



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ  
ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ  
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ»**

Συγγραφέας

**Λυκουρόπουλος Δημήτριος  
ΑΜ: tg 13071**

Επιβλέπων :

**Παγούνης Βασίλειος, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.**

**Αθήνα, Φεβρουάριος 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**"MODERN GEODATIC METHODOLOGIES OF SURVEYING AND PROMOTION  
OF MONUMENTS. THE MEANING OF CULTURAL ACTIVITY."**

**Student name and surname: Lykouropoulos Dimitrios**  
**Registration Number: tg 13071**

**Supervisor name and surname:**  
**Pagounis Vasilios, Professor at the University of West Attica**

**Athens, February 2022**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ  
ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ  
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ»**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
	Παγούνης Βασίλειος	Καθηγητής ΠαΔΑ	
	Ανδριτσάνος Βασίλειος	Αναπλ. Καθηγητής ΠαΔΑ	
	Γιαννίου Μιχαήλ	Αναπλ. Καθηγητής ΠαΔΑ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λυκουρόπουλος Δημήτριος του Μιχαήλ με Αριθμό Μητρώου tg13071 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Λυκουρόπουλος Δημήτριος



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ**» εκπονήθηκε στο στάδιο λήψης διπλώματος από την Σχολή Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παγούνη Βασίλειο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του ΠΑΔΑ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία και την επιστημονική καθοδήγηση και τις υποδείξεις του καθ' όλη την διάρκεια της.

Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Ανδριτσάνο Βασίλειο και κ. Γιαννίου Μιχαήλ οι οποίοι είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής εξέτασης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την υπομονή τους και την στήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022

Λυκουρόπουλος Δημήτριος

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Οδικός χάρτης για τα Αρχαιολογικά εκθέματα στην Αμφίπολη – Πηγή: OpenStreetMap.org.....	14
Εικόνα 2. Αεροφωτογραφία από τον Αρχαιολογικό χώρο της Αμφίπολης (Αρχαία πόλη της Αμφίπολης) – Πηγή: CNN.gr.....	14
Εικόνα 3. Τύμβος Καστά, με αναπαράσταση του Λέοντα στη φυσική του θέση – Πηγή: yougoculture.com.....	15
Εικόνα 4. Το Βορειοδυτικό τμήμα του μαρμάρινου περιβόλου, περιμετρικά του τύμβου.....	16
Εικόνα 5. Μελέτες σχετικά με το βάθρο του Λέοντα που παρουσιάστηκαν στο ΑΕΜΘ το 2016.....	17
Εικόνα 6. Ο Λέων της Αμφίπολης – Πηγή: el.wikipedia.org.....	18
Εικόνα 7. Διαδικασίες αναστήλωσης Λέων (1916 - 1937) – Πηγή: babel.hathitrust.org.....	18
Εικόνα 8. Εικόνες του μαρμάρινου περιβόλου Πηγή: volnypress.gr.....	19
Εικόνα 9. Είσοδος τάφου της Αμφίπολης.....	20
Εικόνα 10. Οι τοποθεσίες που βρέθηκαν τα χαμένα τμήματα του Τύμβου Καστά, λόγω της Ρωμαϊκής κατοχής – Πηγή: enneaodoi.wordpress.com.....	20
Εικόνα 11. Οι σφίγγες στην είσοδο του τάφου – Πηγή: Naftemporiki.gr.....	21
Εικόνα 12. Καρυάτιδες και εργασίες στήριξης οροφής.....	22
Εικόνα 13. Βοτσαλωτό ψηφιδωτό που καλύπτει τμήμα του δαπέδου στον δεύτερο θάλαμο του τάφου – Πηγή: theamphipolistomb.com.....	23
Εικόνα 14. Τοιχογραφίες φτερωτής και ανθρώπινης μορφής αντίστοιχα – Πηγή: theamphipolistomb.com.....	23
Εικόνα 15. Ψηφιακή μορφή του εσωτερικού του τάφου.....	24
Εικόνα 16. Παράδειγμα ψηφιακής απεικόνισης τάφου, με πλήρη χρωματισμό και τοποθέτηση χαμένων τμημάτων – Πηγή: theamphipolistomb.com.....	25
Εικόνα 17. Επίγειος σαρωτής φάσης, σε πλήρη διάταξη – Πηγή: Heritage3D.org.....	33
Εικόνα 18. Focuss 350/350 Plus (FARO, 2020).....	35
Εικόνα 19. Leica RTC360 (Leica Geosystems, 2020).....	35
Εικόνα 20. Είδη Σαρωτών.....	36
Εικόνα 21. Σύγκριση Σαρωτή Παλμού και Διαφορά φάσης – Πηγή: zenodo.org.....	38
Εικόνα 22. Παράδειγμα λειτουργίας Σαρωτή Τριγωνισμού – Πηγή: researchgate.net.....	39
Εικόνα 23. Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση ενός ή δυο αισθητήρων τεχνολογίας CCD – Πηγή: ecourses.dbnet.ntua.gr.....	39
Εικόνα 24. Ενδεικτικά φωτοσταθερά που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες αποτύπωσης μνημείων – Πηγή: sgeotopo.gr.....	41
Εικόνα 25. Προσημασμένα φωτοσταθερά στον αριστερό πλευρικό τοίχο, στην είσοδο του τάφου.....	50
Εικόνα 26. Προσημασμένα φωτοσταθερά περιμετρικά από τις σφίγγες στην είσοδο του τάφου.....	50
Εικόνα 27. Συνένωση διαδοχικών σαρώσεων 33 & 32 με επίτευξη ακρίβειας 8 mm.....	52
Εικόνα 28. Ταφικό μνημείο.....	54
Εικόνα 29. Νοτιοδυτικό τμήμα περιβόλου.....	54

Εικόνα 30. Δημοσίευση Modelspace της στάσης 24 σε πανοραμική εικόνα μέγιστης ανάλυσης 5120x5120. ....	55
Εικόνα 31. Συνενωμένο νέφος από 8 στάσεις σαρώσεις.....	56
Εικόνα 32. Παράδειγμα περιήγησης στο μοντέλο Kindergarten – Πηγή: 195.130.106.58 .....	57
Εικόνα 33. Τοπογραφικό Λόφου Καστά χρονολογίας 2010.....	58
Εικόνα 34. Τοπογραφικό Λόφου Καστά χρονολογίας 2014.....	59
Εικόνα 35. 3D απεικόνιση τοπογραφικού 2010 .....	61
Εικόνα 36. 3D απεικόνιση τοπογραφικού 2014 .....	62
Εικόνα 37. Διαφορά υψομέτρου μεταξύ 2010 αποτύπωσης (κόκκινη απόχρωση) και 2014 αποτύπωσης (μπλε απόχρωση).....	63
Εικόνα 38. Τομές θύρας εισόδου και Καρυάτιδων. Εργασίες εύρεσης κλίσης.....	64
Εικόνα 39. Κάτοψη τάφου .....	64
Εικόνα 40. Ορθοφωτομωσαϊκό αριστερού πλευρικού τοίχου εισόδου - Πηγή : “Τεκμηρίωση Μνημείων και Συνόλων” .....	65
Εικόνα 41. 3D μοντέλο σφιγγών με υφή – Πηγή : “Τεκμηρίωση Μνημείων και Συνόλων” .....	65
Εικόνα 42. Προδιαγραφές σαρωτή Leica ScanStation 2 – Πηγή: leica-geosystems.com.....	67

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Σύγκριση Focus S 350 Plus και Leica RTC 360.....	35
Πίνακας 2. Μέθοδοι αποτύπωσης μνημείων (Πατίας, 2009).....	46
Πίνακας 3. Ακρίβεια συνένωσης εξωτερικού τμήματος μνημείου .....	52
Πίνακας 4. Ακρίβεια συνένωσης εσωτερικού τμήματος μνημείου .....	53
Πίνακας 5. DEM τοπογραφικών 2010 και 2014 αντίστοιχα.....	61
Πίνακας 6. Δέκα επώνυμες κατασκευαστικές εταιρείες, παραγωγής Επίγειων 3D Σαρωτών Laser .....	68
Πίνακας 7. Software για επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων από επίγειους σαρωτές Laser .....	69

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>6</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>8</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>10</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - Εισαγωγή</b> .....	<b>11</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - Ιστορικά Στοιχεία Τύμβου Καστά</b> .....	<b>13</b>
2.1 Ανασκαφές.....	16
2.2 Ο τάφος της Αμφίπολης.....	21
2.3 Σήμερα .....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – Νομοθεσία και Μέθοδοι Αποτύπωσης μνημείων</b> .....	<b>26</b>
3.1 Η Έννοια της Πολιτιστικής Δραστηριότητας .....	26
3.2 Μέθοδοι Αποτύπωσης ενός Μνημείου .....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – Επίγειος τρισδιάστατος Σαρωτής Laser</b> .....	<b>33</b>
4.1 Εισαγωγή .....	33
4.2 Είδη Σαρωτών.....	36
4.3 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων .....	40
4.4 Ακρίβεια Σάρωσης.....	43
4.5 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων με τη χρήση Σαρωτή.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> -Επεξεργασία και Δημοσιοποίηση Νέφους Σημείων</b> .....	<b>48</b>
5.1 Εργασίες Πεδίου .....	48
5.2 Εργασίες Γραφείου .....	51
5.3 Δημοσιοποίηση.....	55
5.4 Σύγκριση Ψηφιακών μοντέλων εδάφους 2010 και 2014.....	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> – Συμπεράσματα</b> .....	<b>63</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	<b>67</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II</b> .....	<b>68</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III</b> .....	<b>69</b>
<b>Αναφορές</b> .....	<b>70</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Πολιτιστική κληρονομιά ενός κράτους αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας του και του πολιτισμού του, τόσο σε Εθνικό όσο και σε Παγκόσμιο επίπεδο. Στην πολιτιστική κληρονομιά κατατάσσονται τα μνημεία και ο περιβάλλοντας χώρος. Προκειμένου να διασφαλιστεί η προστασία τους αναπτύχθηκαν νομοθεσίες που αποσκοπούν στην συντήρηση, την αποκατάσταση και την διάδοση τους στην πάροδο των χρόνων.

