσμήματα, χάλκινα και λίθινα εργαλεία, όπλα και σφραγίδες μαρτυρούν μία έντονη πολιτισμική ανάπτυξη. Προς το τέλος της πρώιμης Χαλκοκρατίας, η ίδρυση ακροπόλεων όπως στη θέση Σπεδού και η ενίσχυση της οχύρωσης άλλων θέσεων (Πάνορμος, Καστράκι, Μικρή Βίγλα, Ριζοκαστελλιά) υποδηλώνει ένα



Εικόνα 3.1: Χάρτης της Νάξου με σημειωμένες τις θέσεις αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.

αίσθημα ανασφάλειας και όχι ιδιαίτερα ειρηνικές συνθήκες. Γι' αυτό τον λόγο κατά τη Μέση Εποχή του Χαλκού (2000-1500 π.Χ.) έχουμε μία μείωση των οικιστικών θέσεων, κυρίως στα παράλια που είναι πιο ευπρόσβλητα σε εξωτερικές επιθέσεις⁸⁴ (εικ. 3.1).

Η εικόνα αυτή θα ανατραπεί κατά την ακόλουθη Ύστερη Εποχή του Χαλκού (1500-1100 π.Χ.). Σταδιακά και κυρίως από τον 14^ο και 13^ο αι. π.Χ. έχουμε αύξηση και συγκέντρωση του πληθυσμού σε μεγαλύτερους οικισμούς, με κυρίαρχο αστικό κέντρο τη Γρόττα, η οποία μετά από μία περίοδο μεγάλης ακμής θα καταστραφεί γύρω στο 1250-1225 π.Χ. από σεισμό ή άλλη αιτία. Στη θέση της κτίζεται μια νέα

⁸² Φιλανιώτου 2005, 272

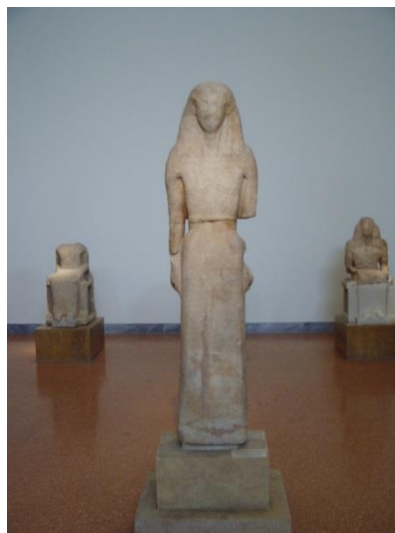
⁸³ Σηριζόμαστε κυρίως στα ταφικά δεδομένα καθώς από τις οικιστικές θέσεις δεν επιβιώνουν αρκετά κατάλοιπα λόγω της συνεχούς χρήσης τους σε μεταγενέστερες περιόδους.

⁸⁴ Φιλανιώτου 2005, 272-276

πόλη αλλά προς το τέλος της περιόδου, ως συνακόλουθο της κατάρρευσης των μυκηναϊκών ανακτόρων στην ηπειρωτική Ελλάδα και των ταραχών που αυτή επέφερε, ο πληθυσμός εγκαταλείπει τα παράλια και συγκεντρώνεται στην ακρόπολη του Κάστρου⁸⁵.

Κατά τους δύσκολους χρόνους που ακολούθησαν, η Νάξος λόγω της προνομιακής της θέσης, δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τη γενικότερη τάση οικονομικής και πολιτειακής συρρίκνωσης που παρατηρείται σε άλλες περιοχές. Η μυκηναϊκή ακρόπολη του Κάστρου συνεχίζει να κατοικείται, ενώ από τον 9^ο αι. π.Χ. η περιοχή της παραλίας που είχε εγκαταλειφθεί κατά την προγενέστερη περίοδο, μετατρέπεται σε χώρο ταφικής χρήσεως. Προς το τέλος του 8^{ου} αι. π.Χ. οι τάφοι των προγόνων καλύπτονται από έναν τύμβο, πράξη που μαζί με τα κατάλοιπα του μυκηναϊκού τείχους θα αποτελέσουν τον συνδυαστικό κρίκο για τη μετάβαση από τον μυκηναϊκό οικισμό στην πόλη-κράτος των ιστορικών χρόνων⁸⁶.

Παρά το μεγάλο της μέγεθος, στη Νάξο θα διαμορφωθεί μία πόλη-κράτος, με το άστυ στη θέση της σημερινής πόλης και την ύπαιθρο χώρα να εξαπλώνεται στο υπόλοιπο νησί. Από τον 7^ο αι. π.Χ. και πιο συγκεκριμένα από το 650-550 π.Χ. η Νάξος θα γνωρίσει μεγάλη ακμή ως αποτέλεσμα του πλούτου που θα εισρεύσει από την εκμετάλλευση των λατομείων μαρμάρου. Παρατηρείται μεγάλη άνθηση στις τέχνες, κυρίως στη μνημειακή πλαστική και αρχιτεκτονική. Περίφημα έργα όπως ο Απόλλων των Ναξίων και η Άρτεμις της Νικάνδρης στη Δήλο (εικ. 3.2), καθώς και ο ημίεργος Διόνυσος στον Απόλλωνα της Νάξου (εικ. 3.3) προέρχονται από αυτή την περίοδο και μαρτυρούν το μεγαλείο της ναξιακής τέχνης.



Εικόνα 3.2: Η κόρη της Ναξίας Νικάνδρης, 660 π.Χ. (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο).

⁸⁵ Φιλανιώτου 2005, 276-277

⁸⁶ Λαμπρινουδάκης 2005, 279



Εικόνα 3.3: Ημίεργο άγαλμα Διονύσου ύψους 10,5 μ. στα λατομεία του Απόλλωνα, περ. 540 π.Χ.

Η πρωτοπορία των Ναξίων τεχνιτών όμως θα φανεί ακόμα περισσότερο στον τομέα της αρχιτεκτονικής καθώς εδώ θα αναπτυχθεί η μεγάλη μαρμάρινη ιωνική αρχιτεκτονική. Στο ιερό του Διονύσου στα Ύρια, οι τέσσερις διαδοχικοί ναοί (800-550 π.Χ.) μαρτυρούν το πέρασμα σε σταδιακά όλο και πιο σύνθετες αρχιτεκτονικές μορφές, ενώ στο ιερό της Δήμητρας στον Γύρουλα κοντά στο χωριό Σαγκρί (525 π.Χ.) παρατηρούμε αρχιτεκτονικά στοιχεία (μεγάλα θυρώματα, εκλεπτύνσεις των καμπυλοτήτων, οπτική αύξηση του εσωτερικού χώρου με την εφαρμογή δικλινούς στέγης-οροφής) που αργότερα θα επικρατήσουν στην κλασική αττική αρχιτεκτονική⁸⁷.

Κατά τα μέσα του 6^{ου} αι. π.Χ. ο Λύγδαμης, ένας τοπικός ευγενής, εκμεταλλεύεται τη δυσарέσκεια των φτωχότερων στρωμάτων της υπαίθρου και καταλαμβάνει την εξουσία ως τύραννος, θέση που θα διατηρήσει ως το 524 π.Χ. Την περίοδο αυτή θα

⁸⁷ Λαμπρινουδάκης 2005, 282

ξεκινήσει η κατασκευή του ναού του Δηλίου Απόλλωνα στα Παλάτια (εικ. 3.4) καθώς και του ναού της Δήμητρας που προαναφέρθηκε. Το μεγάλο τεχνικό έργο του υδραγωγείου, το οποίο μετέφερε το νερό των Μελάνων στην πόλη της Νάξου, κατασκευάζεται είτε επί Λύγδαμη ή την περίοδο που ακολουθεί όταν στο νησί εγκαθίσταται δημοκρατικό πολίτευμα.



Εικόνα 3.4: Τα ερείπια του ναού του Δηλίου Απόλλωνα στα Παλάτια.

Καθόλη τη διάρκεια των χρόνων αυτών η ευημερία του νησιού κλυδωνίζεται και το 490 π.Χ. όταν θα επιτεθούν οι Πέρσες θα καταστρέψουν εντελώς την πόλη και τα ιερά της και θα εξανδραποδίσουν τους κατοίκους. Το 479 π.Χ. θα προσχωρήσει στη Συμμαχία της Δήλου, αλλά λόγω της καταπιεστικής συμπεριφοράς των Αθηναίων θα επαναστατήσει το 473/2 π.Χ. ανεπιτυχώς με αποτέλεσμα την υποδούλωση από τους Αθηναίους και την εγκατάσταση Αθηναίων κληρούχων στο νησί. Μετά την ήττα των Αθηναίων στον Πελονησιακό Πόλεμο το 404 π.Χ. η Νάξος περνάει στην κυριαρχία των Σπαρτιατών, εξέλιξη που δεν βελτίωσε καθόλου τις συνθήκες διαβίωσης των

κατοίκων. Τελικά το 378/7 π.Χ. όταν οι Σπαρτιάτες θα ηττηθούν, οι Αθηναίοι θα ξαναγίνουν κυρίαρχοι του νησιού. Μία βραχύβια ακμή θα σημειωθεί το 315 π.Χ. όταν η Νάξος θα προσχωρήσει στο Κοινό των Νησιωτών. Κατά τους τελευταίους χρόνους της αρχαιότητας, η Νάξος δεν θα βρει ξανά την ανεξαρτησία της, περνώντας διαδοχικά στην κυριαρχία των Πτολεμαίων της Αιγύπτου, των Μακεδόνων και της Ρόδου. Μετά τη ρωμαϊκή κατάκτηση θα περιληφθεί στην επαρχία των νησιών με έδρα τη Ρόδο και θα αποτελέσει συχνά τόπο εξορίας⁸⁸.

3.2. Το ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί

Το Σαγκρί βρίσκεται 11 χλμ. νοτιοανατολικά της Χώρας της Νάξου, κοντά στο κέντρο του νησιού. Στην κορυφή του Γύρουλα, ένα ύψωμα που προβάλλει στην εύφορη κοιλάδα ανάμεσα στο Σαγκρί και τη νοτιοανατολική παραλία του νησιού βρισκόταν το εκκλησάκι του Αγίου Ιωάννη, κατασκευασμένο από αρχαίο υλικό. Εκεί εντόπισε το 1949 ο Νικόλαος Κοντολέων τα κατάλοιπα ενός αρχαίου ιερού. Οι ανασκαφικές έρευνες που διεξήγαγε το 1954 έφεραν στο φως έναν μαρμάρινο ναό του 6^{ου} αι. π.Χ.⁸⁹ Οι ανασκαφές στη θέση αυτή συνεχίστηκαν αρκετά αργότερα, από το 1976-1995, από τον Βασίλειο Λαμπρινουδάκη σε συνεργασία με την Πολυτεχνική Σχολή του Μονάχου και τους αρχιτέκτονες M. Κορρέ, G. Gruben και A. Ohnesorg σε ένα πρόγραμμα της Αρχαιολογικής Εταιρείας. Οι έρευνες αυτές δεν περιορίστηκαν μόνο στο χώρο του ναού αλλά επεκτάθηκαν και στη γύρω περιοχή⁹⁰, με αποτελέσματα τόσο σημαντικά ώστε να καταστεί δυνατή η αναστήλωση του ναού και η ανάδειξη του αρχαιολογικού χώρου.

Τα πρωιμότερα ευρήματα, ένας πέλεκυς από οψιανό του 5300-3200 π.Χ. και τμήμα μαρμάρινου πρωτοκυκλαδικού τριβείου, είναι μεμονωμένα και δεν πρέπει να σχετίζονται με ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή⁹¹. Λεπίδες οψιανού και λιγοστή κεραμική καταδεικνύουν την ανθρώπινη δραστηριότητα από την τελευταία φάση της μυκηναϊκής περιόδου (ΥΕ III Γ, 1200-1050 π.Χ.), ίσως και την πρωτογεωμετρική

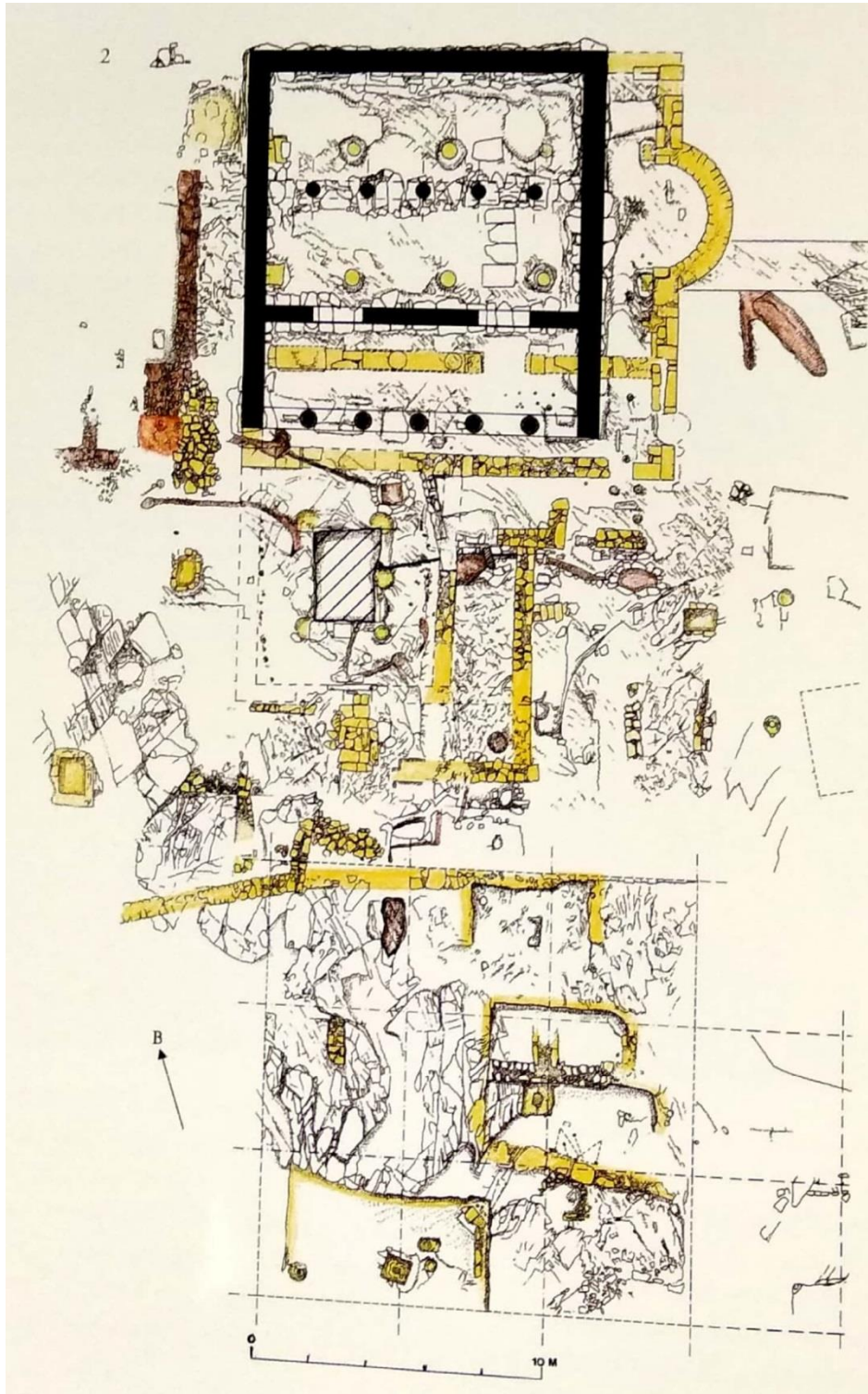
⁸⁸ Λαμπρινουδάκης 2005, 284-285

⁸⁹ Κοντολέων 1954, 330-338

⁹⁰ Λαμπρινουδάκης κ.α. 1976, 299-308· 1977, 382-388· 1978, 215-218· 1979, 252-258· 1981, 295-296· 1982, 257-259· 1983, 297-298· 1984, 305-312· 1985, 157-161· 1991, 266-271

⁹¹ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 27

περίοδο (1050-900 π.Χ.)⁹². Ωστόσο δεν μπορούμε να μιλήσουμε ακόμα για λατρευτική χρήση του χώρου, γεγονός που θα συμβεί γύρω στο 800 π.Χ.



Εικόνα 3.5: Σχέδιο κάτοψης των κατασκευών διαφόρων φάσεων στον Γύρουλα.

Καφέ: 800-530 π.Χ.

Μαύρο: 530-4ος αι. μ.Χ.

Κίτρινο: 6ος-8ος αι. μ.Χ.

⁹² Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 27

Κατά την πρώιμη αυτή περίοδο η λατρεία ήταν υπαίθρια και μπορούμε να διακρίνουμε δύο ειδών πρακτικές. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται συστήματα



Εικόνα 3.6: Συστήματα διδύμων λάκκων που ενώνονται με αυλάκι για υγρές προσφορές σε θεότητες.

διδύμων λάκκων λαξευμένων στο βράχο και συνδεομένων μέσω μίας αυλάκας με προσανατολισμό ανατολή-δύση (εικ.3.6). Πιθανόν προορίζονταν για την εναπόθεση διαφόρων φυτών και τροφών ως αναθήματα σε χθόνιες θεότητες με στόχο την εξασφάλιση της γονιμότητας της γης⁹³. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μια σειρά από επίπεδες βαθύνσεις που διατάσσονται σε ελλειψοειδές σχήμα γύρω από έναν τετράπλευρο βόθρο μπροστά από τον αρχαϊκό ναό.

Ενδεχομένως εδώ πρόκειται για κατάλοιπα κάποιου είδους φράχτη ή καλύβας που θα χρησιμοποιείτο για λατρευτικές πρακτικές μυστικού περιεχομένου ή για διανυκτέρευση⁹⁴. Οι προαναφερθείσες ιεροπραξίες ταιριάζουν περισσότερο σε θεότητες χθόνιου χαρακτήρα που δεν μπορεί παρά να είναι η Δήμητρα και η Κόρη, των οποίων τα ονόματα μαρτυρούνται επιγραφικά σε βάσεις αγαλμάτων προερχόμενες από τον περιβάλλοντα χώρο του ιερού⁹⁵.