Προκειμένου να εξασφαλιστούν τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη σύγχρονων γεωδαιτικών μεθοδολογιών αποτύπωσης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας καταφέρνει να διευκολύνει το έργο των μελετητών ξεπερνώντας χρόνια ζητήματα και αποδίδοντας ακριβέστερα και πιο παραγωγικά δεδομένα.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να αναδειχθούν αυτές οι νέες μεθοδολογίες αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία της γεωμετρικής αποτύπωσης μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Επιπλέον θα αναλυθεί η υπάρχουσα νομοθεσία, όπως και η έννοια της πολιτιστικής δραστηριότητας που τα περιβάλλει.

Ακόμα θα αναπτυχθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην τοπογραφική μελέτη του Τύμβου Καστά, από τις προγενέστερες μετρήσεις με τη χρήση γεωδαιτικών σταθμών έως και τη χρήση σύγχρονων επίγειων 3D Σαρωτών Laser. Τέλος, παρουσιάζεται η σύγκριση των παραγόμενων αποτελεσμάτων από την κάθε μία μεθοδολογία και η δημοσιοποίηση του ψηφιακού μοντέλου του μνημείου για σκοπούς διαδικτυακής περιήγησης και ανάδειξης του.

## **ABSTRACT**

The cultural inheritance of a state is an integral part of its history and culture, in national and global level. Monuments and the surrounding area are classified in the cultural heritage. In order to ensure their protection, laws have been developed aimed at their maintenance, restoration and dissemination over time.

In order to ensure the above, it is considered necessary to develop modern geodetic mapping methodologies. The evolution of technology succeeds to facilitate the work of scholars by overcoming chronic issues and providing more accurate and more productive data.

The purpose of the dissertation is to highlight these new mapping methodologies used in the process of geometric mapping of monuments and archaeological sites. In addition, the existing legislation will be analyzed, as well as the concept of the cultural activity that surrounds them.

The process followed in the topographic study of the Kasta Tomb will also be developed from the previous measurements using geodetic stations and modern ground 3D Laser Scanners. Finally, the comparison of the results produced by each methodology will take place with the publication of the digital 3D model of the monument for the purposes of internet browsing and its promotion.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - Εισαγωγή

Η επιστήμη της Τοπογραφίας αναπτύσσεται ραγδαία με την πάροδο των χρόνων και, ένας σημαντικός παράγοντας είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας. Νέες γεωδαιτικές μεθοδολογίες έρχονται με σκοπό να διευκολύνουν την διαδικασία αποτύπωσης απαιτητικών μελετών, βρίσκοντας λύση στα προβλήματα των προηγούμενων χρόνων. Η απόδοση της φυσικής γήινης επιφάνειας, αλλά και των αντικειμένων πάνω σε αυτή, αποκτά όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές. Εκτός του συνηθισμένου γεωδαιτικού σταθμού, αναπτύσσονται νέες γεωδαιτικές μεθοδολογίες που έχουν ως αποτέλεσμα τον ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης, ανακατασκευάζοντας το τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο, ξεπερνώντας προβλήματα που προκύπταν από την πολυπλοκότητα του σχήματός του, του μεγέθους ή της λεπτομέρειάς του. Τέτοιες μεθοδολογίες εφαρμόζονται πλέον στις αποτυπώσεις μνημείων και τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι οι Επίγειοι Τρισδιάστατοι Σαρωτές Laser (3D Terrestrial Laser Scanner). Η ανάπτυξη της τεχνολογίας συνέβαλε, τα τελευταία χρόνια, στο να φτάσουμε σε ακρίβειες του ενός χιλιοστού στον προσδιορισμό θέσης, με τη χρήση αυτών των οργάνων. Στις αποτυπώσεις μνημείων, είναι πλέον η χρήση τους συνηθισμένη και προτιμότερη έναντι άλλων προγενέστερων μεθόδων, όπως αυτή της αποκλειστικής χρήσης γεωδαιτικού σταθμού. Οι λόγοι επιλογής τους σε εργασίες τεκμηρίωσης μνημείων είναι, εξαιτίας της ευχέρειας στην αποτύπωση χώρων όπου το φυσικό ή τεχνητό φως δεν είναι διαθέσιμο, όπως και η μείωση του χρόνου της αποτύπωσης, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που προσφέρονται στην επεξεργασία των τελικών προϊόντων. Η ανάγκη του σύγχρονου ανθρώπου να γνωρίσει το παρελθόν και να το προφυλάσσει από την φθορά που επίκειται στα χρόνια ήταν, επίσης, ένας ακόμα λόγος για να αναπτυχθούν αυτές οι μεθοδολογίες. Οι εφαρμογές αυτές, περιλαμβάνουν τη γεωμετρική τεκμηρίωση των αρχαιολογικών χώρων στο σύνολο τους (γήινη επιφάνεια και σταθερά αντικείμενα), προκειμένου να καταγραφούν, αξιολογηθούν και να γίνει η αναπαράσταση της χωρικής πληροφορίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μας διατέθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα της αποτύπωσης που πραγματοποιήθηκε στην Αμφίπολη, για τον τύμβο Καστά. Ο επίγειος σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε στην προκειμένη περίπτωση είναι ο ScanStation της εταιρείας Leica Geosystems. Στόχος της εργασίας είναι η παραγωγή ενός ψηφιακού τρισδιάστατου μοντέλου του Τύμβου, και πιο συγκεκριμένα του κυρίου ταφικού μνημείου. Το τελικό παραγόμενο μοντέλο θα δημοσιευθεί στο Leica Publisher προκειμένου να είναι διαθέσιμο στον οποιοδήποτε άνθρωπο, από οποιοδήποτε σημείο της γης, να μπορέσει να επισκεφθεί ψηφιακά το εν λόγω μνημείο και να γνωρίσει την ιστορία του. Με τον τρόπο αυτό καταφέρνουμε να εξοικειωνόμαστε στην επεξεργασία και χρήση τέτοιου είδους λογισμικών και δεδομένων, ώστε να εξασφαλιστεί η ποιοτικότερη συντήρηση και διάδοση της πολιτισμικής κληρονομιάς από γενιά σε γενιά.

Τέλος, ο καθηγητής μας, μας παρείχε δεδομένα από προγενέστερες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί στον Τύμβο με χρήση γεωδαιτικών σταθμών. Τα δύο αυτά δεδομένα είναι το τοπογραφικό διάγραμμα του Τοπογράφου κ. Στ. Γούδα που συνέταξε το 2010, ένα αποτέλεσμα κοινής εργασίας της αρχαιολόγου κα. Αικ. Περιστέρη και

του κ. Ν. Μεντεσίδου που πραγματοποίησε την αποτύπωση – σχεδίαση. Όπως επίσης και το μεταγενέστερο τοπογραφικό διάγραμμα του συντάχθηκε το 2014 από το τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Τ.Ε.Ι. Αθήνας, μια εργασία που είχε ως στόχο οι φοιτητές να διερευνήσουν τις σύγχρονες γεωδαιτικές μεθόδους και δυνατότητες που χρησιμοποιούνται για τον αυτοματισμό των διαδικασιών της παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων στη γεωμετρική τεκμηρίωση ιστορικών μνημείων. Προκειμένου να εξεταστούν και να προκύψουν συμπεράσματα τόσο ως προς το αποτέλεσμα της αποτύπωσης (σε σύγκριση με τις νέες μεθόδους αποτύπωσης) όσο και από τη σύγκριση των δυο ετεροχρονισμένων τοπογραφικών, πραγματοποιήθηκε η μετάβαση τους σε ένα κοινό ψηφιοποιημένο υπόβαθρο με τη χρήση GIS λογισμικού, παράγοντας για το κάθε ένα, από ένα ξεχωριστό 3D ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μαζί με τα μέχρι τότε ευρήματα. Η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δυο μεθόδους αποτύπωσης μας βοηθάει στους λόγους επιλογής μια εκ των δυο σε μια παρόμοια εργασία που θα μπορούσε να προκύψει, ενώ η σύγκριση των δυο ψηφιακών μοντέλων από τα τοπογραφικά διαγράμματα, μας φανερώνει τις αλλαγές που προέκυψαν τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο από την εξέλιξη των ανασκαφών ως προς την ανακάλυψη νέων ευρημάτων.

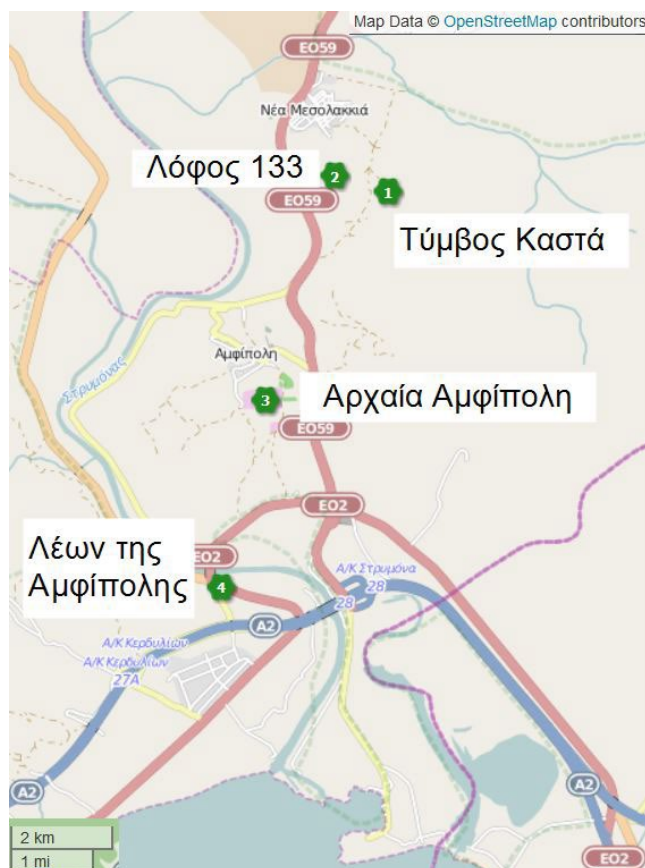
Σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη των σύγχρονων μεθοδολογιών για την αποτύπωση αρχαιολογικών χώρων και μνημείων, μέσω των δυνατοτήτων που προσφέρουν, σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης. Η μείωση του χρόνου εργασίας, η βελτίωση της ακρίβειας του τελικού προϊόντος, όπως επίσης και η καθιέρωση της τρισδιάστατης απόκτησης δεδομένων, είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που έφερε στον κόσμο της τοπογραφίας η εξέλιξη της τεχνολογίας. Ακόμα, πως η υφιστάμενη νομοθεσία καταφέρνει να εντάξει τους σαρωτές ως εργαλείο για την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων με στόχο την καλύτερη συντήρηση, ανακατασκευή και διάδοση της πολιτισμικής κληρονομιάς στο πέρασμα του χρόνου, εκμεταλλεύοντας πλήρως τη χρήση του διαδικτύου και των δυνατοτήτων που μας προσφέρουν τόσο τα νέα όργανα αλλά και τα λογισμικά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - Ιστορικά Στοιχεία Τύμβου Καστά

Ο τύμβος Καστά, τοποθετείται γεωγραφικά στην πόλη της Αμφίπολης, που ανήκει στον δήμο Αμφίπολης της Περιφερειακής Ενότητας Σερρών, της Κεντρικής Μακεδονίας. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι στα 73 μέτρα. Ιστορικά πρόκειται για μια αρχαία πόλη που ιδρύθηκε το 438/7 π.Χ. ως αποικία των Αθηναίων. Βρίσκεται κοντά στις εκβολές του Στρυμόνα και στο όρος Παγγαίου, μια θέση στρατηγικής σημασίας (Εικόνα 1). Η οικονομία της στηριζόταν στην γεωργική εκμετάλλευση των εύφορων παράκτιων ζωνών του Στρυμόνα, όπως επίσης και στο εμπόριο. Στην αρχαιότητα, η πόλη αποτελούσε έναν από τους πιο ισχυρούς δήμους της Μακεδονίας, χάρις της εκμετάλλευσης τόσο της θέσης της (υπερυψωμένη κοντά στη θάλασσα, με γόνιμο έδαφος) όσο και των κοιτασμάτων αργύρου, βοηθώντας την ευημερία της. Αυτοί ήταν και οι λόγοι, που συνετέλεσαν στην ιστορική μάχη της Αμφίπολης το 422 π. Χ. κατά την περίοδο του Πελοποννησιακού πολέμου (431 π.Χ. – 25 Απριλίου 404 π.Χ.), όπου η Πελοποννησιακή Συμμαχία (με κύρια δύναμη της, την Σπάρτη) υπερίσχυσε έναντι της Δηλιακής Συμμαχίας (υπό την στρατηγία της Αθήνας) (Παπαρρηγόπουλος Κωνσταντίνος & Καρολίδης Παύλος, 1972). Όπου οι Σπαρτιάτες με στρατηγό τον Βρασίδα κατάφεραν μια ολοκληρωτική νίκη έναντι των Αθηναίων, του στρατηγού Κλέωνα.

Πλέον, οι μόνιμοι κάτοικοι της περιοχής δεν ξεπερνούν τους 150, όμως η ιστορική της σημασία, λόγω του ταφικού μνημείου στον λόφο Καστά, χρίζει μεγάλου πολιτισμικού ενδιαφέροντος ιδιαίτερα μετά τις τελευταία περίοδο των ανασκαφών (2012 – 2014), δίνοντας ξανά ζωή και στο αρχαιολογικό μουσείο. Η ανέγερση του είχε ξεκινήσει το 1976, όμως οι εργασίες σταμάτησαν προσωρινά εξαιτίας της εύρεσης ενός καλά διατηρημένου τάφου κατά το στάδιο της ανασκαφής του οικοπέδου που θα στεγαζόταν το μουσείο (Βλασίδης Βλάσης, 2010). Εν τέλει, ο τάφος άνηκε στον σπαρτιάτη στρατηγό Βρασίδα, και τα ευρήματα αυτού εκτίθενται στο αρχαιολογικό μουσείο. Η έναρξη της λειτουργίας του έμελλε να πραγματοποιηθεί το 1995. Το Αρχαιολογικό μουσείο περιλαμβάνει πολλά από τα αρχαιολογικά ευρήματα που έχουν ανακαλυφθεί έως σήμερα, εκθέματα από τα προϊστορικά, ελληνιστικά, ρωμαϊκά, παλαιοχριστιανικά και βυζαντινά χρόνια. Εκτός των προαναφερθέντων, στο μουσείο εκτίθεται, προσωρινά, το κεφάλι της σφίγγας, και θα παραμένει εκεί μέχρις ότου να ολοκληρωθεί το στάδιο της μελέτης και της αναστήλωσης του στο πραγματικό μέρος που ανήκει, στην είσοδο του τάφου. Αξίζει να σημειωθεί πως στην είσοδο του μουσείου υπάρχει η προτομή του Δημήτρη Λαζαρίδη, του αρχαιολόγου που είχε αναλάβει το δύσκολο έργο της πρώτης περιόδου των ανασκαφών (1950 – 1970).



Εικόνα 1. Οδικός χάρτης για τα Αρχαιολογικά εκθέματα στην Αμφίπολη – Πηγή: [OpenStreetMap.org](https://www.openstreetmap.org)



Εικόνα 2. Αεροφωτογραφία από τον Αρχαιολογικό χώρο της Αμφίπολης (Αρχαία πόλη της Αμφίπολης) – Πηγή: [CNN.gr](https://www.cnn.gr)



Πιο συγκεκριμένα, γεωγραφικά πρόκειται για έναν λόφο κυκλικού σχήματος, με διάμετρο 158,40 μέτρα, με το ύψος του να μην ξεπερνάει αυτό των 23 μέτρων. Το ταφικό μνημείο που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό του λόφο, με χρονική τοποθέτηση στην πρώιμη ελληνιστική περίοδο (μεταξύ 323 - 30 π.Χ.), είναι γνωστό ως ο «Τάφος της Αμφίπολης». Άγνωστο παραμένει ακόμα και σήμερα, όπου και συνεχίζονται οι έρευνες, το φυσικό πρόσωπο στο οποίο ανήκει ο τάφος. Μερικά από τα σενάρια που έχουν εξεταστεί είναι πως πρόκειται για τον τάφο του Μεγάλου Αλεξάνδρου· ένα σενάριο που δεν συγκεντρώνει πολλές πιθανότητες καθώς βάσει αρχαιολογικών δεδομένων και ιστορικών μαρτυριών, είναι πιο πιθανόν να βρίσκεται στην Αλεξάνδρεια. Τέλος, έχουν αναφερθεί σενάρια για συγγενικό πρόσωπο του Μεγάλου Αλεξάνδρου, όπως η μητέρα του Ολυμπιάδα, ή ακόμα και ομαδικός τάφος Μακεδόνων πολιτών.



*Εικόνα 3. Τύμβος Καστά, με αναπαράσταση του Λέοντα στη φυσική του θέση – Πηγή: yougoculture.com*

Το μέγεθος, ωστόσο, όπως επίσης η ποιότητα των υλικών και η λεπτομέρεια των έργων που στολίζουν τον τάφο, αποδεικνύουν πως δεν γίνεται να ανήκει σε κάποιον άσημο Μακεδόνα. Αυτό υποδεικνύουν και τα αποτελέσματα της τελευταίας χρονικά ανασκαφικής ομάδας που δημοσιεύτηκαν τον Σεπτέμβριο του 2015, ό,τι δηλαδή το ταφικό μνημείο κατασκευάστηκε από τον Δεινοκράτη ύστερα από εντολή του Μεγάλου Αλεξάνδρου, ώστε να ταφεί η σωρός του πιο πιστού φίλου και στρατηγού του Μ. Αλέξανδρου, Ηφαιστίωνα.

## 2.1 Ανασκαφές

Οι ανασκαφές χωρίζονται σε δυο διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η **πρώτη περίοδος** τοποθετείται χρονικά την εικοσαετία μεταξύ του 1950 – 1970, όπου επικεφαλής των ανασκαφών ήταν ο αρχαιολόγος και καθηγητής στο Πανεπιστήμιο Κρήτης, κ. Δημήτρης Λαζαρίδης. Ενώ η **δεύτερη περίοδος**, κράτησε μόλις δυο χρόνια (2012 – 2014) με επικεφαλής την κα. Κατερίνα Περιστέρα, αρχαιολόγος και έφορος αρχαιοτήτων του νομού Σερρών.