Από την περίοδο αυτή της υπαίθριας λατρείας έχουμε διάφορα ευρήματα που επιβεβαιώνουν τη λατρευτική πρακτική. Αφενός έχει ανευρεθεί χαρακτηριστική ναξιακή κεραμική κυρίως από ανοιχτά αλλά και από κλειστά σχήματα αγγείων καθώς και κομμάτια μεγάλων ανάγλυφων αγγείων⁹⁶. Αφ' ετέρου από τον 7^ο αι. το ιερό φαίνεται να διακοσμείται με μαρμάρινα αναθήματα και συγκεκριμένα κιονίσκους διαφόρων μεγεθών, περιρραντήρια και δύο αποσπασματικά σωζόμενους κούρους. Ένας από τους κιονίσκους θεωρείται ότι επιστεφόταν με μία σφίγγα και αποτελεί το πρωιμότερο παράδειγμα μαρμάρινου ιωνικού κionoκράνου⁹⁷. Τα ευρήματα αυτά βρίσκονται στο μουσείο του αρχαιολογικού χώρου αλλά δυστυχώς η κατάσταση διατήρησής τους δεν είναι ιδιαίτερα καλή.

⁹³ Lambrinoudakis 2001, 16, 21 υπ. 27

⁹⁴ Lambrinoudakis 2001, 16

⁹⁵ Λαμπρινουδάκης 1979, 252-253

⁹⁶ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 27

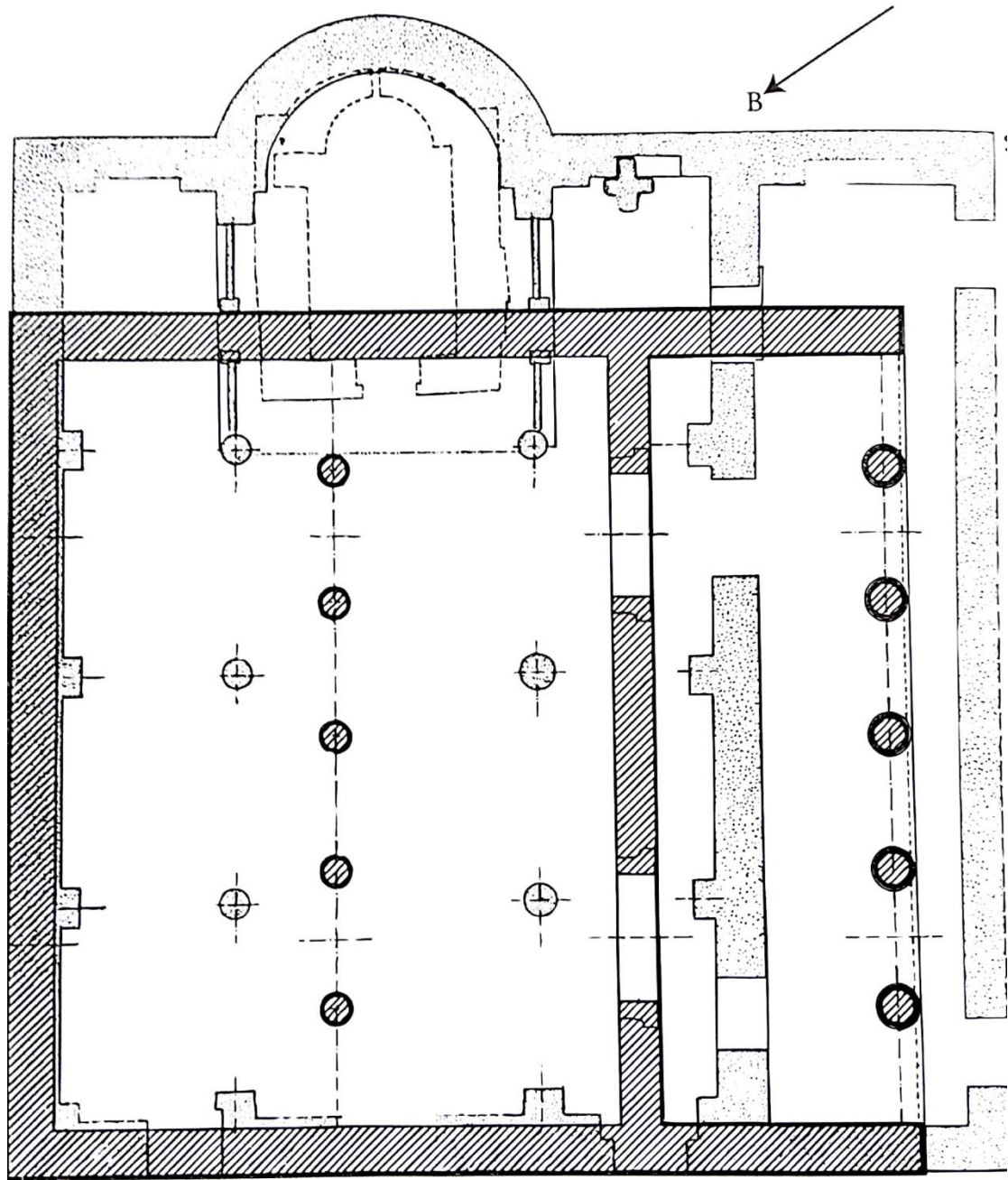
⁹⁷ Gruben 1989, 161-172

Η επόμενη φάση του ιερού ανάγεται στον ύστερο 6^ο αι. π.Χ., την περίοδο της τυραννίας του Λύγδαμη, όταν γύρω στο 530 π.Χ. κατασκευάζεται ο μαρμάρινος ναός. Φαίνεται πως κατά την κατασκευή του ναού λήφθηκε υπόψη και η προγενέστερη υπαίθρια λατρεία, καθώς η δυτική γωνία της πρόσοψης θεμελιώθηκε πάνω σε έναν από τους δίδυμους λάκκους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η λεπτομέρεια αυτή δείχνει να εξυπηρετεί την καθιέρωση του ίδιου του ναϊκού οικοδομήματος⁹⁸.

Ο ναός έχει σχεδόν τετράγωνη κάτοψη, διαστάσεων 12,60 x 13,18 μ. και αποτελείται από πρόναο και σηκό. Η πρόσοψή του βλέπει προς νότο σε αντίθεση με τη συνήθη πρακτική να βλέπουν οι ναοί ανατολικά, με πέντε κίονες εν παραστάσι. Η μετάβαση στο σηκό γίνεται μέσω δύο θυρωμάτων που αντιστοιχούν στους άξονες του πρώτου και του τέταρτου μετακίονιου διαστήματος. Ο σηκός χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη με πέντε κίονες διατεταγμένους εγκάρσια στην είσοδο του ναού (εικ. 3.7). Αυτή η περίεργη αρχιτεκτονική μορφή δείχνει ότι ο χώρος προοριζόταν για θρησκευτικές συγκεντρώσεις και πομπές, αντίθετα με τον κανόνα, σύμφωνα με τον οποίο ο σηκός ήταν ο οίκος του λατρευτικού αγάλματος της εκάστοτε θεότητας⁹⁹.

⁹⁸ Lambrinouidakis 2002, 12-14

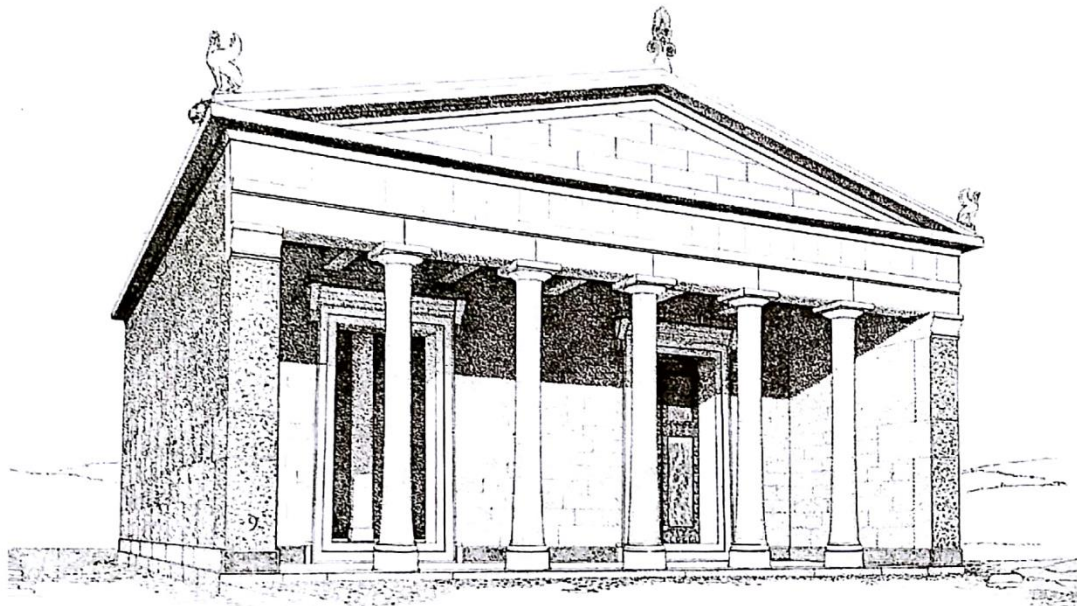
⁹⁹ Gruben 2001, 15



Εικόνα 3.7: Η κάτοψη του αρχαϊκού ναού (με διαγράμμιση), η κάτοψη της παλαιοχριστιανικής βασιλικής (με στίξη) και η κάτοψη του ναυδρίου του Αγ.Ιωάννου (λευκή).

Από τη θεμελίωση μέχρι την κεράμωση ο ναός είναι εξολοκλήρου κατασκευασμένος από μάρμαρο. Η ευθυντηρία βρίσκεται απευθείας στο φυσικό έδαφος το οποίο θα είχε λειανθεί κατάλληλα. Έπειτα ακολουθεί ο τοιχοβάτης όπου εδράζονται οι εξωτερικοί τοίχοι. Οι κίονες της πρόσοψης εδράζονται και αυτοί στο ίδιο στρώμα που όμως εδώ ονομάζεται στυλοβάτης, αποτελούνται από ιωνική βάση, αράβδωτο κορμό και από

ένα ιδιόμορφο κιονόκρανο που μοιάζει με το δωρικό. Ωστόσο ο εχίνος τους καμπυλώνει πρώτα προς τα μέσα και μετά προς τα έξω και έφερε γραπτή διακόσμηση από στεφάνι φύλλων. Αντίστοιχο ήταν και το επίκρανο των παραστάδων. Ακολουθεί το επιστύλιο πάνω από το οποίο βρίσκεται ένα επίπεδο. Η χρήση του στρώματος αυτού εξυπηρετούσε την κάλυψη των οριζόντιων δοκών της στέγης και πιθανότατα έφερε γραπτή διακόσμηση αποτελώντας έτσι τον πρόδρομο της ανάγλυφης ζωφόρου όπως για παράδειγμα στον Θησαυρό των Σιφνίων στους Δελφούς¹⁰⁰. Μετά την παρέμβαση του γείσου, που περιτρέχει όλες τις πλευρές του ναού, ακολουθούν στη βόρεια και στη νότια πλευρά τα αετώματα τα οποία επιστέφονται στις γωνίες με ακρωτήρια. Τα κεντρικά είχαν μορφή ανθεμίου ενώ τα γωνιακά αποκαθίστανται υποθετικά ως σφίγγες (εικ. 3.8).



Εικόνα 3.8: Σχεδιαστική αποκατάσταση του αρχαϊκού ναού του Γόρουλα Σαγκρίου Νάξου.

Οι τοίχοι του προνάου στο εσωτερικό, σε αντίθεση με το εξωτερικό που είχαν μία έντονα τραχεία επιφάνεια, είχαν λειανθεί με μία στρώση μαραμαροκονιάματος και ήταν εν μέρει χρωματισμένοι, όπως φαίνεται από θραύσματα κονιάματος ερυθρού και μπλε χρώματος που έχουν βρεθεί¹⁰¹. Οι δύο ξύλινες θύρες ήταν πλαισιωμένες από μνημειακά θυρώματα καθένα από τα οποία έφερε τη δική του διακοσμητική ζωφόρο

¹⁰⁰ Gruben 2001, 18

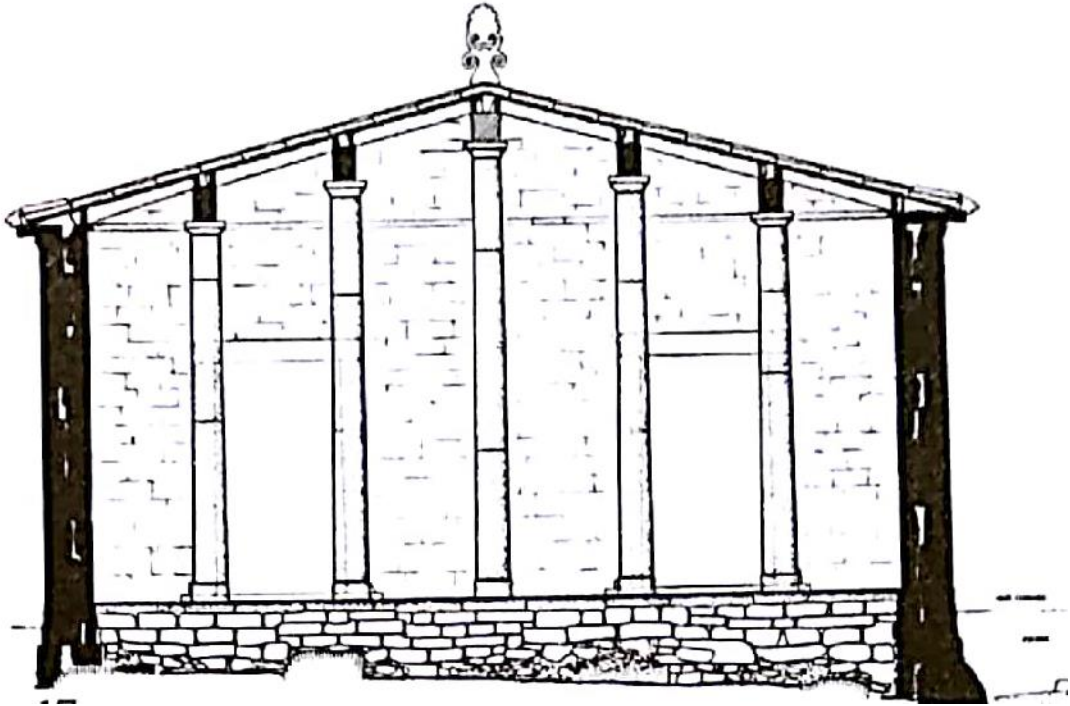
¹⁰¹ Gruben 2001, 18

με γείσο, κάτι το οποίο βλέπουμε και στον Οίκο των Ναξίων στους Δελφούς. Η οροφή του προνάου είναι η παλαιότερη μέχρι στιγμής στον ελλαδικό χώρο φτιαγμένη εξολοκλήρου από μάρμαρο. Επτά μαρμάρινες δοκοί μήκους περίπου τεσσάρων μέτρων έφταναν από το επιστύλιο της πρόσοψης ως τον θυραίο τοίχο. Οι δοκοί αυτές στο άνω τους μέρος έφεραν γραπτή διακόσμηση από κυμάτιο με σειρά φύλλων και κάθε μία ήταν κατά δύο εκατοστά ελαφρά καμπυλωμένη προς τα πάνω. Τα κενά μεταξύ των δοκών καλύπτονταν από μικρότερες κάθετες δοκούς και μαρμάρινες πλάκες. Αντίστοιχη κατασκευή παρατηρείται και στην ανατολική πτέρυγα των Προπυλαίων της Ακρόπολης.

Αντίθετα με τον πρόναο, ο σηκός παρουσιάζει μία λιγότερο επιμελημένη κατασκευή. Οι τοίχοι είχαν έντονα αδρό χαρακτήρα και δεν έφεραν κονίαμα. Παράλληλα στην επιφάνειά τους εξείχαν μεμονωμένοι μεγαλύτεροι εγκάρσιοι λίθοι. Το πάτωμα καλυπτόταν απλώς από μία στρώση πηλού. Ωστόσο αυτή η προχειρότητα πρέπει να ήταν σκόπιμη ώστε ο χώρος να δίνει την εντύπωση σπηλαίου και να συμβαδίζει με τον μυστηριακό χαρακτήρα της λατρείας¹⁰². Η δίρριχτη στέγη στηρίζεται μέσω μαρμάρινων δοκών στους πέντε ανισοϋψείς κίονες του σηκού, οι οποίοι, όπως είδαμε και παραπάνω, ήταν εγκάρσια διατεταγμένοι στο χώρο, με τον μεσαίο και υψηλότερο να φτάνει τα 6,46 μ. και τους δύο πλευρικούς τα 5,40 μ. (εικ. 3.9). Στις δοκούς αυτές εδράζονταν, όπως και στον πρόναο, μικρότερες δοκίδες και ακολουθούσαν τα μαρμάρινα κεραμίδια τα οποία καθώς είχαν πάχος 2-4 εκ. άφηναν το φως να τα διαπερνά. Έτσι εντεινόταν ακόμη περισσότερο η μυστικιστική ατμόσφαιρα στο χώρο¹⁰³.

¹⁰² Gruben 2001, 19

¹⁰³ Gruben 2000, 375



Εικόνα 3.9: Αρχαϊκός ναός Γύρουλα. Τομή κατά πλάτος (άξονας Α.-Α.)

Τα ιδιαίτερα αυτά αρχιτεκτονικά στοιχεία οδηγούν σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη λατρευτική χρήση του κτηρίου. Ο σηκός με επιφάνεια περίπου 100 τ.μ. και τα δύο θυραία ανοίγματα φαίνεται να συνδέονται με τη διεξαγωγή πομπών και συγκεντρώσεις πλήθους. Επίσης, η σπηλαιώδης μορφή μαζί με τους αδρά δουλεμένους εξωτερικούς τοίχους παραπέμπουν στη συνδεδεμένη με τη φύση λατρεία της Δήμητρας και της Κόρης και επομένως μπορούμε να χαρακτηρίσουμε αυτό το κτήριο ως Τελεστήριο¹⁰⁴. Σε αντίθεση με το Τελεστήριο της Ελευσίνας όπου το φως έμπαινε στο χώρο μέσα από έναν φωταγωγό, εδώ ερχόταν πολύ φυσικότερα μέσα από τα διαφώτιστα κεραμίδια αποτελώντας έτσι την κορύφωση των νυχτερινών τελετών που είχαν προηγηθεί¹⁰⁵.