Οι ανασκαφές στην περιοχή της Αμφίπολης, γνωστή για τον αρχαιολογικό της πλούτο, ξεκίνησαν το 1954. Έως το 1961 καταγράφονται ήδη τα πρώτα ευρήματα (υπολογίζεται πως ανευρέθηκαν περίπου 400 ταφικά μνημεία). Το 1964 καταγράφεται η πρώτη εμφάνιση τμήματος του μαρμάρινου περιβόλου που βρίσκεται περιμετρικά του λόφου (Εικόνα 4).



*Εικόνα 4. Το Βορειοδυτικό τμήμα του μαρμάρινου περιβόλου, περιμετρικά του τύμβου.*

Ο τρόπος που επέλεξε να προσεγγίσει ο Δημήτρης Λαζαρίδης την ανασκαφή, ήταν με δοκιμαστικές τομές επί του τύμβου. Με τον τρόπο αυτό έφτασε το συμπέρασμα πως πρόκειται για τεχνητό τύμβο αποτελούμενο από πολλαπλά επίπεδα λεπτής στρώσης άμμου και σκληρού χώματος. Αίτια των διαδικασιών αυτών ήταν ανακάλυψη 41 μέτρων της περιβόλου, ικανά ώστε να εκτιμηθεί με ασφάλεια η ύπαρξη σε κάποιο μέρος του τύμβου είτε ένας μεγάλος τάφος είτε ένα σύνολο ταφικών μνημείων.

Επιπλέον, μέρος των εργασιών αυτής της περιόδου, επικεντρώθηκε και στον γειτονικό λόφο ύψους 133 μέτρων. Εξαιτίας αυτού του φυσικού χαρακτηριστικού του, πήρε και την ονομασία «Λόφος 133». Οι λόγοι που οδήγησαν στο να συμπεριληφθεί στις μελέτες, ήταν τόσο η γεινίαση με τον τύμβο Καστά, αλλά και το ομαλό επίπεδο της κορυφής. Η τεχνική των τομών ακολουθήθηκε ρητά και σε αυτόν τον λόφο, με τα ευρήματα να είναι κυρίως όστρακα της νεολιθικής και πρώιμης εποχής του χαλκού. Τέλος, θεωρείται πως πρόκειται για την τοποθεσία της αρχαίας πόλης Εννέα Οδών, προ Αμφίπολης ιστορικά, και τα ευρήματα πηλού από στέγη και δάπεδο, σε συνδυασμό με τα θεμέλια εστιών, αποδεικνύουν πως κατοικήθηκε κατά την μεταγενέστερη νεολιθική εποχή.

Το διάστημα μεταξύ των δυο περιόδων, και πιο συγκεκριμένα από το 1971 έως το 1985, πραγματοποιήθηκαν εργασίες ανασκαφής στο βόρειο, δυτικό και ανατολικό μέρος του λόφου.

- Το 1972 γίνεται η αποκάλυψη του θεμέλιου στην κορυφή του τύμβου, όπου σε αυτό στεγαζόταν ο Λέων της Αμφίπολης (ύψους 5.3 μέτρων), από τον κ. Δημήτρη Λαζαρίδη. Πρόκειται για ένα ογκώδες λίθινο οικοδόμημα, τετράγωνου σχήματος, με πλευρές 10.15 μέτρων (Εικόνα 5).



*Εικόνα 5. Μελέτες σχετικά με το βάθρο του Λέοντα που παρουσιάστηκαν στο ΑΕΜΘ το 2016*

Οι αναφορές στον «Λέων της Αμφίπολης» ξεκίνησαν περί το 1916 από τους Άγγλους αξιωματικούς κατά τον Β' Βαλκανικό πόλεμο. Ενώ η αναστήλωσή του ολοκληρώθηκε το 1937 (Εικόνα 6 & Εικόνα 7) στο σημείο όπου βρέθηκαν τα τμήματά του, και που, πλέον, σήμερα στεγάζεται. Η τοποθεσία που σήμερα μπορεί κανείς να επισκεφτεί το μνημείο του Λέοντα της Αμφίπολης είναι στην παλιά γέφυρα του Στρυμόνα επί της επαρχιακής οδού Αμφίπολης – Σερραϊκής Ακτής (Broneer Oscar, 1941).





Εικόνα 6. Ο Λέων της Αμφίπολης – Πηγή: [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)



FIG. 12. View of Base during Reconstruction, Plaster Model in Rear.

Εικόνα 7. Διαδικασίες αναστήλωσης Λέων (1916 - 1937) – Πηγή: [babel.hathitrust.org](http://babel.hathitrust.org)

- Το 1982, ανακοινώνεται η ανακάλυψη 8 κιβωτίσχημων τάφων στο βόρειο τμήμα και άλλοι 2 στο ανατολικό του τύμβου. Ευρήματα που χρονολογούνται περί της όψιμης αρχαϊκής εποχής.

Στη δεύτερη περίοδο των ανασκαφών, με επικεφαλής την αρχαιολόγο κα. Κατερίνα Περιστέρη, ολοκληρώθηκε η αποκάλυψη του μήκους 497 μέτρων και ύψους 3 μέτρων περίβολου. Το υλικό κατασκευής είναι από μάρμαρο Θάσου και υπολογίζεται πως χρειάστηκαν περίπου 2500 κυβικά μέτρα. Πιθανότατα πρόκειται για το πιο καλοδιατηρημένο εύρημα του τύμβου, αφού όπως παρατηρείται από τις εικόνες παρακάτω, ο χρόνος δεν κατάφερε να τον επηρεάσει σημαντικά. Επίσης μέρη του περίβολου, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 8), έχουν αποδομηθεί. Η αποδόμηση του σύμφωνα με τον πρώτο χρονικά Έλληνα μελετητή του περίβολου, τον καθηγητή κ. Γ. Μπακαλάκη (Μεντίζης Άρης, 2014), βασίζεται στην κατάληψη της Αμφίπολης από του Θρακιώτες κατά τον Β' Μιθριδατικό Πόλεμο, που έλαβε χώρα περίπου το 83-81 π.Χ.. Ωστόσο, τόσο τα αποδημημένα τμήματα που βρέθηκαν στο φράγμα του Στρυμόνα, έχοντας χαραγμένα ονόματα ελληνικής, μικρασιατικής όσο και ρωμαϊκής προέλευσης, όσο και τα χρονικά περιθώρια μια τέτοιας ενέργειας δεν συμβαδίζουν ιστορικά. Το επικρατέστερο σενάριο, που αναλύεται διεξοδικά σε μεταπτυχιακή εργασία (Παπανικολάου Θ. Ξένια, 2012) παρουσιάζει και αναλύει μελέτες, που εκτιμούν τη χρονική περίοδο κατά την οποία πιθανόν να έγινε η αποδόμηση των τμημάτων, εξετάζοντας τα χαραγμένα ονόματα που βρέθηκαν σε αυτά. Το σενάριο που συγκεντρώνει τις περισσότερες πιθανότητες είναι πως οι Θρακιώτες κατά την κατάληψη της Αμφίπολης, βρήκαν τον περίβολο αποδομημένο από τους Ρωμαίους, όταν και κατέκτησαν την Μακεδονία το 168 π.Χ. Επίσης, σύμφωνα με τις πηγές, ο Αντίπατρος ο Θεσσαλονικεύς βρήκε την Αμφίπολη παρατημένη και σε κακή κατάσταση

τα περιουσιακά της στοιχεία. Η ανοικοδόμηση της πραγματοποιήθηκε από τον Οκταβιανό, ενώ μετέπειτα αποφασίστηκε η απόκρυψη του τύμβου καλύπτοντας τον με σφραγιστικούς τοίχους, όπως αυτός που κάλυπτε την πύλη, και χώμα ώστε να μην επιτρέψουν μια νέα λεηλάτηση . Αυτός είναι, ίσως, και ο λόγος που διατηρήθηκε σε αυτή την καλή κατάσταση μέχρι και σήμερα χωρίς να υποστεί τη χρονική φθορά από τα φυσικά φαινόμενα.



*Εικόνα 8. Εικόνες του μαρμάρινου περιβόλου Πηγή: volvipress.gr*

Το σημαντικότερο εύρημα της δεύτερης περιόδου των ανασκαφών, αποκαλύφθηκε τον Αύγουστο του 2014. Η είσοδος του τύμβου αποτέλεσε την επίτευξη του κυρίου στόχου που είχε τεθεί από τους αρχαιολόγους της πρώτης περιόδου των ανασκαφών, ειδικά από τη στιγμή που ανακάλυψαν πως πρόκειται για έναν τεχνητό λόφο (2-5 μέτρα διαφορά ύψους από το βραχώδες τμήμα του λόφου) και του πλούσιου περιβόλου. Οι ανασκαφές συνεχίστηκαν και στο εσωτερικό του τάφου με ιδιαίτερη προσοχή και την χρήση υποστύλωσης προκειμένου να μην υπάρξει πιθανή κατάρρευση της οροφής.





Εικόνα 9. Είσοδος τάφου της Αμφίπολης

Η εικόνα που ακολουθεί παρακάτω αποτελεί ένα παράδειγμα γεωγραφικού οδηγού με τις θέσεις που ανακαλύφθηκαν τα χαμένα τμήματα σε σύγκριση με την επιστημονικά εκτιμώμενη, εξαιτίας της αποδόμησης του τύμβου από την Ρωμαϊκή κατοχή της Μακεδονίας το 168 π.Χ.