¹⁰⁴ Gruben 2001, 20

¹⁰⁵ Gruben 2001, 20

Ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι έχουν βρεθεί αρκετές επιγραφές που αναφέρουν το όνομα του θεού Απόλλωνα. Πρόκειται για ένα περιφραγμένο και για γλυπτά αφιερώματα πάνω σε κιονίσκους, ένα εκ των οποίων ανάγεται στη περίοδο της υπαίθριας λατρείας. Αυτή η κοινή λατρεία της χθόνιας Δήμητρας και του θεού του φωτός Απόλλωνα φαίνεται εκ πρώτης όψεως ιδιαίτερα περίεργη. Κατά τον Β. Λαμπρινουδάκη η πιθανότερη ερμηνεία βρίσκεται στην πρώιμη κοινωνική ιστορία της Νάξου. Όπως προαναφέρθηκε, η Νάξος αποτελούσε μία πόλη-κράτος με το αστικό κέντρο στη Χώρα και τον αγροτικό πληθυσμό διασκορπισμένο στο υπόλοιπο νησί. Οι δύο αυτές ομάδες πολιτών είχαν ισχυρές συγκρούσεις συμφερόντων. Στη κοιλάδα του Σαγκριού έχουν εντοπιστεί τα λείψανα πέντε κωμών οι οποίες είχαν ως κοινό κέντρο την αγροτική λατρεία του Γύρουλα. Την περίοδο των συγκρούσεων με τους ισχυρούς του αστικού κέντρου, οι οποίοι πρόβαλλαν την ευγένεια της καταγωγής ως δικαίωμα για υπεροχή, οι αγροτικοί πληθυσμοί ίσως να βρήκαν

στήριγμα στη λατρεία του Απόλλωνα του οποίου το ιερό στη Δήλο με τη συμμετοχή πολλών ιωνικών πόλεων δημιουργούσε το πρότυπο μιας περισσότερο ανεκτικής στο διαφορετικό κοινωνίας¹⁰⁶.



Εικόνα 3.10: Μικρογραφικές τροχήλατες υδρίες (ύστερος 5^{ος} αι.- 4^{ος} αι. π.Χ.)

Στον τομέα της κεραμικής αυτής της περιόδου τα ευρήματα είναι ιδιαίτερα φτωχά. Τα αγγεία είναι σχεδόν αποκλειστικά εισηγμένα κυρίως από ανατολικά ελληνικά εργαστήρια αλλά και από την Αττική. Η σπανιότητα αυτή αρχαϊκών κεραμικών ευρημάτων παρατηρείται και στα άλλα ναξιακά ιερά του 6^{ου} αι. π.Χ. (Υρια και Παλάτια)¹⁰⁷. Κατά τον 5^ο αι. π.Χ. οι εισαγωγές συνεχίζονται με τα αττικά αγγεία να υπερτερούν. Προς το τέλος του 5^{ου} και κυρίως από τον 4^ο αι. π.Χ. επανεμφανίζεται η εγχώρια παραγωγή με χαρακτηριστικό σχήμα τις μικρογραφικές

τροχήλατες υδρίες (εικ.3.10). Τα αγγεία αυτά βοήθησαν στην ταύτιση της λατρείας στο ιερό του Γύρουλα με την Δήμητρα, καθώς είναι πανομοιότυπες με αυτές που

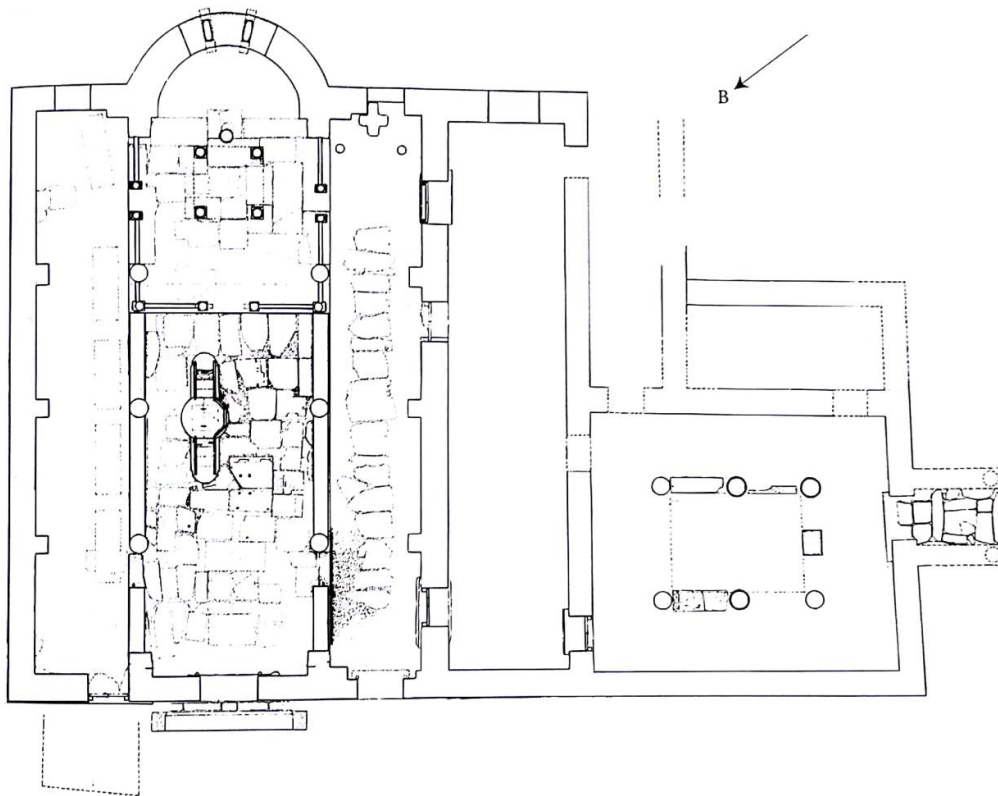
¹⁰⁶ Λαμπρινουδάκης 2001, 11-12

¹⁰⁷ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 28

βρέθηκαν στην πόλη της Νάξου οι οποίες είχαν βοηθήσει στην ταύτιση του ιερού της Δήμητρας στα νότια της Χώρας¹⁰⁸.

Όπως δείχνουν τα αναθήματα το ιερό αρχίζει να παρακμάζει από τον 3^ο αι. π.Χ. Υπάρχουν μάλιστα και ενδείξεις για την κατάρρευση τμημάτων του κτηρίου κατά τη διάρκεια των αυτοκρατορικών χρόνων και ίσως σε αυτή τη περίοδο να επαναχρησιμοποιούνται οι λάκκοι των γεωμετρικών χρόνων που τώρα είναι επιχρισμένοι με κονίαμα¹⁰⁹.

Τον 5^ο αι. θα αρχίσει να μετατρέπεται ο αρχαίος ναός σε χώρο λατρείας του χριστιανισμού¹¹⁰. Αρχικά τα μετακίονια διαστήματα του προναού, με εξαίρεση το τέταρτο από ανατολικά που θα παρέμενε για να εξυπηρετήσει την είσοδο στο κτήριο, θα καλυφθούν με τοίχους, μετατρέποντας έτσι τον πρόναο του ναού σε νάρθηκα της εκκλησίας.



Εικόνα 3.11: Η κάτοψη της τρίκλιτης βασιλικής με τον νάρθηκα και το αίθριο.

¹⁰⁸ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 28-29

¹⁰⁹ Λαμπρινουδάκης 2001, 13

¹¹⁰ Η χρονολόγηση προκύπτει από την τεχνολογική ανάλυση των θωρακίων της μεταγενέστερης βασιλικής που φαίνεται να ανάγονται στους χρόνους αυτούς (Lambrinouidakis κ.α. 2002, 399).

Στη συνέχεια στη δυτική πλευρά προστέθηκε ένας στεγασμένος χώρος ως νέος νάρθηκας καθώς και νέες είσοδοι στους αρχαίους τοίχους προς το εσωτερικό της εκκλησίας. Ο σηκός και ο πρόναος του αρχαίου κτηρίου αποτελούν πλέον έναν ενιαίο σύνθετο τρίκλιτο χώρο μέσω της εξάλειψης τμημάτων του τοίχου μεταξύ των αρχαίων θυρωμάτων. Είναι επίσης πολύ πιθανόν ότι ο ανατολικός τοίχος μετατράπηκε σε ημικυκλική αψίδα ώστε να λειτουργήσει ως ιερό βήμα¹¹¹. Σε αυτή τη φάση αποκαθίσταται και η ύπαρξη πρεσβυτερίου στο χώρο του μεσαίου κλίτους βάση οικοδομικών ιχνών της νότιας και της κύριας πλευράς ενός χαμηλού μαρμάρινου φράγματος¹¹² (εικ. 3.11).

Η επόμενη φάση του ιερού θα συντελεστεί μάλλον προς τα μέσα του 6^{ου} αι. μ.Χ.¹¹³ Αυτή θα είναι και η πιο καταστροφική για το αρχαίο οικοδόμημα. Με την εξαίρεση τμημάτων του βόρειου και του νότιου τοίχου, όλο το υπόλοιπο κτήριο θα αποδομηθεί για να χρησιμεύσει ως οικοδομικό υλικό για την κατασκευή της κανονικής πλέον τρίκλιτης βασιλικής. Το νέο κτίσμα είναι ελαφρώς στενότερο και μακρύτερο από το αρχαίο. Η αψίδα στα ανατολικά διατηρείται μέχρι και σήμερα στο κατώτερο τμήμα της. Τα τρία κλίτη ορίζονται από δύο παράλληλες σειρές τριών κίωνων οι οποίοι κατασκευάστηκαν από τους σπονδύλους των αρχαίων. Ως επιστύλια χρησιμοποιούνται οι δοκοί του προνάου και τέσσερις από εκείνες του σηκού, ενώ οι υπόλοιπες καλύπτουν το πλάτος του μεσαίου και των πλευρικών κλιτών. Το μεσαίο κλίτος ήταν υπερυψωμένο και έφερε παράθυρα όπως αποδεικνύεται από τα κατάλοιπα μαρμάρινων ημικίωνων¹¹⁴. Στα νότια της βασιλικής εκτεινόταν ο νάρθηκας καθώς επίσης και ένα αίθριο με εσωτερικό περιστύλιο και κεντρική δεξαμενή και μερικά βοηθητικά κτίσματα.

Χαμηλές κατασκευές μεταξύ των κίωνων χωρίζουν το μεσαίο κλίτος από τα πλευρικά αφήνοντας μόνο δυο ανοίγματα επικοινωνίας. Το δάπεδο του μεσαίου κλίτους στο οποίο είχε χρησιμοποιηθεί οικοδομικό υλικό από τον αρχαϊκό ναό, βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με τα πλαϊνά. Στην ανατολική πλευρά του νότιου

¹¹¹ Κορρές 2001, 22

¹¹² Κορρές 2001, 22

¹¹³ Η χρονολόγηση αυτή δεν είναι βέβαιη και στηρίζεται στην εύρεση ενός νομίσματος των χρόνων του αυτοκράτορα Ιουστινιανού στον νότιο τοίχο του κτηρίου (Κορρές 2001, 26).

¹¹⁴ Σήμερα βρίσκονται στο μουσείο του «Αρχαιολογικού Πάρκου» του Γύρουλα.

κλίτους βρισκόταν μία μικρή σταυρόσχημη κολυμπήθρα, ενώ στο μεσαίο κλίτος κοντά στη βόρεια κιονοστοιχία υπήρχε ένας μαρμάρινος άμβωνας¹¹⁵.

Το ιερό βήμα καταλαμβάνει ένα αρκετά μεγάλο τμήμα του κεντρικού κλίτους και η επιφάνειά του φτάνει περίπου τα 30 τ.μ. Ο διαχωρισμός του γίνεται μέσω τεσσάρων κιονίσκων που εδράζονται σε πεσσούς, στη δυτική πλευρά του πρεσβυτερίου, με χαμηλά αμφίγλυφα θωράκια στα μεταξύ τους διαστήματα εκτός από το κεντρικό που παρέμενε ανοιχτό για την είσοδο. Οι άλλες πλευρές λόγω της ένταξης των στα μετακίονια του κτηρίου διαθέτουν μόνο δύο κιονίσκους επί πεσσών με μικρότερο μήκους θωράκια στα μεταξύ τους διαστήματα. Στο εσωτερικό του πρεσβυτερίου υπήρχε ένα κιβώριο του οποίου η ύπαρξη συνάγεται από κατάλοιπα στο δάπεδο και πολυάριθμα θραύσματα¹¹⁶.

Όπως φαίνεται από την ανευρεθείσα κεραμεική, η οποία αυξάνεται εντυπωσιακά κατά τους πρωτοβυζαντινούς χρόνους (4^{ος} έως 7^{ος} αι.) και είναι κατά κύριο λόγο χρηστική, στο χώρο γύρω από το ιερό πρέπει να είχε εγκατασταθεί ένας σημαντικός αριθμός ανθρώπων¹¹⁷. Στα νότια του ναού αποκαλύφθηκαν μάλιστα και κάποιοι χώροι οι οποίοι λειτούργησαν ως εργαστηριακοί, όπως προκύπτει από την εύρεση κεραμικών κλιβάνων και μητρών για λύχνους. Ευρήματα όπως χάλκινες απολήξεις ξύλινων αδραχτιών υποδεικνύουν την επεξεργασία του μαλλιού αιγοπροβάτων, ενώ θραύσματα από πήλινες κυψέλες δείχνουν ότι ανθούσε η παραγωγή μελιού. Τέλος έχουν ανευρεθεί και εξαρτήματα ενδυμάτων όπως χάλκινες πόρπες για ζώνες, κάποιες από τις οποίες υποδηλώνουν σλαβική παρουσία στον ελλαδικό χώρο (7^{ος} αι.)¹¹⁸.

Κατά τον ύστερο 7^ο και πρώιμο 8^ο αι. φαίνεται να αρχίζει η παρακμή του χώρου¹¹⁹. Ήδη από τις αρχές του 10^{ου} αι. αρχίζει η χρήση οικοδομικού υλικού από τη βασιλική σε άλλα κτίσματα της περιοχής. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η εκκλησία είχε ήδη εγκαταλειφθεί πιθανότατα λόγω των αραβικών επιδρομών¹²⁰. Αιώνες αργότερα στη θέση του πρεσβυτερίου θα χτιστεί η μικρή εκκλησία του Αγ. Ιωάννη, η οποία το 1977

¹¹⁵ Κορρές 2001, 25

¹¹⁶ Κορρές 2001, 26

¹¹⁷ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 29

¹¹⁸ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 30-31

¹¹⁹ Σημαντώνη-Μπουρνιά 2001, 31

¹²⁰ Κορρές 2001, 26

θα μεταφερθεί και θα ανοικοδομηθεί μερικά μέτρα νοτιότερα της αρχικής της θέσης, επιτρέποντας έτσι την ανάδειξη των προγενέστερων κτισμάτων (εικ. 3.12).



Εικόνα 3.12: Αποψη του αναστηλωμένου αρχαϊκού ναού και του Αγ. Ιωάννη του Γύρουλα στη νέα του θέση.

3.3. Η ανάδειξη του αρχαιολογικού χώρου

Το 1994 εντάχθηκαν η αναστήλωση και ανάδειξη του χώρου σε πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Αθηνών για την ανάδειξη των αρχαιολογικών χώρων της Νάξου, που χρηματοδοτήθηκε μέσω του Ειδικού Λογαριασμού Έρευνας του Πανεπιστημίου από το Υπουργείο Αιγαίου¹²¹. Επιστημονικοί υπεύθυνοι ήταν οι αρχαιολόγοι Β. Λαμπρινουδάκης, Ευ. Σημαντώνη-Μπουρνιά και οι αρχιτέκτονες G. Gruben, Μ. Κορρές, Ae. Ohnesorg, Θ. Μπιλής και Μ. Μαγνήσαλη. Στα τελευταία στάδια του έργου εντάχθηκε και η αρχαιολόγος Α. Σφυρόερα. Στόχος του προγράμματος ήταν η ανάδειξη τόσο του αρχαϊκού ναού όσο και της βασιλικής του 6^{ου} αι. μ.Χ. με σεβασμό στις διεθνείς διακηρύξεις και αρχές της διαχείρισης των μνημείων (Χάρτα Βενετίας, αρχή αναστρεψιμότητας κ.ά)¹²². Ο στόχος αυτός υλοποιήθηκε με την ανάδειξη των αλληλοτεμνόμενων αξόνων τους (βορράς-νότος για τον αρχαϊκό ναό, ανατολή-δύση για την βασιλική)¹²³.

¹²¹ Λαμπρινουδάκης 2001, 9

¹²² Μπιλής-Μαγνήσαλη 2001, 33

¹²³ Μπιλής-Μαγνήσαλη 2001, 34

Από την περίοδο του αρχαϊκού ναού προβλήθηκε η σχέση της ανατολικής θύρας με τη γειτονική παραστάδα και το αντίστοιχο μέρος της κιονοστοιχίας της πρόστασης και τμήματος των τοίχων καθώς σε αυτή την πλευρά το αρχαίο υλικό ήταν καλύτερα διατηρημένο. Έτσι αναστηλώθηκαν η νοτιοανατολική παραστάδα μέχρι το ύψος του κυματίου των επιστυλίων, η ανατολική θύρα, δύο πλήρεις κίονες, τμήματα των



Εικόνα 3.13: Ο αναστηλωμένος αρχαϊκός ναός από ΝΑ.

τοίχων και των εσωτερικών κίωνων (εικ. 3.13). Το ποσοστό του αρχαίου υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην αναστήλωση είναι περίπου 65%, ενώ όπου χρειάστηκε σύγχρονο υλικό χρησιμοποιήθηκε τοπικό

μάρμαρο. Από τη βασιλική συντηρήθηκαν οι τοίχοι και αποκαταστάθηκαν στα σημεία εκείνα, από όπου αποσπάστηκαν μέλη για την αναστήλωση της αρχαϊκής φάσης. Θεωρήθηκε επίσης πρόπον να διατηρηθούν *in situ* η κόγχη και τα κατώφλια της, για αυτό και δεν αναστηλώθηκε ο δυτικός τοίχος του ναού¹²⁴.

Εκτός από το μνημείο διαμορφώθηκε κατάλληλα και ο ευρύτερος αρχαιολογικός χώρος αποκτώντας το χαρακτήρα αρχαιολογικού πάρκου ώστε η επίσκεψη να έχει πλέον και βιωματικό περιεχόμενο (ψυχαγωγία, οικολογία, εκπαίδευση). Ωστόσο οι νέες κατασκευές δεν μπήκαν αυθαίρετα στο χώρο αλλά εντάχθηκαν υπό το πρίσμα των ακόλουθων αρχών:

- η ένταξη με την έννοια της ενσωμάτωσης στην ενότητα τοπίου-μνημείου
- η ενσυνείδητη πειθαρχία στην απλότητα της διάρθρωσης των όγκων
- η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός
- η επιδίωξη προσαρμογής στη μικροκλίμακα του τοπίου¹²⁵.

Παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν στο έργο λόγω της συνύπαρξης του αρχαϊκού ναού και της βασιλικής και της αναχρησιμοποίησης μελών του ναού στο κτήριο της βασιλικής, το τελικό αποτέλεσμα ανταποκρίθηκε στους αρχικούς στόχους. Το μνημείο πλέον είναι πιο προσιτό και κατανοητό στον μέσο επισκέπτη. Επίσης, με αφορμή την αναστήλωση δόθηκε ευκαιρία για την μελέτη και ερμηνεία διαφόρων ερωτημάτων σχετικών με την ερείπωση του μνημείου μεταξύ των δύο οικοδομικών

¹²⁴ Μπιλής-Μαγνήσαλη 2001, 32-34

¹²⁵ Μπιλής-Μαγνήσαλη 2001, 35-36

φάσεων, την κατασκευή, τη διάταξη των λίθων σε στρώσεις και τη μορφή συγκεκριμένων μελών¹²⁶. Σήμερα, η χρήση των νέων τεχνολογικών μεθόδων μπορεί να συμβάλει καίρια στην περαιτέρω μελέτη και κατανόηση του σπουδαίου αυτού μνημείου.

¹²⁶ Μπιλής-Μαγνήσαλη 2001, 35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΝΑΟ ΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΑΣ

4.1. Εργασίες Πεδίου

Στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας απαραίτητη προϋπόθεση αποτέλεσε η συλλογή, διάθεση και μετέπειτα επεξεργασία, στο εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στοιχείων και μετρήσεων με στόχο την ολοκληρωμένη καταγραφή και γεωμετρική τεκμηρίωση του υπό μελέτη ναού της Δήμητρας στο Σαγκρί της Νάξου. Τα πρωτογενή δεδομένα συνέλεξε η επιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών στο πλαίσιο μεταπτυχιακής εργασίας¹²⁷. Όσα στοιχεία δεν υπέστησαν επεξεργασία στο πλαίσιο της ανωτέρω εργασίας παραχωρήθηκαν αποκλειστικά για την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης αιώτερος σκοπός είναι η παρουσίαση της κατάστασης του μνημείου τη χρονική στιγμή της τεκμηρίωσης και η παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου του ναού με υφή, με τη χρήση σύγχρονων λογισμικών καθώς και η παραγωγή ορθοφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης.

Τα προς επεξεργασία δεδομένα προέκυψαν από τις απαραίτητες εργασίες πεδίου οι οποίες και πραγματοποιήθηκαν στον αρχαιολογικό χώρο του ναού, στη νήσο Νάξο, σε χρόνο αρκετά προγενέστερο από την περίοδο εκπόνησης της παρούσας διατριβής (Μάιος 2017).

Οι εργασίες πεδίου πραγματοποιήθηκαν τηρώντας συγκεκριμένο και προσεκτικά σχεδιασμένο χρονοδιάγραμμα με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού και τα παρελκόμενα αυτού, που διέθεσαν το εργαστήριο Φωτογραμμετρίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Οι εργασίες αφορούσαν συνδυασμό σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης (τοπογραφικές μετρήσεις, φωτογραμμετρικές μέθοδοι και σαρώσεις με επίγειο σαρωτή laser), επιτόπιες καταγραφές, παρατήρηση και φωτογράφιση του μνημείου. Ο συνδυασμός αυτών κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμος, καθώς επιτυγχάνεται η επικύρωση των μετρήσεων, η κάλυψη αδυναμιών κάποιας εκ των μεθόδων και τελικά η ελαχιστοποίηση του σφάλματος.

¹²⁷ Στεφάνου Α. Β. 2018

Ειδικότερα τον εξοπλισμό απαρτίζουν:

- Φωτογραφική μηχανή CANON EOS 1DS DSLR (fullframe, 24mm lens) (εικ. 4.1)
- Total Station TOPCON 3003 (εικ. 4.2)
- Laser Scanner FARO 3D 330X (εικ. 4.3)
- Παρελκόμενα εξοπλισμού (τρίποδες, κατάφωτα) (εικ. 4.4).



Εικόνα 4.1: Φωτογραφική μηχανή



Εικόνα 4.2: Ολοκληρωμένος Γεωδαιτικός Σταθμός



Εικόνα 4.3: Σαρωτής λέιζερ



Εικόνα 4.4: Κατάφωτο και τρίποδας

Η πρώτη μέρα στο πεδίο αφορούσε στην αναγνώριση και φωτογραφική τεκμηρίωση του μνημείου και του περιβάλλοντα χώρου. Η πρωταρχική αυτή φάση είναι ουσιαστικής σημασίας καθώς επιτυγχάνεται η βέλτιστη αντίληψη του χώρου, εντοπίζονται οι λεπτομέρειες και οι ιδιομορφίες του αντικειμένου ώστε να γίνει κατανοητή η κατάλληλη τοποθέτηση του εξοπλισμού και των στόχων που θα τοποθετούνταν σε συγκεκριμένα σημεία εντός και εκτός του ναού.

Αφού πρωτίστως έγινε αναγνωριστική περιήγηση στο χώρο, πραγματοποιήθηκε περιμετρική φωτογράφιση του ναού με συγκλίνοντες τους άξονες της φωτογραφικής

μηχανής. Η μετέπειτα επεξεργασία και γεωαναφορά των εικόνων αυτών θα οδηγήσει στη γεωμετρική τεκμηρίωση του μνημείου.

Η σειρά λήψεων που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Φωτογράφιση βόρειου τοίχου του ναού (εικ. 4.5).

Φωτογράφιση εξωτερικής πλευράς ανατολικού τοίχου του σηκού (εικ. 4.6).

Φωτογράφιση πίσω όψης των δύο εισόδων (εικ. 4.7).

Φωτογράφιση ανατολικού τοίχου προνάου (εικ. 4.8).

Φωτογράφιση δύο πυλών από τη νότια πλευρά (εικ. 4.9).

Φωτογράφιση κιόνων προνάου (εικ. 4.10).

Φωτογράφιση εσωτερικής πλευράς ανατολικού τοίχου του σηκού (εικ. 4.11).



Εικόνα 4.5: Τμήμα του βόρειου τοίχου από το εσωτερικό του ναού



Εικόνα 4.6: Η εξωτερική πλευρά του ανατολικού τοίχου του σηκού



Εικόνα 4.7: Άποψη των δυο θρωμάτων του ναού



Εικόνα 4.8: Τμήμα του ανατολικού τοίχου του προνάου



Εικόνα 4.9: Η νότια πλευρά του ναού



Εικόνα 4.10: Οι κίονες του προνάου



Εικόνα 4.11: Η εσωτερική πλευρά του ανατολικού τοίχου του σηκού

Επόμενο στάδιο των εργασιών, αφού μελετήθηκε το μνημείο και προγραμματίστηκαν οι λήψεις και οι σαρώσεις, αποτέλεσε η ίδρυση του πολυγωνομετρικού δικτύου περιμετρικά του μνημείου, σε ορθογώνια διάταξη για τη γεωαναφορά των εικόνων

λήψης και τον ορισμό των επιπέδων τομής. Η τοπογραφική αποτύπωση ουσιαστικά αποβλέπει στη σύνταξη ενός τοπογραφικού σχεδίου στο οποίο θα απεικονίζεται σε ορθή προβολή και υπό ενιαία κλίμακα το προς αποτύπωση μνημείο.

Το ιδρυθέν δίκτυο δεν είναι ενταγμένο σε κάποιο σύστημα αναφοράς, αλλά σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα, δεδομένου ότι δεν υπήρχε ανάγκη γεωγραφικού εντοπισμού ή/και συσχέτισης του μνημείου με άλλα έργα. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύστημα που ορίζεται από ένα οριζόντιο επίπεδο που θεωρείται ότι εφάπτεται στο κέντρο της περιοχής αποτύπωσης και είναι κάθετο στην κατακόρυφο στο σημείο αυτό. Σε αυτό προβάλλονται όλα τα σημεία που ορίζουν την περιοχή αποτύπωσης. Στο επίπεδο αυτό ορίζεται ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων X, Y με αυθαίρετη αρχή, αυθαίρετο προσανατολισμό καθώς και αρχικές συντεταγμένες X_0, Y_0 . Το υψόμετρο Z που αφορά στην τρίτη διάσταση του συστήματος, μετριέται σε άξονα κάθετο στο επίπεδο αυτό με αυθαίρετη τιμή.

Για την ίδρυση του δικτύου στην περιοχή μελέτης ορίστηκαν τέσσερις στάσεις στο έδαφος με σιδερένια πασσαλάκια, ένα για κάθε στάση. Οι στάσεις, που ορίζονται με τον λατινικό αριθμό “S”, αριθμήθηκαν με διαδοχική σειρά S_1-S_4 . Βασική προϋπόθεση για την επιλογή των στάσεων του δικτύου, ήταν η αμοιβαία ορατότητα μεταξύ προηγούμενης και επόμενης στάσης, ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο κλειστό δίκτυο. Σε κάθε στάση, δηλαδή, στην οποία στήθηκε το όργανο και από την οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις κάθε φορά, υπήρχε οπτική επαφή και δυνατότητα στόχευσης, τόσο με την προηγούμενη αυτής όσο και με την επόμενη (π.χ S_1 με S_2 και S_4 κ.ο.κ.). Παράλληλα, η επιλογή της θέσης και του αριθμού των κορυφών εξαρτήθηκε από το μέγεθος, το σχήμα, την πολυπλοκότητα και προσβασιμότητα του μνημείου.

Με τον ορισμό του δικτύου και τη δημιουργία κατάλληλου σκαριφήματος με ορισμένες τις θέσεις των S_1-S_4 ως προς τον ναό, επόμενο βήμα ήταν η λήψη μετρήσεων των συντεταγμένων όλων των σημείων και φωτοσταθερών και εν συνεχεία η επίλυση της όδευσης.

Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση σύγχρονου γεωδαιτικού σταθμού (total station), όργανο το οποίο μετράει οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες καθώς και την κεκλιμένη απόσταση μεταξύ αυτού και του σημείου σκόπευσης.

Η στάση S_1 όπου ορίστηκε ως αρχή, αποτέλεσε το σημείο αφετηρίας της όδευσης¹²⁸ με αυθαίρετες καρτεσιανές συντεταγμένες X_1, Y_1, Z_1 , ενώ οι υπόλοιπες υπολογίστηκαν από τη συνόρθωση των μετρήσεων της πολυγωνομετρίας. Από το σημείο S_1 όπου στήθηκε αρχικά το όργανο, σκοπεύτηκε η επόμενη στάση S_2 . Η σκόπευση έγινε στο πρίσμα του καταφώτου που στήθηκε πάνω στο πασσαλάκι της S_2 , με γνωστό ορισμένο ύψος καταφώτου 1,30 μ. προκειμένου να πραγματοποιηθεί σωστά η αναγωγή. Οι συντεταγμένες των σημείων προκύπτουν από τις μετρήσεις που γίνονται στοχεύοντας από το ένα σημείο με γνωστό το ύψος του οργάνου στο επόμενο, όπου πάνω στον πάσσαλο έχει στηθεί κατάφωτο με πρίσμα και ορισμένο ύψος κάθε φορά. Ο υπολογισμός των συντεταγμένων όλων των ορισμένων σημείων συνιστά τη συνόρθωση του δικτύου.

Εν συνεχεία, αφού πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις και τα σκαριφήματα, αριθμήθηκαν όλοι οι στόχοι που θα τοποθετούνταν στον ναό για τη λήψη των απαιτούμενων μετρήσεων. Έγινε διάσπαρτη τοποθέτηση των αριθμημένων στόχων ορισμένων με το λατινικό γράμμα ‘P’, σε καίρια σημεία του μνημείου ώστε να είναι ορατοί από τις στάσεις του ιδρυθέντος δικτύου. Σημειώνεται ότι η μορφή και αρίθμηση των στόχων που χρησιμοποιήθηκαν ως φωτοσταθερά είναι τέτοια ώστε να αναγνωρίζεται από το λογισμικό Photoscan, με το οποίο παράγονται τα τρισδιάστατα μοντέλα βασιζόμενα σε φωτογραφίες (Imaged Based Modelling).

Τέλος, για τη δημιουργία σημειονέφους και 3D μοντέλου επιλέχθηκε η εφαρμογή σύγχρονων μέσων συλλογής της τρισδιάστατης πληροφορίας και συγκεκριμένα η χρήση επίγειου σαρωτή laser (Laser Scanner FARO 3D 330X).

Το laser scanner εκτελεί δειγματοληψία ή σαρώνει την επιφάνεια του προς μελέτη αντικειμένου, καταγράφοντας –μέσω σημείων στον τρισδιάστατο χώρο– το σχήμα του αλλά και τις οπτικές ιδιότητές του (ένταση και/ή RGB πληροφορίες).

Το συγκεκριμένο όργανο που χρησιμοποιήθηκε λειτουργεί με παλμούς λέιζερ που στέλνονται και επιστρέφουν. Με τη διαδικασία αυτή, ο σαρωτής βρίσκει την απόσταση δύο σημείων και τη διαιρεί δια του δύο. Είναι προγραμματισμένος ώστε να μετράει οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, ενώ αυτόματα μπορεί να υπολογίσει τη θέση του σημείου σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων του οργάνου. Οι αποκτηθείσες πληροφορίες επιστρέφουν στη μονάδα ως μία πολυπληθής συλλογή

¹²⁸ Πανταζής 2010

των ακριβώς μετρημένων σημείων (X, Y, Z), τα οποία καλούνται ως ένα «νέφος σημείων» (point cloud). Τα «νέφη σημείων» περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό πληροφοριών, ωστόσο, μπορούν να υποστούν επεξεργασία για να δημιουργήσουν ακριβή τρισδιάστατα (3D) μοντέλα των αντικειμένων και του περιβάλλοντα χώρου αυτών, καθώς και ένα πλήθος από άλλα παράγωγα χρήσιμα στοιχεία σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Στον ναό, οι θέσεις που τοποθετήθηκε ο σαρωτής ορίστηκαν αντίστοιχα με το λατινικό γράμμα ‘F’ και επιλέχθηκαν έτσι ώστε οι διαδοχικές σαρώσεις να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους. Ο σαρωτής τοποθετήθηκε σε έντεκα διαφορετικές θέσεις (F₁-F₁₁) από όπου έγινε σάρωση νέφους σημείων.

Κάθε ένα από τα έντεκα νέφη, τα οποία προέκυψαν από τις σαρώσεις βρίσκονται σε σύστημα συντεταγμένων διαφορετικό από το τοπικό αυθαίρετο σύστημα που ιδρύθηκε για τη γεωμετρική τεκμηρίωση. Για την επεξεργασία τους και την παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου θα πρέπει είτε να συνενωθούν σε ένα ενιαίο νέφος και στη συνέχεια σε ένα σύστημα γεωαναφοράς, είτε να γεωαναφερθούν ώστε να αναχθούν στο υλοποιημένο τοπικό σύστημα αναφοράς¹²⁹. Για την περίπτωση αυτή απαιτούνται γεωμετρικές μετρήσεις των στόχων του σαρωτή.

4.2. Επεξεργασία Μετρήσεων

Μετά το αρχικό στάδιο, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων από την περιοχή μελέτης, ξεκίνησε η διαδικασία επεξεργασίας τους, με σκοπό την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου με υφή από το οποίο στη συνέχεια προέκυψαν ως παράγωγο προϊόν και οι ορθοφωτογραφίες.

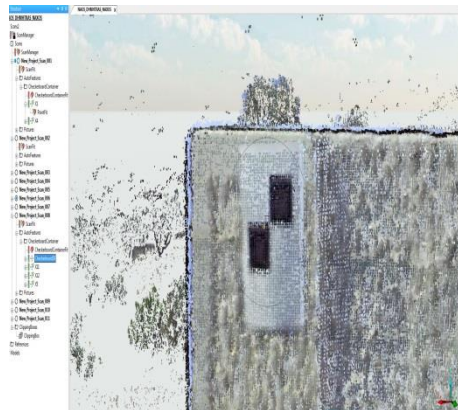
4.2.1. Επεξεργασία με το λογισμικό Scene

Το λογισμικό Faro Scene είναι ένα ειδικά σχεδιασμένο πρόγραμμα για τους σαρωτές Laser της FARO. Επεξεργάζεται και διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων σάρωσης εύκολα και αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας την αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων, την ευθυγράμμιση και τη γεωαναφορά των σαρώσεων¹³⁰.

¹²⁹ Georgopoulos 2014

¹³⁰ <https://www.faro.com/products/product-design/faro-scene/>

Αρχικά, τα δεδομένα (νέφη σημείων) (εικ. 4.13) εισήχθησαν από τον σαρωτή Laser στον υπολογιστή για την επεξεργασία τους με το λογισμικό Scene όπου και δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο (project). Στη συνέχεια, έγινε ο αυτόματος εντοπισμός



Εικόνα 4.12: Φωτοσταθερό

στόχων (checkerboards) (εικ. 4.12) που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της συλλογής των δεδομένων στο πεδίο και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η συνένωση των διαδοχικών σαρώσεων. Αξίζει να σημειωθεί πως πραγματοποιήθηκε έλεγχος για κάθε έναν από τους στόχους που εντοπίστηκε αυτόματα, καθώς το λογισμικό μπορεί να αναγνωρίσει κάποιο λανθασμένο μοτίβο ως στόχο. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφερθεί επίσης

ότι σύμφωνα με τις δυνατότητες του λογισμικού, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι συνένωσης των νεφών, οι οποίοι είναι οι εξής:

- **Συνένωση βασισμένη σε κοινούς στόχους.** Με τον συγκεκριμένο τρόπο γίνεται χρήση τεχνητών στόχων που τοποθετήθηκαν πριν τη σάρωση για να προσανατολιστούν τα νέφη. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις κοινοί στόχοι στα διαδοχικά νέφη σημείων προκειμένου να καθοριστούν οι παράμετροι του μετασχηματισμού και να πραγματοποιηθεί η συνένωση.
- **Συνένωση βασισμένη στο επικαλυπτόμενο τμήμα σαρώσεων.** Με αυτή τη μέθοδο θα πρέπει τα δύο νέφη σημείων να έχουν επαρκή επικάλυψη μεταξύ τους (τουλάχιστον 30%). Η συνένωση των δύο νεφών γίνεται με μία τεχνική που ονομάζεται ICP (*Iterative Closed Point*). Επιλέγονται χειροκίνητα τουλάχιστον τρία αντίστοιχα σημεία στα νέφη σημείων. Δεδομένου ότι αυτά τα τρία σημεία δεν θα είναι ποτέ ακριβώς τα ίδια, ο αλγόριθμος ICP ελέγχει επαναληπτικά τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων του νέφους και εκτιμά τον μετασχηματισμό για να προσανατολίσει τα διαδοχικά νέφη, ώστε το αποτέλεσμα να έχει το ελάχιστο σφάλμα. Οι στόχοι που απαιτούνταν για την συνένωση μετρήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν και για τη γεωαναφορά των νεφών σημείων. Κατά τη συνένωση, όλα τα νέφη σημείων μετασχηματίζονται σε ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το υλοποιημένο σύστημα αναφοράς των μετρημένων στόχων. Η επίλυση με χρήση των στόχων δίνει καλύτερα αποτελέσματα διότι αυτοί ανιχνεύονται

με πολύ καλύτερη ακρίβεια από ό,τι τα υπόλοιπα σημεία, ενώ είναι και πιο εύκολος ο έλεγχος της ακρίβειας και του συνολικού αποτελέσματος που προκύπτει. Ως ομόλογο σημείο λαμβάνεται το κέντρο του στόχου κάθε φορά. Έπειτα εφαρμόζεται μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με βάση τον αλγόριθμο ICP, που εισάγει επιπλέον δεσμεύσεις μεταξύ των επικαλυπτόμενων σαρώσεων.