Εικόνα 10. Οι τοποθεσίες που βρέθηκαν τα χαμένα τμήματα του Τύμβου Καστά, λόγω της Ρωμαϊκής κατοχής – Πηγή:

[enneadoi.wordpress.com](http://enneadoi.wordpress.com)



## 2.2 Ο τάφος της Αμφίπολης

Το τάφος της Αμφίπολης, το σπουδαιότερο εύρημα του τύμβου, που ανακαλύφθηκε κατά το στάδιο εργασιών της δεύτερης περιόδου (2012 – 2014), αποτελείται από τρεις θαλάμους, καλυμμένους περιμετρικά με μάρμαρο Θάσου. Στην είσοδο του πρώτου θαλάμου, που αποτελεί και την πύλη, παρατηρείται η ύπαρξη δυο μαρμάρινων ομοιωμάτων που αναπαριστούν το μυθικό πλάσμα ,σφίγγα.. Οι σφίγγες στέκονται η μία απέναντι από την άλλη. Επιπλέον λείπουν τα κεφάλια και τα φτερά τους. Ωστόσο, το κεφάλι της ανατολικής σφίγγας εντοπίστηκε στο εσωτερικό του τάφου. Η θύρα της εισόδου στον τάφο είναι ύψους 1.67 μέτρα. Αντίστοιχα το ύψος της κάθε σφίγγας στα 1.45 μέτρα, ενώ εκτιμάται πως με τη διαδικασία της τελικής αναστήλωσης (προσθήκη χαμένων τμημάτων) θα φτάσει αυτό των 2 μέτρων.



Εικόνα 11. Οι σφίγγες στην είσοδο του τάφου – Πηγή: [Naftemporiki.gr](http://Naftemporiki.gr)

Στην συνέχεια, και προσεγγίζοντας τον πρώτο θάλαμο, έχουν τοποθετηθεί οι δυο Καρυάτιδες, επάνω σε πεσσούς. Ο θάλαμος έχει μήκος 6 μέτρα και πλάτος 4.5 μέτρα. Το ύψος είναι στα 4 μέτρα ενώ η ύπαρξη του θόλου στο κεντρικό τμήμα αυξάνει το ύψος αρκετά.

Το συνολικό ύψος των Καρυάτιδων υπολογίστηκε στα 3.67 μέτρα (1.40 ύψος βάθρου και 2.27 ύψος Καρυάτιδας). Το υλικό κατασκευής τους είναι και εδώ το μάρμαρο Θάσου. Η μεγάλη λεπτομέρεια τόσο στα άκρα του αγάλματος (δάκτυλα, μαλλιά) όσο και στα νερά της ένδυσης, συνυπολογίζοντας την τεχνική του σκαλίσματος, προκαλούν δέος (Εικόνα 9).



*Εικόνα 12. Καρυάτιδες και εργασίες στήριξης οροφής*

Ωστόσο δεν είναι ούτε οι σφίγγες αλλά ούτε οι Καρυάτιδες το πιο εντυπωσιακό στοιχείο του τάφου. Αυτό που πραγματικά εντυπωσιάζει τόσο για την τεχνική του όσο και για την κατάσταση που βρέθηκε είναι το ψηφιδωτό που βρίσκεται στο δάπεδο του δεύτερου θαλάμου. Ο δεύτερος θάλαμος ανακαλύφθηκε τον Οκτώβριο του 2014 με το ψηφιδωτό να αποτελεί το σημείο αναφοράς. Το θέμα που αναπαριστά είναι η αρπαγή της Περσεφόνης από τον Πλούτωνα (Εικόνα 13). Μια σκηνή που συναντάται και σε άλλες περιπτώσεις μακεδονικών ταφών. Το περίτεχνο αυτό έργο τέχνης, διασώζεται σε άριστη κατάσταση, ενώ λείπει ένα μικρό μέρος του στο κέντρο. Είναι κατασκευασμένο από βότσαλο, αποδεικνύοντας τον πλούτο και τη σημαντικότητα του προσώπου που ανήκει ο τάφος.





Εικόνα 13. Βοτσαλωτό ψηφιδωτό που καλύπτει τμήμα του δαπέδου στον δεύτερο θάλαμο του τάφου – Πηγή: [theamphipolistomb.com](http://theamphipolistomb.com)

Τέλος, στον τρίτο θάλαμο, όπου είναι και ο τελευταίος, υπάρχει ο κιβωτιόσχημος τάφος, βάθους 1.6 μέτρων. Οι διαστάσεις του θαλάμου είναι 4,5 επί 4,5 μέτρα, ενώ μέσα βρέθηκε και το κεφάλι της ανατολικής σφίγγας. Παρότι η πόρτα του θαλάμου είχε σπάσει, δεν καταγράφηκε σημάδι λεηλασίας, αφού επί του τάφου βρέθηκαν οστά από τουλάχιστον πέντε διαφορετικά άτομα. Επιπροσθέτως, υπάρχουν ενδείξεις έγχρωμων τοιχογραφιών (Εικόνα 14), όπως αντίστοιχα και στο υπόλοιπο μέρος του τάφου, τεκμηριώνοντας αυτό το σενάριο, τα ίχνη κόκκινου και κυανού χρώματος που βρέθηκαν στους θαλάμους.



Εικόνα 14. Τοιχογραφίες φτερωτής και ανθρώπινης μορφής αντίστοιχα – Πηγή: [theamphipolistomb.com](http://theamphipolistomb.com)

## 2.3 Σήμερα

Αυτήν την στιγμή οι εργασίες συνεχίζονται, θέτοντας ως στόχο να μπορέσει να γίνει επισκέψιμο για το κοινό. Με κύρια εργασία, τη συντήρηση του. Παράλληλα, μέσω επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών Laser, έχει πραγματοποιηθεί η ψηφιακή απεικόνιση του ταφικού μνημείου (Εικόνα 15) υψηλής ακρίβειας, με στόχο να δημιουργηθούν αντίγραφα των χαμένων τμημάτων (σφίγγες, Καρυάτιδες κ.λπ.), να αναστηλωθούν στη φυσική τους θέση και να αποδοθούν οι χρωματισμοί ώστε να υπάρξει όσο το δυνατόν η πιο πίστη αναπαράσταση του τάφου, από την εποχή που κατασκευάστηκε (Εικόνα 16)(Ριτζαλέου Μαρία, 2020).



Εικόνα 15. Ψηφιακή μορφή του εσωτερικού του τάφου

Συνοψίζοντας, οι διαδικασίες που εκκρεμούν για να παραδοθεί το ταφικό μνημείο στο κοινό είναι:

- Ενίσχυση στήριξης οροφής ταφικού μνημείου,
- Ολοκλήρωση επιγείων τρισδιάστατων σαρώσεων, για ακριβή προσδιορισμό θέσεων ευρημάτων και χαμένων τμημάτων (θύρα, φτερά και κεφαλές Σφιγγών, διάφορα σπαράγματα που έχουν συλλεχθεί)
- Ολοκλήρωση ψηφιακής απεικόνισης με πλήρη φωτογραφική υφή (τοιχογραφίες, χρωματισμοί σε Καρυάτιδες κ.α.),
- Τέλος, η ολοκλήρωση της συντήρησης του περιβάλλοντος με καθαρισμό των πρανών και εκπλήρωση των χωματοργικών εργασιών ώστε να αναδειχθεί το καλύτερα διασωσμένο μέρος του μαρμάρινου περιβάλλοντος (νοτιοανατολικό τμήμα Εικόνα 8), με κατασκευή διαδρόμων (έχοντας ήδη διαστρωθεί τα γεωφάσματα και έχουν πληρωθεί οι γεωκυψέλες με αδρανή υλικά), δημιουργία χώρων αναμονής και ξεκούρασης για τους επισκέπτες.



Παράλληλα τρέχει και ένα ερευνητικό πρόγραμμα, που έχει αναλάβει η Διεύθυνση Αρχαίων και Νεότερων Μνημείων, που έχει ως κύριο μέλημα τον εντοπισμό, την ταυτοποίηση και την απεικόνιση των χρωστικών στοιχείων στα μέρη του ταφικού μνημείου. Οι εργασίες αυτές περιλαμβάνουν:

- Λεπτομερή φωτογράφιση στο ορατό φάσμα των τμημάτων εκείνων που θεωρούνται πως περιείχαν χρωματική πληροφορία.
- Συγκέντρωση πληροφοριών για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης, από το μοντέλο των τρισδιάστατων σαρωτών.
- Πολυφασματική απεικόνιση και ανάλυση του τάφου σε όλα τα φάσματα του φωτός για την πιθανή εύρεση επιπλέον χρωματικής πληροφορίας που δεν είναι εμφανής στο ορατό φάσμα.
- Εφαρμογή της απεικονιστικής μεθόδου VIL. (Μια μέθοδος που βασίζεται στην ιδιότητα που έχει το αιγυπτιακό κυανό να εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία).
- Και τέλος, η εκτέλεση φασματοσκοπίας υπέρυθρων με σύστημα FTIR και σχεδιαστικής απόδοσης.