Εικόνα 4.13: Το αρχικό νέφος σημείων από τον σαρωτή



Εικόνα 4.14: Σκόπευση φωτοσταθερών στη φωτογραφία στο λογισμικό Faroscene

Μετά τη συνένωση των νεφών ακολούθησε η αφαίρεση του θορύβου. Ως θόρυβος ορίζεται το σύνολο των ανεπιθύμητων πληροφοριών, οι οποίες συνοδεύουν το σήμα και υποβαθμίζουν την ακρίβεια και ορθότητα των μετρήσεων. Επίσης, είναι και οποιαδήποτε περιττή πληροφορία που έχει καταγραφεί όπως π.χ. βλάστηση, περιφράξεις, κινούμενα αντικείμενα κ.ά.

Το φιλτράρισμα (*filtering*) των νεφών, αποσκοπεί στην αφαίρεση των επιπλέον σημείων που σαρώθηκαν και είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια. Σε αρκετά περίπλοκες επιφάνειες οι οποίες σαρώνονται με μεγάλη πυκνότητα σάρωσης, είναι πολύ εύκολο να σαρωθούν «λάθος» σημεία λόγω εκτροπής της ακτίνας *laser* (σε εξωτερικές γωνίες κτλ). Το φαινόμενο αυτό είναι ακόμη πιο έντονο σε περιπτώσεις σάρωσης επιφάνειας από ιδιαίτερα ανακλαστικό υλικό όπως το μάρμαρο ή το ξύλο.

Το φιλτράρισμα είναι γενικά μια αυτοματοποιημένη διαδικασία, καθώς σε όλα τα λογισμικά πακέτα υπάρχουν αλγόριθμοι οι οποίοι εντοπίζουν αυτόματα τα σημεία που αποτελούν «θόρυβο» και τα απομακρύνουν. Βεβαίως, οι παράμετροί του μπορούν να ρυθμιστούν από τον χρήστη, αλλά αρκετές είναι και οι φορές όπου ο ίδιος ο χρήστης καλείται να απομακρύνει χειροκίνητα τον θόρυβο, καθώς και περιττά αντικείμενα από τις σαρώσεις. Όταν οι επιφάνειες είναι αρκετά πολύπλοκες είναι δύσκολο να καθοριστούν οι τιμές αυτών των παραμέτρων, καθώς πρέπει να επιτευχθεί μείωση του θορύβου χωρίς όμως να απαλειφθούν πολύτιμες λεπτομέρειες. Συνήθως χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι οι οποίοι απομακρύνουν σημεία τα οποία θεωρούν θόρυβο με κριτήριο την αποχή τους από το υπόλοιπο νέφος.

4.2.2. Επεξεργασία εικόνων με το λογισμικό Photoscan

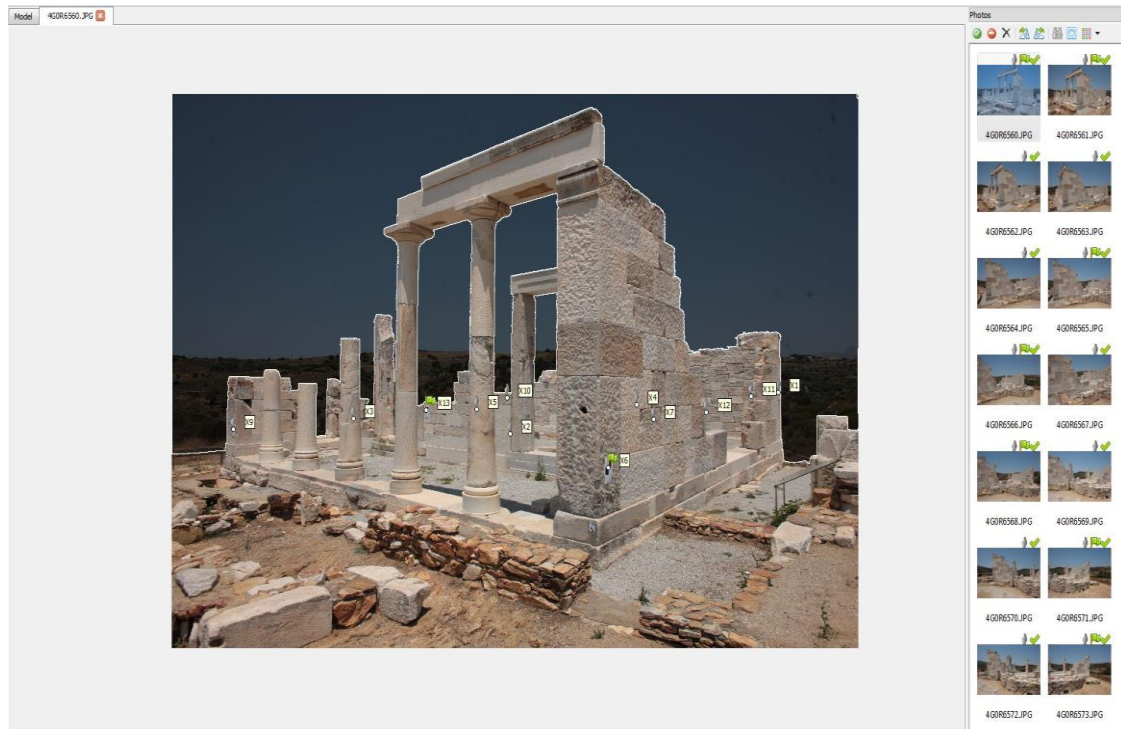
Στόχος του λογισμικού Photoscan της Agisoft είναι η δημιουργία επαγγελματικής ποιότητας τρισδιάστατου περιεχομένου από εικόνες, με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας *Structure-from-Motion* και *multi-view-stereo* για 3D ανακατασκευή. Λειτουργεί με αυθαίρετες, τυχαίες εικόνες και είναι αρκετά αποτελεσματικό κάτω από ελεγχόμενες ή μη καταστάσεις, δηλαδή ο χρήστης μπορεί να ακολουθήσει αυτόματες ή ημιαυτόματες διαδικασίες. Οι εικόνες μπορούν να ληφθούν από οποιαδήποτε θέση, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το αντικείμενο προς ανακατασκευή εμφανίζεται σε τουλάχιστον δύο εικόνες. Τόσο η διαδικασία του

προσανατολισμού (*alignment*) των εικόνων, όσο και η διαδικασία της ανακατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου είναι πλήρως αυτοματοποιημένες.

Αρχικά φορτώθηκαν οι εικόνες που είχαν ληφθεί από την περιοχή, ελέγχθησαν ως προς την ποιότητα και ευκρίνειά τους και έγινε η αφαίρεση άχρηστων ή περιττών εικόνων. Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας τοποθετήθηκαν μάσκες σε όλες τις εικόνες, ώστε να μην συμμετέχουν στη διαδικασία του προσανατολισμού άλλα αντικείμενα εκτός του αντικειμένου μελέτης (εικ.4.15). Πριν τη διαδικασία του προσανατολισμού των εικόνων και του προσδιορισμού των θέσεων λήψης τους, εντοπίστηκαν αυτόματα στις εικόνες οι ειδικοί φωτογραμμετρικοί στόχοι (*markers*) (εικ. 4.16) που είχαν τοποθετηθεί στο μνημείο και πραγματοποιήθηκε έλεγχος για τον σωστό εντοπισμό τους και την ορθή αρίθμηση αυτών.

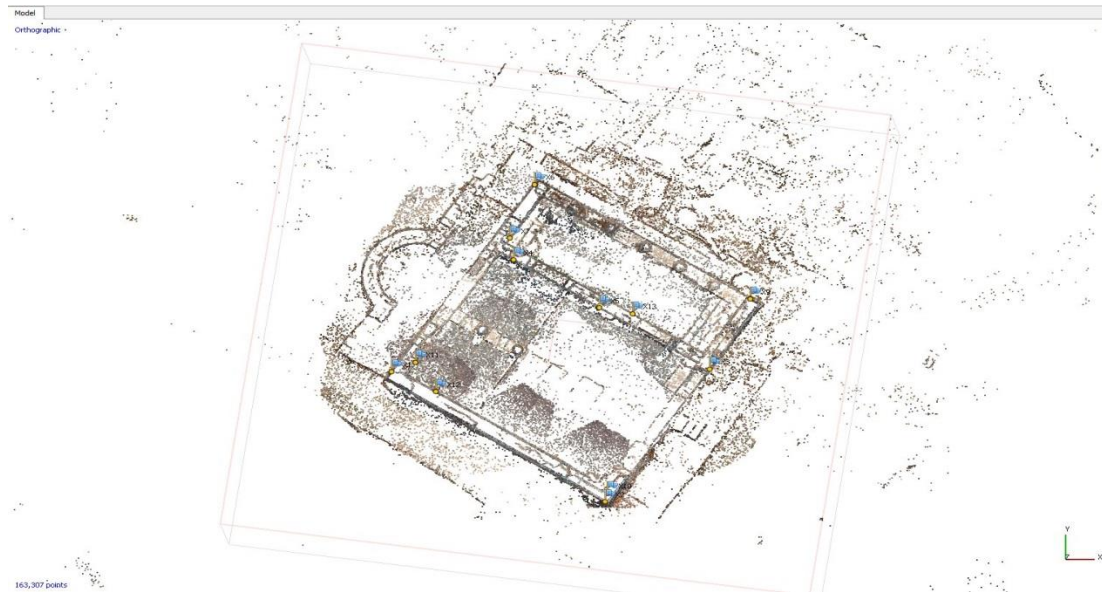


Εικόνα 4.15: Τοποθέτηση μάσκας στη φωτογραφία



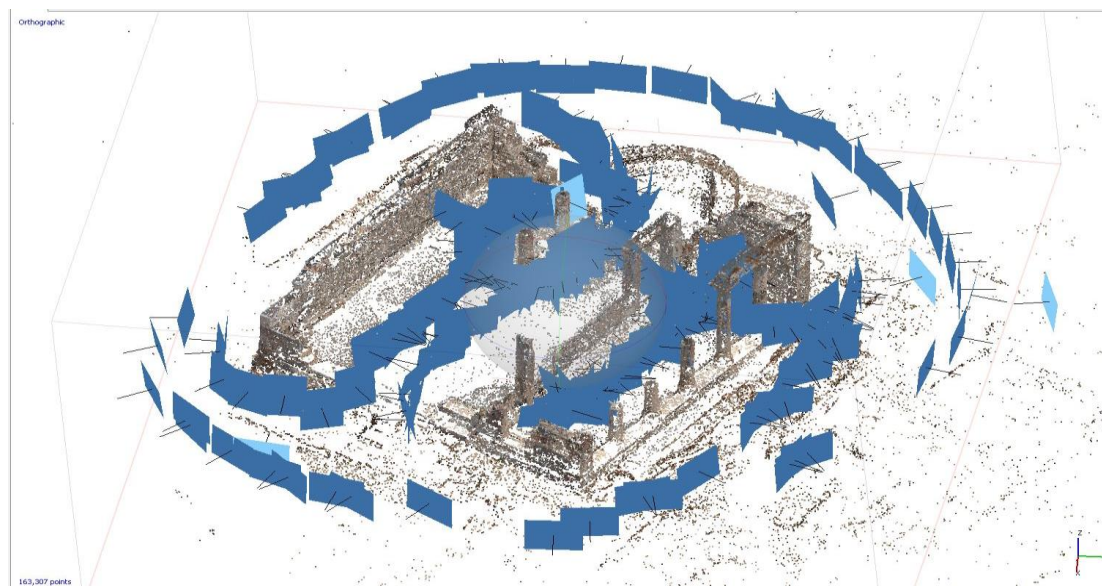
Εικόνα 4.16: Σκόπευση φωτοσταθερών (markers) στο λογισμικό Photoscan της Agisoft

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία προσανατολισμού (*alignment*) των εικόνων, στην οποία το λογισμικό προσανατολίζει τις εικόνες, προσδιορίζοντας τις μεταξύ τους σχετικές θέσεις. Μέσω του λογισμικού *Photoscan* αναζητούνται αυτόματα κοινά σημεία στις εικόνες και εν συνεχεία τοποθετούνται σε αντιστοιχία μεταξύ τους, ενώ συγχρόνως προσδιορίζεται η θέση της κάμερας για κάθε εικόνα, βελτιώνοντας τις παραμέτρους βαθμονόμησης. Το αραιό νέφος σημείων (*sparse point cloud*) που προκύπτει αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα της διαδικασίας του προσανατολισμού και δεν χρησιμοποιείται άμεσα στην περαιτέρω διαδικασία κατασκευής του τρισδιάστατου μοντέλου, εκτός και αν επιλεγεί ως διαδικασία ανακατασκευής του μοντέλου εκείνη που βασίζεται στο αραιό νέφος σημείων. Ωστόσο μπορεί να εξαχθεί για περαιτέρω διαδικασία και χρήση σε άλλα προγράμματα και λογισμικά. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 4.17.



Εικόνα 4.17: Το αραιό νέφος σημείων (*sparse cloud*)

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας του προσανατολισμού και την παραγωγή του αραιού νέφους σημείων εμφανίζονται πλέον και οι θέσεις λήψης των εικόνων (εικ. 4.18). Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των γεωδαιτικών συντεταγμένων στο λογισμικό για κάθε έναν από τους στόχους και υπολογίστηκαν και τα σφάλματα για κάθε έναν από αυτούς (εικ. 4.19), αλλά και το συνολικό σφάλμα (το σφάλμα πρέπει να είναι μικρότερο από 1,2 εκατοστά λόγω της κλίμακας απόδοσης των ορθοφωτογραφιών που έχει επιλεγεί να είναι 1:50).

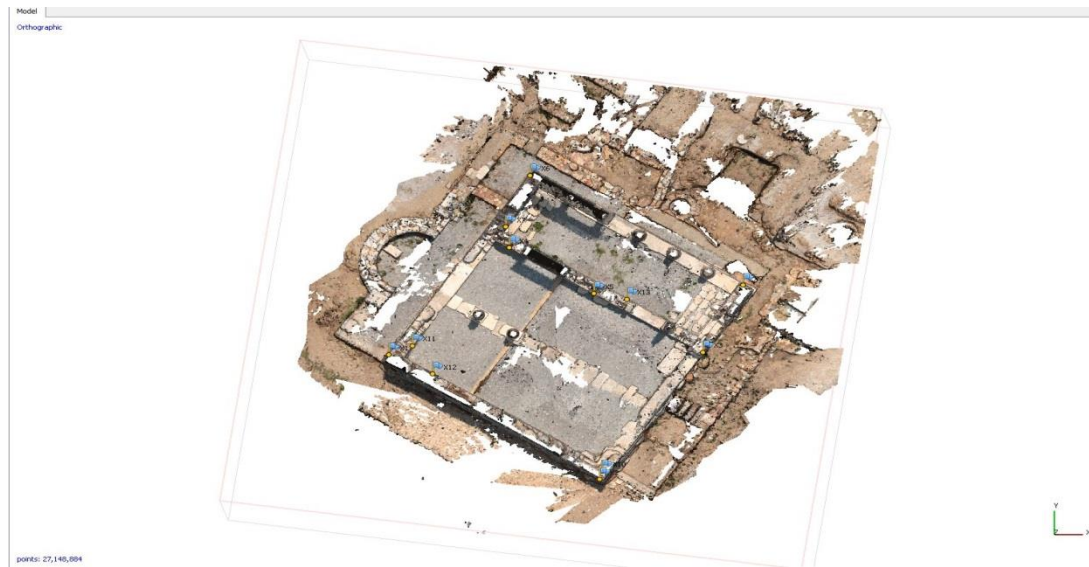


Εικόνα 4.18: Οι θέσεις λήψης της φωτογραφικής μηχανής

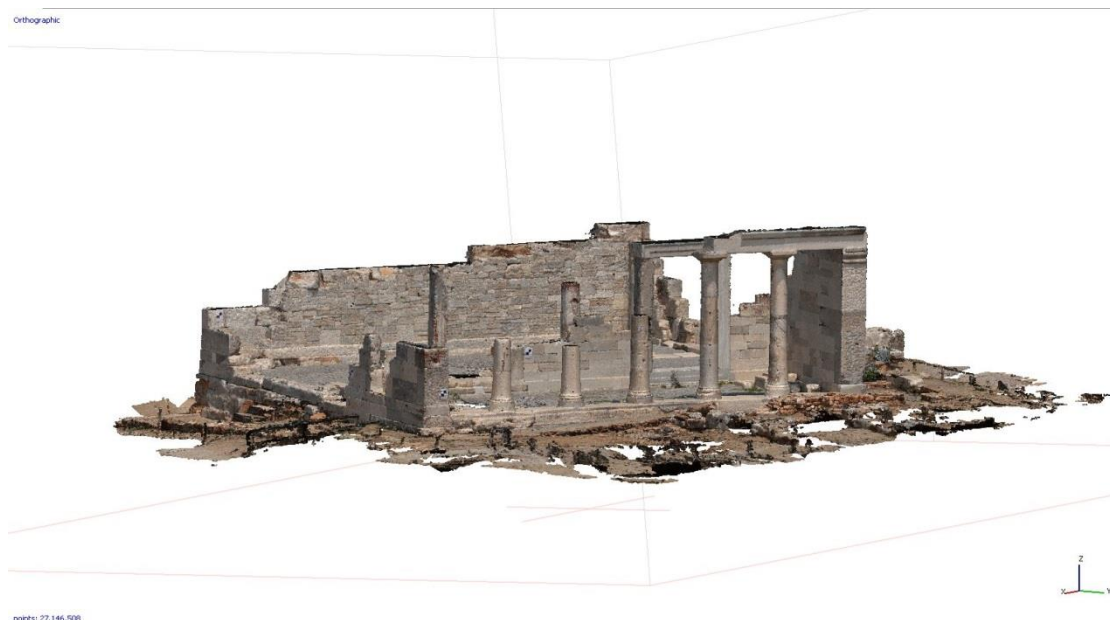
Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> X1	1003.971000	1006.546000	103.928000	0.005000	0.007218	4	0.254
<input checked="" type="checkbox"/> X2	1014.166000	999.318000	102.079000	0.005000	0.011145	3	0.396
<input checked="" type="checkbox"/> X3	1019.161000	1006.720000	103.029000	0.005000	0.011744	4	0.756
<input type="checkbox"/> X4	1009.799000	1012.806000	103.695000	0.005000	0.016083	3	0.261
<input checked="" type="checkbox"/> X5	1013.889000	1010.129000	103.489000	0.005000	0.003991	4	0.402
<input checked="" type="checkbox"/> X6	1010.809000	1017.006000	103.102000	0.005000	0.005969	4	0.107
<input checked="" type="checkbox"/> X7	1009.631000	1014.002000	103.485000	0.005000	0.006748	4	1.173
<input checked="" type="checkbox"/> X9	1021.104000	1010.599000	102.932000	0.005000	0.005878	4	2.139
<input checked="" type="checkbox"/> X10	1014.259000	999.761000	103.599000	0.005000	0.011074	4	0.579
<input checked="" type="checkbox"/> X11	1005.105000	1007.079000	103.817000	0.005000		0	0.000
<input type="checkbox"/> X12	1006.082000	1005.428000	103.302000	0.005000	0.016369	5	0.308
<input checked="" type="checkbox"/> X13	1015.474000	1009.788000	103.447000	0.005000	0.005167	4	0.228
Total Error							
Control points					0.008132		0.911

Εικόνα 4.19: Συντεταγμένες φωτοσταθερών σημείων με τα σφάλματά τους

Το επόμενο βήμα ήταν η διαδικασία δημιουργίας του πυκνού νέφους σημείων (*dense point cloud*) αφού πρώτα ελέγχθηκε το αποτέλεσμα που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο. Το λογισμικό *Photoscan* δημιουργεί ένα πυκνό νέφος σημείων, με βάση τις εκτιμώμενες θέσεις της κάμερας, υπολογίζει το βάθος των πληροφοριών για κάθε κάμερα και το συνδυάζει σε ένα νέο ενιαίο πυκνό νέφος. Η ακρίβεια με την οποία πραγματοποιήθηκε η διαδικασία επιλέχθηκε να είναι υψηλή (*high*). Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 4.20. Πρέπει να τονιστεί στο σημείο αυτό, πως οι διαδικασίες αυτές απαιτούν πολύ μεγάλη υπολογιστική ισχύ και μεγάλο χρονικό διάστημα αναμονής για την υλοποίησή τους, χωρίς να είναι σίγουρο ότι το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα είναι το σωστό. Κατά συνέπεια, η διαδικασία χρειάστηκε να επαναληφθεί αρκετές φορές, έπειτα από διορθώσεις και αλλαγή των παραμέτρων, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.



Εικόνα 4.20: Το αποτέλεσμα δημιουργίας του πυκνού νέφους σημείων (*dense cloud*)



Εικόνα 4.21: Άλλο στιγμιότυπο από το πυκνό νέφος σημείων

4.2.3. Επεξεργασία των νέφων σημείων με το λογισμικό Geomagic

Μετά την παραγωγή του πυκνού νέφους σημείων πραγματοποιήθηκε εξαγωγή αυτού από το λογισμικό του *Photoscan* και στη συνέχεια εισήχθη για περαιτέρω επεξεργασία στο λογισμικό *Geomagic Studio 2013*. Το πυκνό νέφος σημείων από το λογισμικό του *Photoscan* συνδυάστηκε με το νέφος του σαρωτή στο λογισμικό του

Geomagic και κάλυψε ελλείψεις και κενά που είχαν προκύψει κατά τη διάρκεια των σαρώσεων (εικ. 4.22).



Εικόνα 4.22: Το πυκνό νέφος σημείων όπως απεικονίζεται στο λογισμικό του *Geomagic*, πριν την επεξεργασία και την αφαίρεση θορύβου

Το ενωμένο πια νέφος σημείων απλοποιήθηκε και πραγματοποιήθηκε η απαραίτητη αφαίρεση θορύβου και περιττής πληροφορίας. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο πλέγμα (*mesh*). Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί και στο λογισμικό του *Photoscan*, ωστόσο το λογισμικό *Geomagic* δίνει καλύτερα αποτελέσματα και πιο λεπτομερή και σωστή γεωμετρία.

Πιο αναλυτικά για την αφαίρεση του θορύβου, ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το *Outliers*, με το οποίο επιλέχτησαν χονδροειδή σφάλματα και σημεία απομακρυσμένα από το κυρίως αντικείμενο και διαγράφησαν. Επόμενο βήμα, ήταν η εφαρμογή του εργαλείου (*Reduce Noise*) μείωσης θορύβου. Η επιλογή αυτή προσφέρει αρκετές δυνατότητες χωρίς να χάνονται οι λεπτομέρειες του αντικειμένου. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι μείωσης θορύβου, με τον καθένα να χρησιμοποιείται για διαφορετικό τύπο αντικειμένου. Στην προκειμένη περίπτωση, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος *free – form shapes*. Ο αλγόριθμος αυτός μειώνει τον θόρυβο ανάλογα με την καμπυλότητα της επιφάνειας. Επίσης, το λογισμικό προσφέρει τρεις παραμέτρους για τον έλεγχο του ποσοστού μείωσης του θορύβου: *the smoothness level* που καθορίζει τον βαθμό μείωσης του θορύβου, *the iteration* που είναι ο αριθμός επαναλήψεων του αλγορίθμου και *the deviation limit* που

είναι η μέγιστη μετακίνηση του σημείου από την αρχική του θέση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ρύθμιση *smoothness level* ορίστηκε στη μέση και ο αριθμός των επαναλήψεων στις δύο. Οι παραπάνω παράμετροι ορίστηκαν με το σκεπτικό να μην υπάρξει απώλεια στο επίπεδο της λεπτομέρειας του μνημείου και το τελικό αποτέλεσμα να είναι ικανοποιητικό ως προς τη γεωμετρία και την ακρίβεια. Η επιλογή *Uniform* αποτελεί τη διαδικασία μείωσης του πλήθους των σημείων και είναι το τελευταίο βήμα επεξεργασίας, πριν τη δημιουργία επιφάνειας. Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο, καθώς με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το μέγεθος του αρχείου αλλά και ο μετέπειτα χρόνος επεξεργασίας. Με τη συγκεκριμένη εντολή μειώνεται με ομοιόμορφο τρόπο ο αριθμός των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες, ενώ δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα καμπύλα τμήματα. Χρησιμοποιείται η εντολή *absolute distance* για ακριβέστερα αποτελέσματα, στην οποία καθορίζεται η απόσταση των σημείων στις επίπεδες επιφάνειες. Έπειτα επιλέγεται η προτεραιότητα που θα δοθεί στα καμπύλα τμήματα (*curvature priority*). Στην κλίμακα που εμφανίζεται, η μέγιστη τιμή υποδηλώνει ότι η απόσταση των σημείων στις καμπύλες επιφάνειες θα είναι περίπου υποδεκαπλάσια από την απόσταση που ορίστηκε στις επίπεδες. Η τιμή *absolute distance* ορίστηκε στα 0,01 m. και στην κλίμακα *curvature priority* επιλέχθηκε η μέγιστη τιμή.

Μετά τη μείωση του θορύβου και τη μείωση σημείων, το επόμενο στάδιο ήταν η δημιουργία επιφάνειας. Με την εντολή *Wrap* δημιουργείται η τρισδιάστατη επιφάνεια του αντικειμένου. Η εντολή ρυθμίστηκε έτσι, ώστε να εκτελέσει μία επιπλέον μείωση θορύβου, να διατηρήσει το αρχικό νέφος σημείων (*keep original data*) και να διαγράψει μόνο τα σημεία που μπορεί να δυσκολέψουν τη λειτουργία του *wrapping*, όπως π.χ. εξωτερικά σημεία που ξέφυγαν από την προηγούμενη επεξεργασία του νέφους. Η επιφάνεια εξετάστηκε για τυχόν ατέλειες και λάθη. Διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν ορισμένα ανεστραμμένα τρίγωνα, αρκετές τρύπες μικρού και μεγάλου μεγέθους όπως και ορισμένες έντονες ακμές. Οι ατέλειες αυτές εξαρτώνται από τα αρχικά δεδομένα που λαμβάνονται και την περαιτέρω επεξεργασία που θα υποστούν, ενώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διορθώσει την επιφάνεια χειροκίνητα και να βελτιώσει σημαντικά την τρισδιάστατη επιφάνεια.

Επειδή υπήρξε έλλειψη πληροφορίας και αρκετά κενά στο τρισδιάστατο μοντέλο του ναού, κρίθηκε σκόπιμο το παραγόμενο νέφος του σαρωτή να συμπληρωθεί από το νέφος των προσανατολισμένων εικόνων του λογισμικού *Photoscan* για τα τμήματα

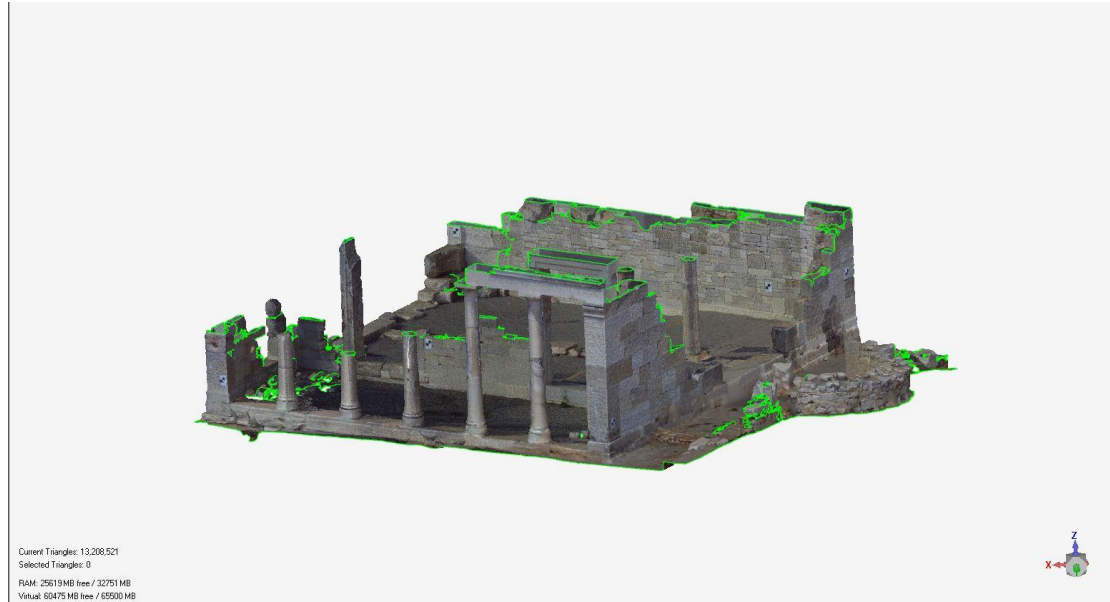
όπου υπήρχε διαθέσιμη πληροφορία πριν πραγματοποιηθούν βελτιώσεις χειροκίνητα, όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω. Αξίζει να σημειωθεί ότι και το νέφος σημείων από το *Photoscan* υπέστη επεξεργασία στο *Geomagic*. Τα παραγόμενα νέφη των σαρώσεων και των φωτογραφιών βρίσκονται πλέον στο ίδιο σύστημα αναφοράς.

Η καινούργια επιφάνεια που προέκυψε απέδωσε καλύτερα το αντικείμενο αλλά υπέστη περαιτέρω επεξεργασία ώστε να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Εξαιτίας της συνένωσης σε ορισμένα τμήματα του μοντέλου προέκυψαν διπλές επιφάνειες οι οποίες απομακρύνθηκαν χειροκίνητα με τη χρήση διάφορων εργαλείων που προσφέρει το λογισμικό. Επιπλέον, παρόλο που το νέφος των σαρώσεων συμπληρώθηκε από το νέφος του *Photoscan*, παρατηρήθηκε σε αρκετές περιοχές έλλειψη πληροφορίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περιοχές αυτές δεν σαρώθηκαν επαρκώς ή απαιτούνταν μεγαλύτερος αριθμός φωτογραφιών. Στην περίπτωση που η έλλειψη πληροφορίας ήταν μικρή, πραγματοποιήθηκε διαγραφή των λανθασμένων τριγώνων και συμπλήρωση της πληροφορίας με τη βοήθεια των εργαλείων της εντολής *fill holes*. Τα συγκεκριμένα εργαλεία βασίζονται στην πληροφορία των γειτονικών τριγώνων για την αυτόματη συμπλήρωση. Στη συνέχεια έγινε χρήση της εντολής *Mesh Doctor*, το οποίο είναι ένα εργαλείο αυτόματης βελτίωσης του πολυγωνικού πλέγματος. Το εργαλείο αυτό εντοπίζει και διορθώνει αυτόματα σφάλματα, και εν συνεχεία εμφανίζει τον αριθμό σφαλμάτων που ανιχνεύθηκαν. Μέσω των εντολών που προσφέρει υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστεί αυτόματη βελτίωση στα υπάρχοντα ελαττώματα, όμως τα λάθη μπορούν να διορθωθούν και χειροκίνητα (εικ.4.23).



Εικόνα 4.23: Στιγμιότυπο από την τελική τρισδιάστατη επιφάνεια (*mesh*) στο *Geomagic* μετά την απαραίτητη επεξεργασία

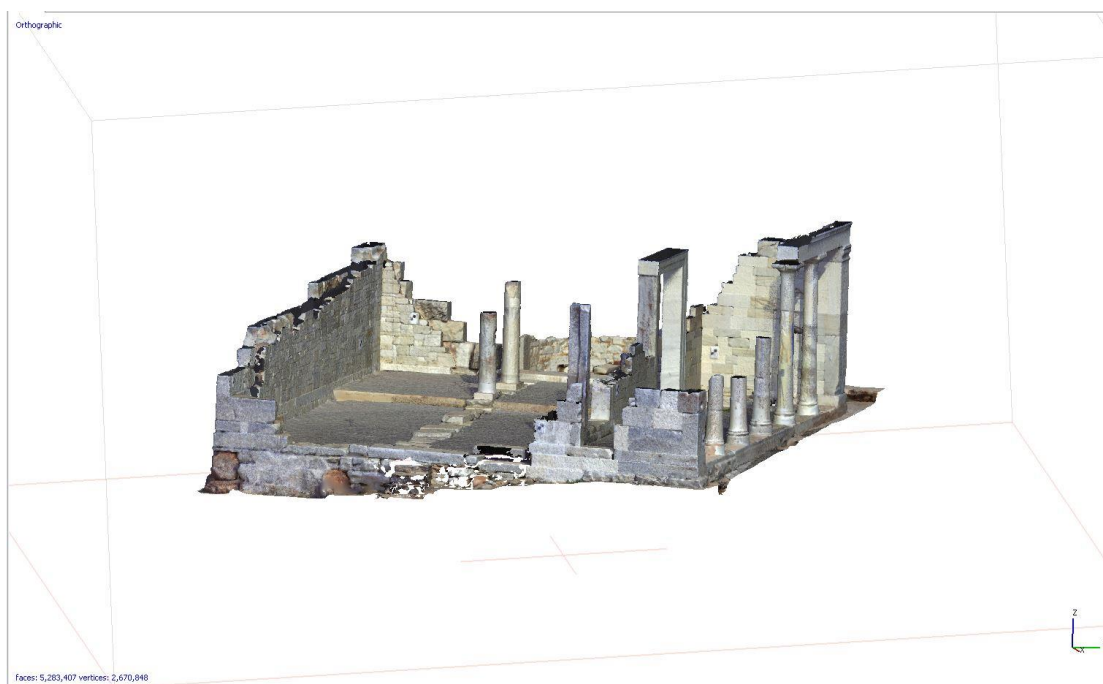
Πριν τη διαδικασία της απόδοσης υφής στο τρισδιάστατο μοντέλο, πραγματοποιήθηκε μείωση των τριγώνων (*decimate*) του τρισδιάστατου πλέγματος ώστε να γίνει καλύτερα η διαχείριση του μοντέλου στο λογισμικό *Photoscan* (εικ. 4.24).



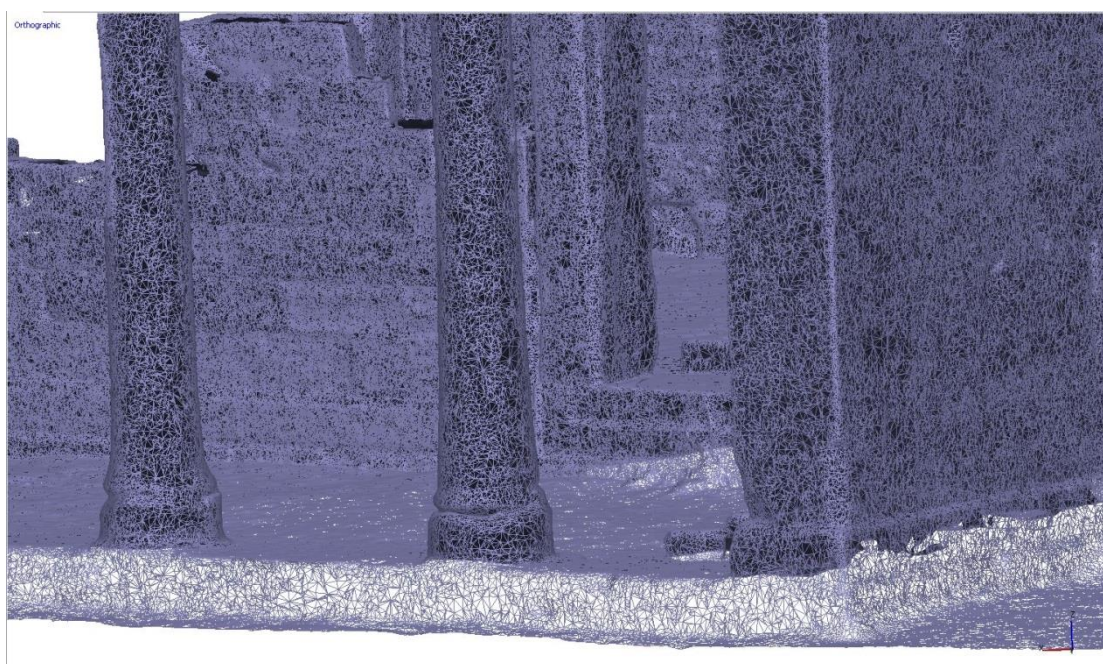
Εικόνα 4.24: Το τελικό μοντέλο από το λογισμικό του *Geomagic*

4.3. Παραγόμενα Προϊόντα (Τρισδιάστατο Μοντέλο Και Ορθοφωτογραφίες)

Η ολοκληρωμένη επιφάνεια του αντικειμένου εισήχθη πάλι στο λογισμικό *Photoscan*, ώστε να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της απόδοσης υφής (*texture*). Σε αυτό το στάδιο, το οποίο είναι και το τελικό στη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα μέσω των επιλογών του λογισμικού να αποδώσει την υφή και το χρώμα του αντικειμένου. Το λογισμικό για να αποδώσει τα δύο αυτά στοιχεία ανατρέχει στις δοθείσες φωτογραφίες και αντιγράφει τους χρωματισμούς του πραγματικού αντικειμένου πάνω στο μοντέλο. Το λογισμικό διαθέτει διαφορετικής λειτουργίας παραμέτρους για την επεξεργασία του μοντέλου όπως: *Generic*, *Adaptive Orthophoto*, *Spherical*, *Single photo* και *Keep uv*. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η επιλογή *Generic*. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την παραμετροποίηση υφής για αυθαίρετες, τυχαίες επιφάνειες.