Εικόνα 16. Παράδειγμα ψηφιακής απεικόνισης τάφου, με πλήρη χρωματισμό και τοποθέτηση χαμένων τμημάτων – Πηγή: [theamphipolistomb.com](http://theamphipolistomb.com)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – Νομοθεσία και Μέθοδοι Αποτύπωσης μνημείων

### 3.1 Η Έννοια της Πολιτιστικής Δραστηριότητας

Ένα έργο πολιτιστικής κληρονομιάς, όπως αναφέρθηκε μπορεί να είναι είτε υλικό, όπως για παράδειγμα ένα μνημείο ή ένα καλλιτέχνημα τύπου αγάλματος, είτε να είναι άυλο, δηλαδή ιστορικά κείμενα, παραδόσεις και έθιμα. Τα έργα αυτά αποτελούν με άλλα λόγια έναν φορέα ιστορικής μνήμης είτε σε εθνικό επίπεδο (ήθη και έθιμα ενός κράτους) είτε παγκόσμιο (μνημεία που είναι διεθνώς αναγνωρισμένα π.χ. από UNESCO). Προκειμένου να διατηρηθούν όσο τον δυνατόν αναλλοίωτα στο πέρασ των γενεών αναπτύχθηκαν εγχώριοι και διεθνείς μηχανισμοί προστασίας. Η προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς περιλαμβάνει διάφορες ενέργειες προκειμένου να αποφευχθούν καταστάσεις καταστροφής, αλλοίωσης ακόμα και λεηλασίας, με τα παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων να είναι δυστυχώς αρκετά. Δράσεις όπως:

- Συντήρησης, δεδομένου της χρονικής έκθεσης τους σε διάφορα φυσικά φαινόμενα που τα διέφθειραν (όξινη βροχή, διάβρωση από τον αέρα, σεισμοί, ανθρώπινοι παράγοντες κ.α.)
- Ανακατασκευής των χαμένων ή κατεστραμμένων τμημάτων με πιστά αντίγραφα αυτών.
- Αναστήλωσης με τα τμήματα που βρέθηκαν σε διαφορετική τοποθεσία είτε επιστράφηκαν μέσω διεθνών συμβάσεων, στη φυσική τους θέση.
- Αποκατάστασης τους, διατηρώντας τα σε τέτοια μορφή ώστε να παραμένουν αξιόλογα.
- Ανάδειξης και αναβίωσης τους, προβάλλοντας και οργανώνοντας τον χώρο με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνουν διαθέσιμα για προβολή στο κοινό, αποδίδοντάς τους ουσιαστική λειτουργία.
- Και τέλος, δράσεις εξυγίανσης για την αποφυγή μετέπειτα βλαβερών επιδράσεων τόσο υλικών όσο και συναισθηματικών (Γεωργόπουλος Ανδρέας, 2012).

Όλες οι παραπάνω δράσεις, αποτελούν βασικά στοιχεία της έννοιας «Πολιτιστική Δραστηριότητα». Ένας ορισμός της έννοιας αυτής έχει δοθεί προγενέστερα. Με τον όρο «Πολιτιστική Δραστηριότητα» θεωρούνται όλες εκείνες οι ενέργειες που πραγματοποιούνται με σκοπό την προστασία, την αξιοποίηση και της προβολή της πολιτιστικής κληρονομιάς, καθώς επίσης και της ενίσχυσης και ανάδειξης του νεότερου και σύγχρονου πολιτισμού. Επιπλέον, αναφέρεται πως αποτελούν ένα ενιαίο σύστημα σκοπών, μέσων και φορέων που συνδυάζοντας τους επιτυγχάνεται τόσο η ενίσχυση όσο και η διάδοσης ενός έργου πολιτιστικής κληρονομιάς, υλικό ή άυλο, μέσα από συγκεκριμένες διεργασίες (συντήρησης, ανασκαφής, αποκατάστασης, εκδηλώσεων κλπ.) Για να χαρακτηριστεί επιτυχημένο ως προς το σκοπό του (ανάδειξη, αξιοποίηση, ενημέρωση κλπ.) θα πρέπει να υπακούει στο μοντέλο ΠΔΕΑ (Κοσκινά Αικατερίνη & Γλύτση Ειρήνη, 2003).

Το μοντέλο «Πολιτιστικές Δραστηριότητες Ενεργητικής Αντίληψης (ΠΔΕΑ)» ή εν συντομία ΠΔΕΑ , αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Τα Στάδια Οργάνωσης (την σύλληψη της ιδέας, την προετοιμασία – σχεδιασμό και τη διαμόρφωση τους στη πράξη, τη λειτουργία και τέλος την αξιολόγηση)
- Τον Πυρήνα Λειτουργίας (την ταυτότητα που περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά που το κάνουν γνωστό το αντικείμενο της μελέτης, τις επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει στη τοπική αλλά και παγκοσμίως, και τέλος, την καινοτομία που μπορεί να προκαλέσει μια τέτοια δραστηριότητα, αναπτύσσοντας της τόσο σε πραγματικό χώρο όσο και σε ψηφιακό, υιοθετώντας νέες τεχνολογίες και υπακούοντας στις νομοθεσίες)
- Τέλος, τον Πυρήνα Διαχείρισης (την αντίληψη, κατανόηση, τις Αρχές του Γενικού Δημοσίου Συμφέροντος, το διαχειριστικό πλαίσιο της υιοθέτησης και την υλοποίηση ως πεδίο με την αξιοποίηση όλων των εξειδικευμένων γνώσεων και τεχνολογιών).

Πρώτα απ' όλα, για να μπορέσει να ξεκινήσει να υλοποιείται ένα έργο, θα πρέπει να συμμορφώνεται σε όλες τις υπάρχουσες νομοθεσίες και να πάρει άδεια. Μετέπειτα, θα πρέπει να παρουσιαστούν εκτενώς όλες οι διαδικασίες οργάνωσης, επίσκεψης και μεθοδολογιών που θα ακολουθηθούν στο πεδίο για τη συλλογή των δεδομένων τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, ώστε να πάρει την έγκριση από την αρμόδια αρχή (Κεντρικό Αρχαιολογικό Συμβούλιο) για να οριστεί η ομάδα εργασίας και τα κονδύλια της έρευνας. Στο στάδιο λειτουργίας της δραστηριότητας θα πρέπει να αναλυθεί:

- Η ταυτότητα του έργου, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο ο πολιτιστικός φορέας θέλει να διοργανωθεί η μελέτη,
- Οι επιπτώσεις να αξιολογηθούν ως θετικές για την κοινωνία και τέλος,
- Η καινοτομία που θα εφαρμοστεί για την ανάδειξη του.

Τελευταίο στάδιο, και ίσως αυτό που κρίνεται ως μείζον είναι ο τρόπος διαχείρισης. Θα πρέπει η ορισμένη ομάδα να πλαισιώνεται από έμπειρους αρχαιολόγους και μηχανικούς οι οποίοι διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις για το αντικείμενο μελέτης, έχουν εργασιακή εμπειρία σε παρόμοιες μελέτες και τέλος, είναι σε θέση να κατανοήσουν τον βαθμό κατανόησης της σημαντικότητας ανάδειξης του έργου. Τέλος, η αρμονική συνεργασία όλων των φορέων που συντελούν τη ομάδα εργασίας (Αρχαιολόγοι, Φορείς, Μηχανικοί, Χρηματοδότες), ώστε να υλοποιήσουν τη μελέτη (Τσαμπά Μαρίνα, 2016).

Ας αναλύσουμε πιο διεξοδικά τον όρο μνημείο. Μνημείο αποκαλείται κάθε οικοδόμημα που έχει διασωθεί από την αρχαιότητα, ή και ενδιάμεσων ιστορικών περιόδων, έως σήμερα. Αναγνωρίζοντάς τα ως πολιτισμική κληρονομιά, αναπτύχθηκε μια ενιαία αντίληψη περί αναζήτησης, διάσωσης και διατήρησης τους, προστατεύοντας τα με διεθνής συνθήκες και κρατικές νομοθεσίες, ανεξαρτήτου χρηστικής αξίας. Πυλώνας για αυτό ήταν το έργο του Γάλλου αρχιτέκτονα και θεωρητικού της αρχιτεκτονικής μνημείων, Ευγενίου Εμμανουήλ Βιολέ λε Ντυκ, με τίτλο «Ερμηνευτικό Λεξικό της γαλλικής Αρχιτεκτονικής από τον 11<sup>ο</sup> αιώνα έως τον 15<sup>ο</sup>

αιώνα». Ένα έργο δέκα τόμων που αναφέρει τις σημαντικές απώλειες μνημείων και τη σημαντικότητα περί προστασίας του και αναστήλωσης τους, που δημοσιεύτηκε το 1854 – 1868. Όπως, επίσης, και ο Ιταλός αρχιτέκτονας Καμίλο Μπόιτο, υποστηρίζοντας τις ίδιες απόψεις στο ιστορικό συνέδριο μηχανικών και αρχιτεκτόνων του 1883, στη Ρώμη. Αυτό που κατάφεραν αυτοί οι δυο άνθρωποι ήταν να ευαισθητοποιήσουν τις χώρες και να παρθεί ένα σύνολο σημαντικών αποφάσεων, όπως:

- Έκδοση πρώτων σχετικών νομοθεσιών σε διεθνή επίπεδο,
- Συστηματικότερη καταγραφή και αναστήλωση μνημείων,
- Δημιουργία και επάνδρωση υπηρεσιών αρχαιολογικής συντήρησης μνημείων,
- Τέλος, η εθνική οργάνωση νομοθεσίας που αφορά την κατοχύρωση και προστασία τους.

Ένα ακόμα σημαντικό γεγονός για να ευαισθητοποιηθούν ακόμα περισσότερο τα κράτη για την προστασία της πολιτισμικής τους κληρονομιάς ήταν οι καταστροφές από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Συνεπώς, δημιουργήθηκε ο Διεθνής οργανισμός UNESCO. Πρόκειται για τον Εκπαιδευτικό Επιστημονικό και Πολιτιστικό Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization). Ιδρύθηκε στις 16 Νοεμβρίου το 1945 με κύριο στόχος να αποτελέσει τον δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ των λαών, για την πραγματοποίηση παγκόσμιας ειρήνης. Αποτελείται από 193 κράτη μέλη, μέσα σε αυτά και η Ελλάδα. Ένα τμήμα, που μας αφορά στην συγκεκριμένη διπλωματική, είναι αυτό του Μνημείο Παγκόσμιας Κληρονομιάς. Κύριος στόχος του, είναι η καταγραφή και η διατήρηση μνημείων, κτισμάτων ή τοποθεσιών που θεωρούνται διεθνώς ως ιστορική, πολιτιστική, περιβαλλοντική κληρονομιά. Σήμερα καταμετρούνται, βάση της πλατφόρμας 869 μνημεία σε 148 διαφορετικές χώρες, εκ των οποίων 36 έχουν χαρακτηριστεί ότι κινδυνεύουν. Στην Ελλάδα, έχουν αναγνωριστεί 16 μνημεία, χωρίς να περιλαμβάνεται ακόμα σε αυτά, ο τύμβος Καστά (UNESCO, 2019).

- Ακρόπολη, στο κέντρο της Αθήνας,
- Ο ναός Επικούριου Απόλλωνος στον Αρχαιολογικό χώρο Βάσσης, στην Αρκαδία,
- Ο αρχαιολογικός χώρος των Δελφών,
- Η μεσαιωνική πόλη στο λιμάνι της Ρόδου,
- Τα παλαιοχριστιανικά και βυζαντινά μνημεία της Θεσσαλονίκης,
- Ο ναός του Ασκληπιού, στην Επίδαυρο,
- Ο αρχαιολογικός χώρος Μυστρά, στη Σπάρτη,
- Ο αρχαιολογικός χώρος Ολυμπίας, στη Πελοπόννησο,
- Ο αρχαιολογικός χώρος της Δήλου,
- Τα μεσαιωνικά μοναστήρια Δαφνί, Νέα Μονή και Όσιου Λουκά, στη Χίο,
- Τα μνημεία του Πυθαγόρα και Ήρας, στη Σάμο,
- Ο αρχαιολογικός χώρος της Βεργίνας,
- Ο αρχαιολογικός χώρος των Μυκηνών και των Τίρυνθων,
- Η ιστορική χώρα της Πάτμου, με το Μοναστήρια του Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου και την σπηλιά της



αποκάλυψης,

- Η παλιά πόλη της Κέρκυρας,
- Τέλος, ο αρχαιολογικός χώρος Φιλίππων, μεταξύ Δράμας και Καβάλας.

Επιπροσθέτως, βάση του «Χάρτη της Βενετίας» (1964), θεσπίστηκε το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS, 1965), αναγνωρισμένο από τον ΟΗΕ ως διεθνώς διαχρονικό πλαίσιο κατευθυντήριων αρχών σχετικά με θεωρίες και πράξεις αποκατάστασης και συντήρησης κάθε είδους μνημείων. Περιλαμβάνει 16 άρθρα σε 7 γλώσσες, που αναλύουν τους ορισμούς για την έννοια ενός ιστορικού μνημείου, τη σημασία της συντήρησης και της αποκατάστασης όπως και αναστήλωσής τους, τον στόχο των ενεργειών αυτών, ενώ διατυπώνεται η αναγκαιότητα αποτύπωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης τους.

Όσον αφορά, τον κρατικό μηχανισμό για την αποτύπωση μνημείων και εκτέλεση εργασιών σε αυτά, ισχύει το ΦΕΚ 2837B/05-07-2019, που τέθηκε σε ισχύ από τις 2 Ιουλίου του 2019. Αφορά το κανονιστικό πλαίσιο για τα μνημεία (αρχαία ή νεότερα) που συμφωνούν με τις διατάξεις του άρθρου 2 περ. β- ββ και γγ και του άρθρου 6 του ν. 3028/2002, που είτε είναι μεμονωμένα είτε βρίσκονται εντός του αρχαιολογικού χώρου ή του ιστορικού τόπου. Επιπλέον σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και οι εγκαταστάσεις, οι κατασκευές και τα λοιπά στοιχεία αυτών, όπως και το άμεσο περιβάλλον που βρίσκονται. Βάσει του εν λόγω άρθρου, αναλύεται η μεθοδολογία που θα πρέπει να ακολουθείται για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε αυτά (άρθρο 40 του νομοθετικού πλαισίου ν. 3028/2002 με τίτλο «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς») (Υπουργός και Υφυπουργός Πολιτισμού και Αθλητισμού, 2019). Οι εργασίες που θα πρέπει να διενεργούνται, όπως διατυπώνεται στο ΦΕΚ, αναλύονται στην πρώτη παράγραφο του κεφαλαίου «3.2 Μέθοδοι Αποτύπωσης ενός Μνημείου».

Η εξέλιξη της τεχνολογίας καταφέρνει να διευκολύνει όλα τα παραπάνω. Η ψηφιοποίηση προσφέρει, πλέον, τις δυνατότητες για συλλογή των δεδομένων ψηφιακά, αποδίδοντάς τα από το φυσικό χώρο στον ψηφιακό, παρέχοντας περιγραφικά χαρακτηριστικά, όπως τίτλο, τοποθεσία, μετρητικά χαρακτηριστικά, ποιότητα και κατάσταση μνημείου και, αναπαράσταση του αντικειμένου (σε 2D ή 3D χώρο). Επιπλέον, διευκολύνει την διαχείριση, παρουσίαση, αποθήκευση της πολιτιστικής κληρονομιάς σε ψηφιακές αποθήκες (data warehouse) διασφαλίζοντας την άμεση και γρήγορη πρόσβαση.

## 3.2 Μέθοδοι Αποτύπωσης ενός Μνημείου

Αναφέρεται για εργασίες προστασίας, διατήρησης της υλικής υπόστασης και της αυθεντικότητάς του στο χρόνο, όπως και στην ανάδειξη, και στην ασφαλή επισκεψιμότητα τόσο ως προς τον ανθρώπινο παράγοντα όσο και από την πλευρά του μνημείου, όπως αυτά χαρακτηρίζονται βάση του ν. 3028/2002.

Οι εργασίες χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Μείζονος σημασίας: Εργασίες κατά τις οποίες επηρεάζεται η δομή, η μορφή, η λειτουργία ή ακόμα και ο άμεσος περιβάλλοντα χώρος (π.χ. αναγκαίες εργασίες βάση της υφιστάμενης κατάστασης του μνημείου).
- Ελάσσονος σημασίας: Εργασίες κατά τις οποίες δεν επηρεάζεται η δομή, η μορφή, η λειτουργία ή ο άμεσος περιβάλλοντα χώρος (π.χ. επισκευές μικρής κλίμακας όπως επισκευή κουφωμάτων, χρωματισμοί κ.α.).
- Βάση μελετών: Είναι οι εργασίες που εκτελούνται βάση μελετών, ειδικών προδιαγραφών που τίθεται από την ορισμένη Υπηρεσία και εγκρίνεται είτε από το Συμβούλιο είτε από τον Υπουργό Πολιτισμού, αν πρόκειται για εργασίες μείζονος σημασίας.

Κάθε μελέτη για εργασίες πάνω σε μνημεία ή στον περιβάλλοντα χώρο αυτών, πρέπει να είναι συμβατή με όλα τα υπάρχουσα νομοθετικά πλαίσια που έχουν οριστεί να τα προστατεύουν. Αυτά είναι, μεταξύ άλλων, η Σύμβαση της Γρανάδας (ν. 2039/1992, ΦΕΚ β1 Α) (Council of Europe), που έχει ως στόχο την προστασία και την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς, η Σύμβαση της Βαλέτας (ν. 3378/2005, ΦΕΚ 203 Α'), που αποτελεί, ουσιαστικά, την αναθεώρηση της Σύμβασης του Λονδίνου, περί προστασίας της αρχαιολογικής κληρονομιάς (Καραδήμου, 2018) και, τέλος, οι σχετικές συμβάσεις και Χάρτες.

Επιπλέον το 2003, στα πλαίσια της 32<sup>ης</sup> Συνόδου της Γενικής Συνέλευσης της UNESCO, ορίστηκε η σύμβαση για την Προστασία της Άυλης Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Κύριος στόχος της σύμβασης είναι να δημιουργηθεί η ιδέα σε παγκόσμιο επίπεδο σχετικά με την προστασία τη πολιτιστικής κληρονομιάς, της συντήρησής της ώστε να μεταβιβάζεται από γενιά σε γενιά, την ασφάλιση των κοινοτήτων με τη δημιουργία ενός συστήματος επιβολής μέτρων ανά περίπτωση, καθώς, και την ανάδειξη της προσφοράς τους προς την κοινωνία (Μακρυγιάννη Ραφαέλλα, 2020).