Εικόνα 4.25: Μοντέλο με φωτοσκίαση (shaded model)



Εικόνα 4.26: Τρισδιάστατο πλέγμα τριγώνων (wireframe model)

Μετά από τη διαδικασία της απόδοσης υφής, η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου ολοκληρώνεται (εικ. 4.28). Το τελικό μοντέλο μπορεί να εξαχθεί από το λογισμικό για να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω εφαρμογές αλλά και για την παραγωγή επιμέρους σχεδίων και ορθοφωτογραφιών. Στην προκειμένη περίπτωση,

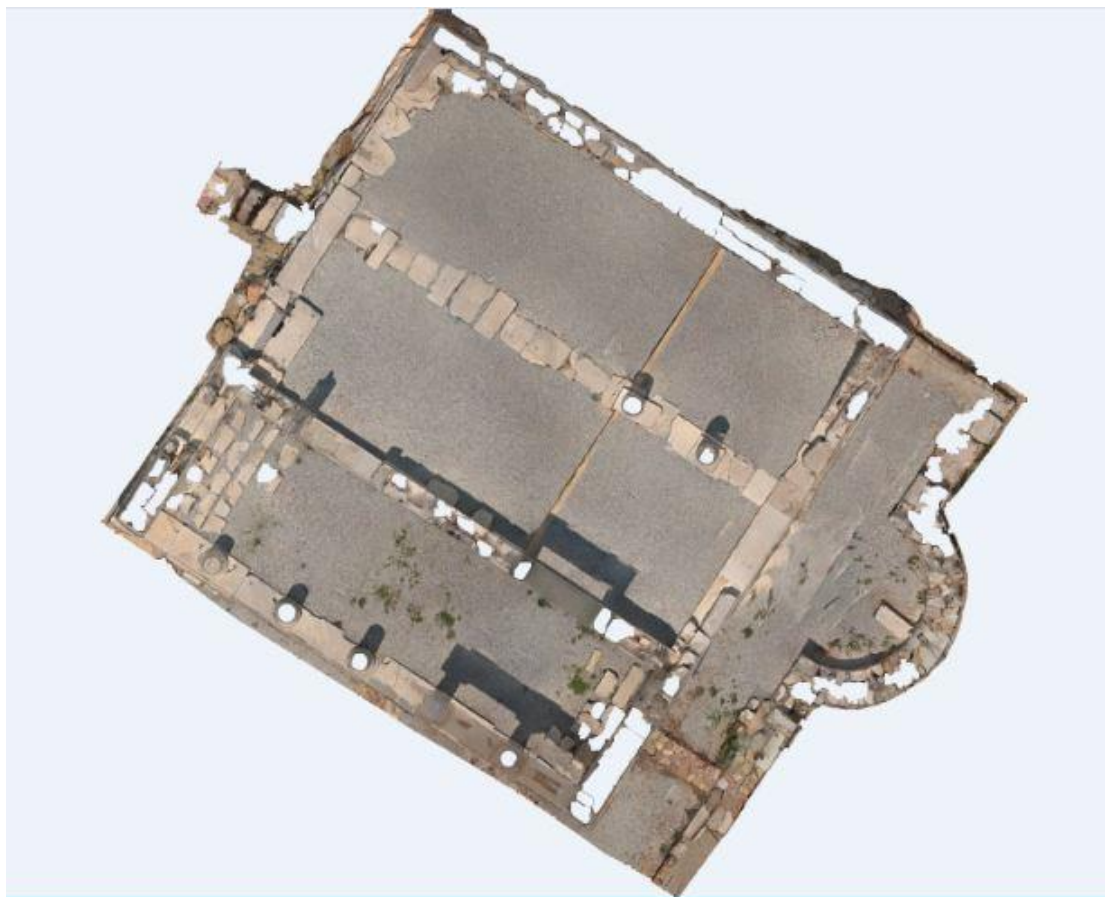
από το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε, πραγματοποιήθηκε η παραγωγή τεσσάρων ορθοφωτογραφιών: της κάτοψης του ναού (εικ. 4.28), του ανατολικού τμήματος του ναού με την αγίδα (εικ. 4.29), του ανατολικού τμήματος του ναού χωρίς την αγίδα (εικ. 4.30) και του νοτίου τμήματος του ναού (εικ. 4.31).



Εικόνα 4.27: Το τρισδιάστατο μοντέλο με υφή (texture)

Η ορθοφωτογραφία είναι μια εικόνα που έχει αναχθεί διαφορετικά από κεντρική προβολή σε ορθή. Απαλλαγμένη από τις παραμορφώσεις που δημιουργούν οι στροφές της εικόνας και το ανάγλυφο του αντικειμένου, παρέχει τη δυνατότητα άμεσα, μετρήσιμης πληροφορίας, καθώς όλα τα τμήματά της διατηρούν την ίδια κλίμακα.

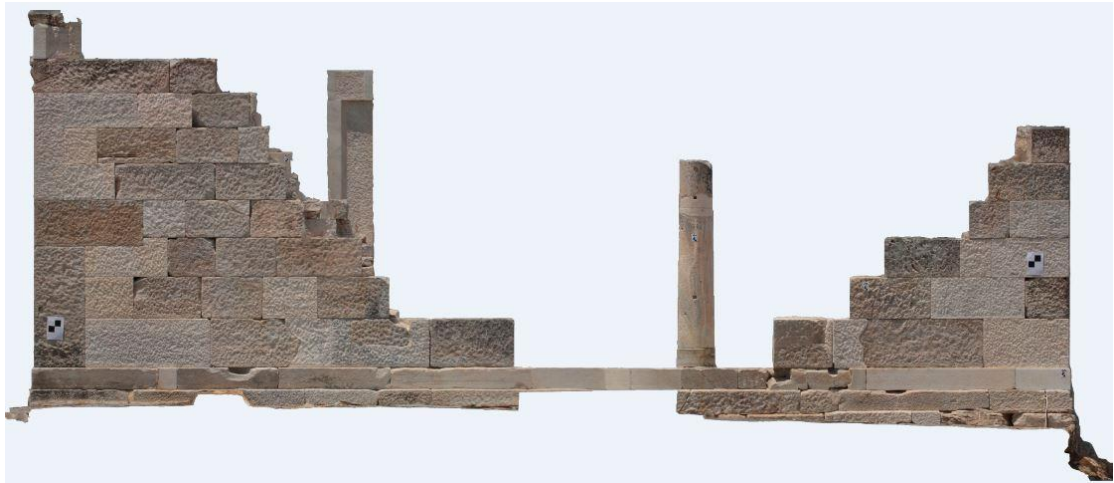
Μετά τη δημιουργία της τρισδιάστατης επιφάνειας ήταν πλέον εφικτή και η παραγωγή των παραπάνω ορθοφωτογραφιών. Για την παρούσα εργασία, η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό *Photoscan* στο οποίο εισήχθη το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε από το *Geomagic*. Οι παράμετροι που ορίστηκαν για την παραγωγή των ορθοφωτογραφιών ήταν το επίπεδο προβολής για κάθε μία ορθοφωτογραφία, καθώς και το μέγεθος της εικονοψηφίδας, το οποίο ορίστηκε στα 0,002 m. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις παραμέτρους αν δεν ανταποκρίνονται στην ακρίβεια του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 4.28: Ορθοφωτογραφία της κάτοψης του ναού



Εικόνα 4.29: Ορθοφωτογραφία του ανατολικού τμήματος του ναού με την αψίδα



Εικόνα 4.30: Ορθοφωτογραφία του ανατολικού τμήματος του ναού χωρίς την αψίδα

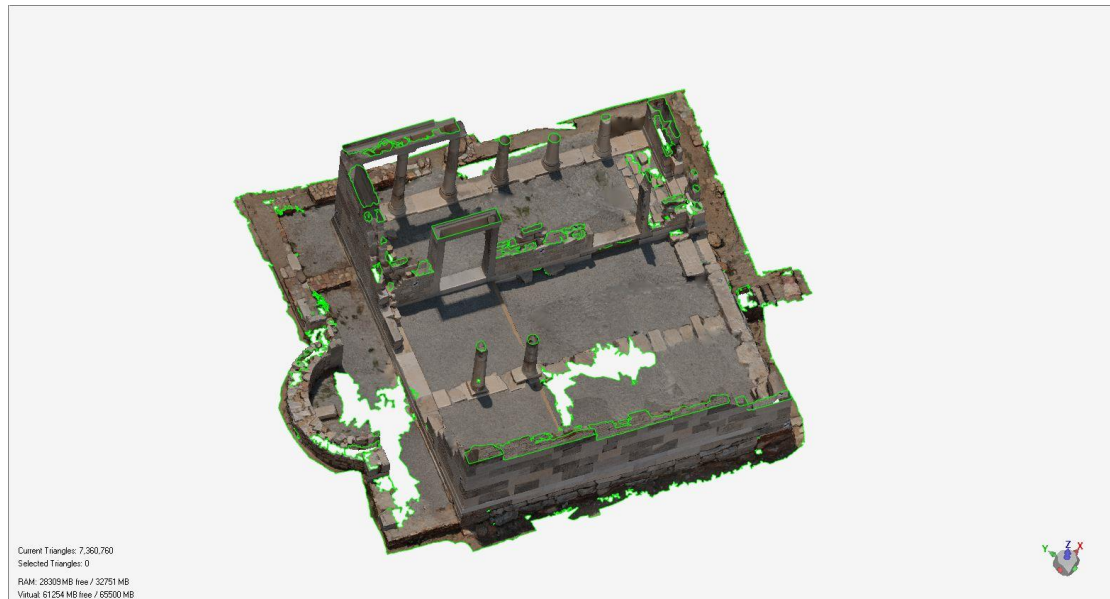


Εικόνα 4.31: Ορθοφωτογραφία του νότιου τμήματος του ναού

4.4. Αξιολόγηση Διαδικασίας

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να προκύψουν τα τελικά προϊόντα πέρασε από διάφορα στάδια, των οποίων η περιγραφή έγινε παραπάνω. Η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου και η παραγωγή των ορθοφωτογραφιών παρουσίασαν αρκετές δυσκολίες, αλλά το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν αρκετά ικανοποιητικό. Η διαδικασία αποδείχθηκε χρονοβόρα καθώς έγινε χρήση διάφορων λογισμικών, τα οποία απαιτούσαν αρκετό χρόνο εξοικείωσης. Επίσης, πολλές από τις διαδικασίες επαναλήφθηκαν αρκετές φορές ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων συλλέχθηκαν αρκετά λάθος σημεία και περιττή

πληροφορία. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε εν μέρει με την αφαίρεση θορύβου, αλλά ακόμη και μετά από αυτή τη διαδικασία απέμειναν κάποια ανεπιθύμητα σημεία. Παρόλο που έγινε χρήση και της φωτογραμμετρικής μεθόδου και του σαρωτή Laser προέκυψε έλλειψη πληροφορίας σχετικά με τα τμήματα του άνω μέρους του ναού όπως αυτός εμφανίζεται σε μια κάτοψη, αλλά και σε ορισμένες δυσπρόσιτες περιοχές όπως για παράδειγμα στην ανατολική πλευρά του ναού, μπροστά από την αψίδα (εικ. 4.32).



Εικόνα 4.32: Έλλειψη πληροφορίας σε κάποια μέρη του ναού στο επίπεδο κορίως της κάτοψης

Το γεγονός αυτό οφείλεται στον ανεπαρκή αριθμό φωτογραφιών και σαρώσεων αλλά και στο γεγονός ότι οι λήψεις των φωτογραφιών και οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο περιμετρικά του ναού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στο στάδιο επεξεργασίας του τρισδιάστατου μοντέλου να εντοπιστούν κενά και να δυσκολέψει τη δημιουργία επιφάνειας. Η έλλειψη πληροφορίας αποκαταστάθηκε μέσω της χρήσης των εργαλείων των λογισμικών σε ένα βαθμό. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί με επιπλέον συλλογή δεδομένων, με περισσότερες σαρώσεις αλλά και με επιπλέον επίγειες ή εναέριες λήψεις. Να τονιστεί, επίσης, ότι κατά την επεξεργασία της επιφάνειας υπήρξε γενικότερη καθυστέρηση των εργασιών λόγω του τεράστιου όγκου των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Με την ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας, νέες τεχνολογικές μέθοδοι έχουν προσφέρει δυνατότητες που έχουν μεταλλάξει και διευκολύνει κατά πολύ το έργο των ερευνητών, συμπεριλαμβανομένων και των αρχαιολόγων. Η φωτογραμμετρία, οι διασκοπήσεις, η εφαρμογή συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και η χρονολόγηση με νέους τρόπους παρέχουν στους ερευνητές πιο αποτελεσματικές μεθόδους τόσο στη μελέτη και την ερμηνεία όσο και στην καταγραφή και αποτύπωση των καταλοίπων του παρελθόντος. Βασικό στόχο αποτελεί η διατήρηση και προφύλαξή τους από κάθε είδους φθορά και καταστροφή προκειμένου να κληροδοτηθούν στις επόμενες γενιές.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων με νέες τεχνολογίες και συγκεκριμένα η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου του ναού της Δήμητρας στη Νάξο. Στόχος είναι η μελέτη, προβολή και ανάδειξη του μνημείου αυτού μέσα από την εκμετάλλευση και αξιοποίηση των τρισδιάστατων αποτυπώσεων αλλά και η εκμάθηση νέων τεχνολογιών καθώς και η χρήση των παραγόμενων προϊόντων στην αρχαιολογική έρευνα.

Η τρισδιάστατη αποτύπωση ενός μνημείου λειτουργεί ως ένα ερμηνευτικό εργαλείο στα χέρια των μελετητών και διευκολύνει την εργασία τους αφού την καθιστά πιο ποιοτική και παραγωγική. Με την εφαρμογή της τρισδιάστατης τεχνολογίας στην αρχαιολογική επιστήμη δίνεται η ευκαιρία για μελέτη και έρευνα χωρίς τη φυσική παρουσία των ερευνητών στο πεδίο. Μπορούν να εξετάσουν το αντικείμενο από όλες τις πλευρές, παίρνοντας μετρήσεις, μελετώντας όψεις, κατόψεις, τομές κ.τ.λ. με περισσότερη ευκολία και σε λιγότερο χρόνο. Οι δυνατότητες που προσφέρει ένα τρισδιάστατο μοντέλο ποικίλλουν, από την απλή αναπαράσταση μέχρι και την απόδοση της πληροφορίας για το είδος του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί¹³¹. Τα προϊόντα αυτά εκτός από μετρητική αξία, έχουν και αξία ως υλικό ανάδειξης και προβολής ενός μνημείου, γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δημιουργίας μιας video περιήγησης, μιας εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας ή μέσω της ανάπτυξης ενός παιχνιδιού σοβαρού σκοπού. Συνοψίζοντας, η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου είναι μια διαδικασία χρονοβόρα και κάθε προσπάθεια για εφαρμογή χρήζει προσεκτικής και διεπιστημονικής μελέτης. Οι δυνατότητες, όμως, και τα οφέλη που προσφέρει τόσο στην αρχαιολογική έρευνα όσο και σε τομείς άλλων επιστημών είναι πολλαπλά και πολυσήμαντα.

¹³¹ Georgopoulos 2014, 10

Στο πλαίσιο των παραπάνω παρατηρήσεων κινήθηκε και η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου για τον ναό της Δήμητρας. Αποδείχτηκε μια διαδικασία-πρόκληση με ιδιαιτερότητες και περιορισμούς που ξεκινούν από τη λήψη των πρωτογενών δεδομένων μέχρι και την επεξεργασία και παραγωγή των τελικών προϊόντων. Το αρχικό στάδιο κατά το οποίο πραγματοποιήθηκε η συλλογή των πρωτογενών δεδομένων από την περιοχή μελέτης, περιελάμβανε εργασίες που αφορούσαν συνδυασμό σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης. Απαραίτητη ήταν φυσικά και η εντρύφηση στην ιστορία και την αρχιτεκτονική δομή του μνημείου, προκειμένου να δοθεί μια όσο το δυνατόν πληρέστερη αφήγηση της πορείας του μέσα στο χρόνο. Ακολούθησε η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων μέσω της χρήσης σύγχρονων λογισμικών, που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με υφή από το οποίο προέκυψαν ως παράγωγο προϊόν και οι ορθοφωτογραφίες.

Πέραν όμως από την υλοποίηση απλώς του αντικείμενου της μελέτης, ουσιαστικός στόχος ήταν η εκμάθηση των νέων μεθόδων και δεδομένων που έχουν εμφανιστεί προς επικουρία της αρχαιολογίας. Η αποκόμιση από την εργασία είναι πως οι πολλές και απαραίτητες πλέον δυνατότητες της σύγχρονης τεχνολογίας όχι μόνο βοηθούν αλλά πολύ παραπάνω, συμβάλλουν καθοριστικά στην πρόοδο της αρχαιολογικής έρευνας. Το τελικό συμπέρασμα όμως που προκύπτει είναι ότι με τη συνεργασία ειδικοτήτων διαφορετικών επιστημονικών πεδίων, μπορούν να τεθούν σε εφαρμογή ιδέες που θα βελτιώνουν και θα εξελίσσουν συνεχώς την έρευνα. Επομένως, η διεπιστημονικότητα είναι εφικτή και αναγκαία για την επιδίωξη του επιστημονικού στόχου, την προαγωγή της ανθρώπινης γνώσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Aitken M. J. 1974. *Physics and Archaeology*. Second edition. Clarendon Press, Oxford.

American Society of Photogrammetry 1980. *Manual of photogrammetry*. Fourth edition.

Aloupi E., Kilikoglou V. and Day. P. M. 2000. *Provenance and technological characterization of fine tableware*. Στο Π. Γ. Θέμελης (επιμ.).

Bery A. A. 2012. *Correlation of Seismic P-Wave Velocities with Engineering Parameters (N Value and Rock Quality) for Tropical Environmental Study*. International Journal of Geosciences 3 (4), 749 - 757.

Bintiliff J. L. 2005. *Human impact, land-use history, and the surface archaeological record: A case study from Greece*. Geoarchaeology 20, 135.

Boehler W., Marbs M. 2002. *3D scanning instruments*. In: Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop. “On Scanning For Cultural Heritage Recording”. Corfu.

Calley E. R. 1967. *The early history of chemistry in the science of archaeology*. Journal of Chemical Education., 120–123.

Cheilakou E., Dritsa V., Saint A., Theodorakeas P., Kouli M., Kostanti K. and Christopoulou A. 2014. *Noninvasive identification of pigments on mycenaean wallpaintings (14th-12th century BC) from the archaeological sites of Mycenae and Tiryns, Peloponnese*. In Proceedings of the 9th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Ankara, Turkey, METU.

Damon P. E. κ.ά. 1989. *Radiocarbon dating of the Shroud of Turin*, Nature Vol. 337, No. 6208, 611-615, 16th February.

David A. & Linford N. 2000. *Physics and archaeology*. Physics World, 13(5), 27–32.

Day P. M., Kiriati E., Tsolakidou A. and Kilikoglou V. 1999: Group Therapy in Crete: *A comparison between analyses by NAA and Thin Section Petrography of Early Minoan pottery*. JAS 26, 1025–36.

Ehmann W. D. & Vance D. E. 1998. *Ραδιοχημεία & Πυρηνικές Μέθοδοι Αναλύσεως*. Μακεδονικές Εκδόσεις.

Foresman T.W. 1998. *The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Georgopoulos, A. 2014. *Cultural Heritage Photogrammetry*. Lecture Notes for the INNOVA Masters SEAV.

Gourad K. 1999. *Geographic Information Systems in Archaeology: A Survey, Unpublished Master thesis*. Hunter College of the City University of New York, Department of Anthropology, USA.

Gruben G. 1989. Das älteste marmorne Volutenkapitell. *Istanbulur Mitteilunger* 39, 161-172.

Gruben G. 2000. *Ιερά και Ναοί των Αρχαίων Ελλήνων*, Καρδαμίτσα.

Gruben, G. 2001. *Ο Αρχαϊκός Ναός στο Γύρουλα Σαγκρίου Νάξου*. Στο Νάξος, το Αρχαίο Ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί, 14-20. Αθήνα.

Hanke K., Grusenmeyer P. 2002. *Architectural Photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools*. Tutorial of Architectural Photogrammetry, Corfu.

Harris, T.M. and Lock, G.R. 1995. *Toward an Evaluation of GIS in European Archaeology: the Past, Present and Future of Theory and Applications*. In: Lock G., Stančić Z. (Eds.), *GIS and archaeology: a European perspective*, Taylor & Francis, London, 349-365.

Hertz N., and Garrison E G. 1998. *Geological Methods for Archaeology*. Oxford University Press.

Hoffman M. C. 2003. *The ethics of public data dissemination: Finding the “public” in public data*. In Proceedings of the Second Annual Conference on PPGIS. Portland. 273-282.

Hullo J. F., Grussenmeyer P. & Fares S. 2009. *Photogrammetry and dense stereo matching approach applied the documentation of the cultural heritage of Kilwa (Saudi Arabia)*. CIPA 2009. Kyoto, Japan.

Kessissoglou M., Mirtsou E., Misaelides P., Wolf G. 1989. *Analysis of archaeological amber from the Aghia Paraskevi cemetery, near Thessaloniki*. By I.N.A.A. and I.R. spectrometry. *J. Trace and Microprobe Techniques* 7 195.

Kohler, T. A. and Parker S. C. 1986. *Predictive models for archaeological resource location*. In: Schiffer M. B. (Ed.), *Advances in Archaeological Method and Theory* 9, Academic Press, New York, 1986, 397-452.

Kvamme K. L. 1992. *A predictive site location model on the high plains: an example with an independent test*. *Plains Anthropologist*, 37:138, 19-40.

Lambrinoudakis V. 2001. *The emergence of the city-state of Naxos in the Aegean*. In: M. C. Lentini (Hrsg.), *The two Naxos cities: A fine link between the Aegean Sea and Sicily*. 15-21.

Lambrinoudakis V. 2002. *Rites de consécration des Temples à Naxos*. In P. Linant de Belle Fonds (Hrsg.), *Actes du Colloque de la Villa Kerylos*. 12-14.

Laurentini A. 1994. *The visual hull concept for silhouette-based image understanding*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 16 (2) 150-162.

Livieratos E. 1992. *Empiric, topographic or photogrammetric recording?* Answers to properly phrased questions, in Proceedings of the congress, “Terrestrial Photogrammetry and Geographic Information Systems for the documentation of the National Cultural Heritage”. Thessaloniki.

Lock, G. 2003. *Using Computers in Archaeology*. Towards virtual pasts, London, Routledge.

Marble D. F. 1990. *The Potential Methodological Impact of Geographic Information Systems on the Social Sciences*. In Allen K. M. S., Green S. W. and Zubrow E. B. W. (Eds.), *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. 9-21. London: Taylor and Francis.

Menci, L. 2000. *StereoSpace: an idea for photogrammetric data collection*. Proceedings of XIX ISPRS Congress. Amsterdam.

Mills J. and Andrews D. 2011. “*3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture*”. English Heritage, 2nd edition.

Pavlidis G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V. και Chamzas C., 2007. *Methods for 3D digitization of Cultural Heritage*, Journal of Cultural Heritage, Volume 8, Issue 1, 93-98.

Philippakis S., Perdikatsis V. and Paradellis T. 1976. *Analysis of Blue pigment from the Greek Bronze Age*. Studies in Conservation. 21, 143-153.

Sarris, A., Weymouth, J., Stein, C., Cullen, B. & Wiseman, J., 1996. *The Nikopolis Project -Integration of Geophysical Prospection, Satellite Remote Sensing and G.I.S. Techniques in the Study of Epirus, Greece*. International Symposium of Archaeometry, [Archaeometry 96], May 20-24, 1996, Urbana, Illinois (U.S.A.).

Sarris A. 1998. *Geophysical Issues in Archaeological Research: Paradigms, Uncertainties & Inferences*. Invited talk at the International Symposium on Remote Sensing in Archaeology, Boston University. Boston, U.S.A.

Sarris Apostolos, Manataki Meropi, Driessen Jan και Déderix Sylviane. 2017. *Revealing the structural details of the minoan settlement of Sissi, eastern Crete, through geophysical investigations*. 12th International Conference of Archaeological Prospection, Bradford, 206-208.

Stein C. A. & Cullen B. C. 1993. *Satellite Imagery and Archaeology: A Case Study from Nikopolis*. AIA meeting, Colloquium on “Human Societies and the Changing Landscape in Southern Epirus, Greece”. 27-30. Washington, D.

Tosovic S., Sablatnig R. , Kampe M. 2002. *On combining shape from silhouette and shape from structured light*. In: Wildenauer H., Kropatsch W., (Eds.), Proc. of 7th Computer Vision Winter Workshop. 108-118.

Tsioukas V. & Patias P. 2002. *Low cost 3D visualization and measuring ‘tool’ in the service of archaeological excavations*. In Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference, “The Digital Heritage of Archaeology”, Heraklion.

Tsokas G.N. and Papazachos C.B. 1992. *Two-dimensional inversion filters in magnetic prospecting: Application to the exploration for buried antiquities*. “Geophysics”, 57, 8, 1004-1013.

Tsokas G.N. 1993. *An Investigation of the effectiveness of inverse filtering in the geophysical search of archaeological sites*. Theory and Practice of Applied Geophysics, 7, Geophysical Exploration of Archaeological sites, 73-88.

Tsokas G.N., Giannopoulos A., Tsourlos P., Vargemezis G., Tealby J.M., Sarris A., Papazachos C.B. 1994. *A large scale geophysical survey in the archaeological site of Europos (northern Greece)*. “Journal of Applied Geophysics”, 32, 85-98.

Wagner GA (ed), 2007. *Einführung in die Archäometrie*. Springer, Berlin Heidelberg.

Wiseman, J. 1993. *Harbors, towns, and prehistory: survey and field school in Greece*. *CONTEXT* 11 (Nos1-2): 1-4.

Ελληνόφωνη

Γεωργόπουλος Α. 2008-2009. *Φωτογραμμετρία I - εισαγωγή στην φωτογραμμετρία*. Διαλέξεις μαθήματος 5^{ου} εξαμήνου, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.

Γεωργόπουλος Α. 2013. *Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.

Γεωργόπουλος Α. 2017. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων – Μέθοδοι Συλλογής Πρωτογενών Δεδομένων*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Ζαφειροπούλου Φ. 2015. *Νάξος. Τα μνημεία και το Μουσείο*. Αθήνα.

Ζαχαριάς Ν. 2017α. *Απόλυτες χρονολογήσεις και σφάλματα μετρήσεων*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Ζαχαριάς Ν. 2017β. *Μέθοδοι Φασματοσκοπίας – Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης: Εφαρμογές μέσα από τη μελέτη υαλωδών, μεταλλικών και σύνθετων υλικών*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας 2005. *Εγχειρίδιο τριδιάστατης ψηφιοποίησης ακίνητων μνημείων και χώρων*. DIGITECH III: Μελέτη τεχνολογιών ψηφιοποίησης σε τρεις διαστάσεις.

Καπαγερίδης Ι. 2006. *Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*. ΤΕΙ Κοζάνης. Τμήμα Γεωτεχνολογίας και Περιβάλλοντος. Κοζάνη.

Κοντολέων, Ν. 1954. *Ανασκαφή εν Νάξω*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας, τ. 109, 330-338. Αθήνα.

Κορρές, Μ. 2001. *Η Χριστιανική Βασιλική στο Γύρουλα Σαγκρίου Νάξου*. Στο Νάξος, το Αρχαίο Ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί, 21-26. Αθήνα.

Κουή Μ., Χειλάκου Ε., Θεοδωρακέας Π., Δρίτσα Β., Αβδελίδης Ν. 2015. *Μη Καταστρεπτικές και Φασματοσκοπικές Μέθοδοι Εξέτασης των Υλικών. Θεωρία, Τεχνικές και Εφαρμογές*. Αθήνα.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1976. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1976, 295-308.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1977. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1977, 378-386.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1978. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1978, 211-218.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1979. *Ανασκαφές Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1979, 249-258.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1981. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1981, 293-297.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1982. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1982, 252-259.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1983. *Ανασκαφή Νάξου: Σαγκρί*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1983, 297-298.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1984. *Ανασκαφή Νάξου*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1984, 301-312.

Λαμπρινουδάκης Β., Gruben G., Κορρές Μ. 1985. *Ανασκαφή Νάξου: Σαγκρί-Γύρουλας*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1985, 158-161.

Λαμπρινουδάκης Β. 1991. *Ανασκαφή Νάξου: Ιερό στον Γύρουλα*. Στο Πρακτικά της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρίας του έτους 1991, 266-271. Αθήνα.

Λαμπρινουδάκης Β. 2001. *Το αρχαίο ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί της Νάξου*. Στο Νάξος: Το αρχαίο ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί. Αθήνα. 7-13.

Λαμπρινουδάκης Β. 2005. *Νάξος, Ιστορικοί Χρόνοι*. Στο Αρχαιολογία: νησιά του Αιγαίου, επιμ. Βλαχόπουλος Α. 278-285. Εκδόσεις Μέλισσα. Αθήνα.

Λυριτζής Ι. 1994. *Αρχαιομετρία. Μέθοδοι Χρονολογήσεις στην Αρχαιολογία*. Εκδόσεις Καρδαμίτσα. Αθήνα.

Λυριτζής Ι. 1998. *Το μυστήριο των Ελληνικών Πυραμιδοειδών*. Εκδόσεις Ακαδημίας Δελφικών Μελετών. Αθήνα.

Λυριτζής Ι. 2007. *Φυσικές Επιστήμες στην Αρχαιολογία*. Εκδόσεις Τυπωθήτω. Αθήνα.

Λυριτζής Ι. 2017. *Φασματοσκοπία ακτίνων Χ φθορισμού I (βασικές αρχές και μετρήσεις). Μέθοδοι χαρακτηρισμού και προέλευσης αρχαιολογικών – μη καταστρεπτικές μέθοδοι αναλύσεις*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Λυριτζής Ι. 2017. *Μέθοδοι Χρονολόγησης (Οψιανού, Αρχαιομαγνητισμού, Τροχιών Σχάσης, Φωταύγεια)*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Μπιλής Θ. & Μαγνήσαλη Μ. 2001. *Ανάδειξη του Αρχαιολογικού Χώρου του Γύρουλα Σαγκρίου Νάξου*. Στο *Νάξος*, το Αρχαίο Ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί, 32-37. Αθήνα.

Πανταζής Γ. 2010. *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Τεχνητών και Φυσικών Κατασκευών σε Μεγάλες Κλίμακες*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.

Πατιάς Π. 1991. *Εισαγωγή στην Φωτογραμμετρία*. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Πατιάς Π. 2008. *Φωτογραμμετρία και τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων και ευρημάτων με απλά λόγια*. Ανάσκαμμα 02.

Παυλίδης Γ., Σεβετλίδης Β., Χαραλαμπίδου Μ. 2014. *3DCMS - Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα Ανάπτυξης και Διαχείρισης 3D Εφαρμογών Πολιτιστικού Περιεχομένου. Τεχνική Αναφορά 2.1.1. Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικείμενων και χώρων*.

Πλάντζος Δ. 2011. *Ελληνική Τέχνη και Αρχαιολογία (1100 – 30 π.Χ.)*. Εκδόσεις Καπόν.

Σαρρής Α., Γκιούρου Α., Καρίμαλη Ε., Κενγάς Ε., Soetens S. & Τοπούζη Σ. 1999. *Εφαρμογές των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στην Αρχαιολογία: Μία Νέα Προσέγγιση στην Αρχαιολογική Έρευνα και Διαχείριση της Πολιτιστικής Κληρονομιάς*. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Δυνατότητες και Εφαρμογές. Προοπτικές και Προκλήσεις". Αθήνα.

Σαρρής Α. 2017. *Δορυφορικές Διασκοπήσεις – GIS*. Σημειώσεις για το ΠΜΣ: Εφαρμοσμένες Αρχαιολογικές Επιστήμες. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Σημαντώνη-Μπουρνιά Ε. 2001. *Η Κεραμική και τα Μικρά Ευρήματα από το Ιερό του Γύρουλα Σαγκρίου Νάξου*. Στο *Νάξος* το Αρχαίο Ιερό του Γύρουλα στο Σαγκρί, 27-31. Αθήνα.

Στεφάνου Α. Β. 2018. *Η Συμβολή των Νέων Τεχνολογιών στην Αρχαιολογία. Η Περίπτωση του Ναού της Δήμητρας στο Σαγκρί Νάξου*. ΠΜΣ: Αρχαιολογία της Ανατολικής Μεσογείου. Από την Προϊστορική Εποχή ως την Ύστερη Αρχαιότητα: Ελλάδα Αίγυπτος Εγγύς Ανατολή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Τιβέριος Μ. Α. 2008. *Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Αρχαιολογία*. Στο Ψηφιακή Καινοτομία για την Κοινωνία της Γνώσης. Ερευνητικό Κέντρο Αθηνά. Ίδρυμα Ευγενίδου. Αθήνα.

Τζανάκης Δ., Βασιλάκης Β. 2014. *Χρήση λογισμικού για την 3D ψηφιακή καταγραφή αντικειμένων και μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς με σκοπό την αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση*. Στο Πανελλήνιο Συνέδριο «Η εκπαίδευση στην εποχή των Τ.Π.Ε.»

Τοκμακίδης Κ. 2014. *Αποτυπώσεις Μνημείων & Αρχαιολογικών Χώρων*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Α.Π.Θ.

Τσάιμου Κ. Γ. 1993. *Αρχαιομετρία – Αρχαιολογία*. Πυρφόρος 104-105.

Τσιούκας Β. 2009. *Χρήση νέων τεχνολογιών στην 3D αποτύπωση μνημείων και χώρων*. Σημειώσεις για το σεμινάριο του ΤΕΕ. Ξάνθη, Ελλάδα.

Τσόκας Γ. Ν., Βαργεμέζης Γ., Σταμπολίδης Α., Τσούρλος Π., Παπακωνσταντίνου Μ. Φ., Καραντζαλη Ε., Σιπή Μ. και Τιλελή Φ. 2012. *Γεωφυσική διασκόπηση στο πλαίσιο των σωστικών ανασκαφών της ΙΔ' ΕΠΚΑ για τα μεγάλα δημόσια έργα του Νομού Φθιώτιδος*. Το Αρχαιολογικό Έργο στη Θεσσαλία και Στερεά Ελλάδα, 3η Συνάντηση, Βόλος, 12-15 Μαρτίου, 2009. Τόμος Πρακτικών, 1269-1275.

Τσόκας Γ., Τσούρλος Π. 2017. Εντοπισμός και Χαρτογράφηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων με Γεωφυσικές Μεθόδους. (<http://clioturbata.com/απόψεις/tsokas-tourlos-geologyandarchaeology/>)

Φιλανιώτου Ο. 2005. *Νάξος, Προϊστορικοί Χρόνοι*. Στο Αρχαιολογία: νησιά του Αιγαίου, επιμ. Βλαχόπουλος Α. 272-278. Εκδόσεις Μέλισσα. Αθήνα.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ (Τελευταία επίσκεψη Αύγουστος 2018)

http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=53

http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=64&Itemid=53

<https://www.faro.com/products/product-design/faro-scene/>

<http://www.nikias.gr/ell/categories/αρχαιομετρία>

https://el.wikipedia.org/wiki/Σύστημα_Γεωγραφικών_Πληροφοριών

https://en.wikipedia.org/wiki/Shroud_of_Turin

<http://www.ysma.gr/γεωμετρική-τεκμηρίωση>