Ανά τα χρόνια έχουν δημιουργηθεί πολλές κοινότητες που δραστηριοποιούνται με την προστασία των αρχαιολογικών χώρων και μνημείων. Μερικοί διεθνώς αναγνωρισμένοι οργανισμοί, όντας εγγεγραμμένοι στον “Κατάλογο Πολιτιστικής Κληρονομιάς”, είναι οι εξής :

- ICCROM (Διεθνές Κέντρο για τη Μελέτη της Συντήρησης και της Αποκατάστασης των Πολιτικών Αγαθών, 1956)
- WMF (Παγκόσμιο Ταμείο Μνημείων, 1965)
- CIPA (Διεθνής Επιτροπή του Διεθνούς Συμβουλίου Μνημείων και Αρχαιολογικών χώρων, 1968)
- OWHC (Οργανισμός Πόλεων της Παγκόσμιας Κληρονομιάς, 1993)
- ICAHM (Διεθνή Επιτροπή Διαχείρισης της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς)

➤ IUCN (Παγκόσμια Ένωση για την Συντήρηση, 1948)

Για την εκπόνηση των μελετών ορίζεται ομάδα εργασίας είτε από το υπάρχον αρμόδιο προσωπικό της Υπηρεσίας είτε η ανάθεση σε ιδιώτες μελετητές, που πληρούν τις προϋποθέσεις βάση του άρθρου 81 ν. 1958/1991 του Π.Δ. 24/2019. Τα στάδια της μελέτης διακρίνονται στην προκαταρκτική μελέτη και την προμελέτη που εγκρίνονται από τη σχετική υπουργική απόφαση. Την οριστική μελέτη και την μελέτη εφαρμογής και τεχνικών προδιαγραφών που εγκρίνονται από την αρμόδια διεύθυνση, ενώ το τελικό στάδιο αποτελείται από τα τεύχη δημοπράτησης.

Η επιστήμη της τοπογραφίας, συμμετέχει αρχικά στην προκαταρκτική μελέτη όπου μαζί με τους αρχαιολόγους, τον αρχιτέκτονα μηχανικό, τον χημικό και τον γεωλόγο, συντάσσουν την τεχνική έκθεση, τα σχέδια και τις φωτογραφίες του χώρου υλοποίησης της μελέτης. Επίσης, στις μελέτες τεκμηρίωσης, που λειτουργούν παράλληλα με τις εργασίες προμελέτης και οριστικής μελέτης, το ορισμένο τοπογραφικό συνεργείο, ξεκινά την τοπογραφική και γεωμετρική αποτύπωση. Η γεωμετρική τεκμηρίωση αποτελεί ένα μέρος της τελικής τεκμηρίωσης ενός μνημείου. Περιλαμβάνει εκτός από την αποτύπωση του μνημείου στο χώρο, περιλαμβάνει και τεχνικές εκθέσεις με βιβλιογραφικά στοιχεία (ιστορικά, χαρτογραφικά, νομικά κ.α.) αλλά και ψηφιακά δεδομένα. Η αναγκαιότητα να υπάρξει η βέλτιστη δυνατή ακρίβεια, πληρότητα και πιστότητα του αντικειμένου, για την καταγραφή και τον προσδιορισμό της θέσης του μνημείου, των αντικειμένων και περιβάλλοντα χώρου, συνιστά την συμμετοχή της τοπογραφίας αναγκαίας. Παραδίδοντας το τοπογραφικό σχέδιο, σε εξάρτηση με το ΕΓΣΑ 87, εξασφαλίζεται η ακρίβεια της θέσης, του σχήματος, της γεωμετρίας και της κατάστασης του μνημείου και του περιβάλλοντα χώρου, παράλληλα με την απόδοση του ανάγλυφου, εξυπηρετούν στην αναλυτικότερη και πιο στοχευμένη η διαδικασία της προμελέτης, με τις συνθήκες που βρίσκεται το μνημείο και της αξιολόγησης των ζητημάτων επισκευής, συντήρησης και έρευνας.

Οι συνήθεις μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες τεκμηρίωσης μνημείων καθορίζονται ανάλογα από τη γεωμετρία του αντικειμένου, δηλαδή τον βαθμό πολυπλοκότητας του (τυφλά σημεία, δυσπρόσιτα κ.α.), την έκταση της περιοχής ανήκει το αντικείμενο, την ζητούμενη ακρίβεια απόδοσης, όπως επίσης, και την θεματική πληρότητα του τελικού προϊόντος (π.χ. μελέτες μικρομετακινήσεων). Βάσει των προαναφερθέντων, διακρίνονται δυο βασικές κατηγορίες αποτύπωσης, η αναγνωριστική και η τεκμηρίωση. Η αναγνωριστική αποτύπωση έχει ως μέλημα την γενική απόδοση του χώρου και τεκμηρίωση της πραγματικής μορφής του μνημείου. Σε αυτή την κατηγορία οι μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται είναι από μια απλή φωτοερμηνεία έως τοπογραφικές μέθοδοι, με τη χρήση συμβατικών γεωδαιτικών σταθμών υψηλής ακρίβειας, για την αποτύπωση του περιβάλλοντα χώρου και του αντικειμένου. Η απόδοση μπορεί να γίνει σε περιβάλλον AutoCAD ή ακόμα και σε GIS. Η δεύτερη κατηγορία αποτυπώσεων, αυτή της τεκμηρίωσης, αφορά αποτυπώσεις απαιτούν μεγάλη ακρίβεια και πλήρη καταγραφή όλων των λεπτομερειών του αντικειμένου, όπου σε περιπτώσεις μνημείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επισκευή, συντήρηση ή ακόμα και για ανακατασκευή στην αρχική μορφή. Σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούνται επιπλέον μέθοδοι, που μπορεί να λειτουργήσουν παράλληλα

με αυτές της κλασσικής τοπογραφίας. Όπως συνδυασμός επίγειων μετρήσεων μαζί με φωτογραμμετρικών, για την κάλυψη σημείων που είναι αδύνατο να αποτυπωθούν με επίγειους δέκτες, είτε λόγω προσβασιμότητας (σημεία περιορισμένου χώρου, δυσπρόσιτα, ή σημεία στέγης με χρήση UAV) είτε όταν απαγορεύεται η άμεση επαφή με το χώρο μελέτης. Η χρήση βαθμονομημένων φωτογραφικών μηχανών είναι αναγκαία, όπως επίσης η υλοποίηση των μετρήσεων με χρήση τοπογραφικών οργάνων (επίλυση ταχυμετρίας). Το τελικό προϊόν μπορεί να είναι είτε 2D σχέδιο είτε 3D (φωτομωσαϊκό, 3d model, DEM). Τελευταία κατηγορία και πιο απαιτητική ως προς την ακρίβεια και την λεπτομέρεια της αποτύπωσης, είναι οι ειδικές αποτυπώσεις για θέματα μικρομετακινήσεων και επισκευής τμημάτων μνημείων που έχουν υποστεί φθορά. Σε αυτές τις μελέτες, εκτός της χρήσης των επίγειων μετρήσεων (για μικροτριγωνισμό και ανίχνευση μικρομεταβολών), πλέον επιλέγεται η χρήση επιγείου σαρωτή Laser (Terrestrial Laser Scanning), για την απόδοση της τρισδιάστατης γεωμετρίας του μνημείου και των αντικειμένων του σε πραγματικό χρόνο. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί και για τον εξωτερικό χώρο του μνημείου. Τα προϊόντα των μετρήσεων είναι ένα νέφος σημείων. Αν η φύση της μελέτης απαιτεί την καταγραφή της υφής και της εξωτερικής επιφάνειας του αντικειμένου, η χρήση του επίγειου σαρωτή Laser συνδυάζεται με αυτή της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης. Τα παραδοτέα μιας τέτοιας μελέτης είναι 3D σχέδια, 2D όπως κατόψεις, όψεις ή και τομές, ακόμα και ψηφιακά μοντέλα εδάφους ή επιφάνειας (DEM - DTM) (Τοκμακίδης Π., Αναστασίου Α., Αλμπανίδης Ε., Σπαταλάς Σ. & Τοκμακίδης Κ., 2015).

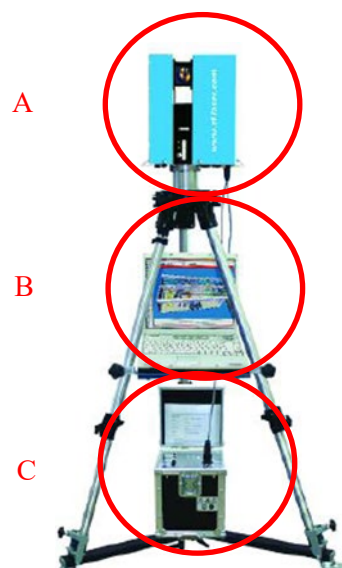
Στο στάδιο της προμελέτης, και πιο συγκεκριμένα σε αυτό της αρχιτεκτονικής μελέτης, συντάσσεται η τεχνική μελέτη στην οποία περιλαμβάνονται οι προτεινόμενες επιλύσεις στα προβλήματα που προέκυψαν από τις μελέτες τεκμηρίωσης, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών. Το τοπογραφικό συνεργείο, παραδίδει τα σχέδια με τους ισχύοντες συντελεστές δόμησης, τις επιτρεπόμενες χρήσεις, κατόψεις, όψεις, τυχόν τομές, όπως επίσης (αν χρειαστεί) προοπτικά ή αξονομετρικά σχέδια ή ακόμα και φωτορεαλιστικές απεικονίσεις. Τέλος, ο ακριβής προσδιορισμός της κλίμακας του εκάστοτε σχεδίου εξαρτάται από την έκταση, την φύση του υπό μελέτη έργου όπως και της ζητούμενης ακρίβειας απόδοσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – Επίγειος τρισδιάστατος Σαρωτής Laser

### 4.1 Εισαγωγή

Η χρήση των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών Laser, αποτελεί την πλέον «σύγχρονη» και συνάμα αποδοτικότερη επιλογή αποτύπωσης αντικειμένων μεγάλης λεπτομέρειας, όπως τα μνημεία. Η σάρωση με Laser Scanner προσφέρει στον χρήστη, ακριβή καταγραφή του αντικειμένου σε 3D μορφή, αναλύοντας πλήρως το σχήμα και τις οπτικές του ιδιότητες. Για τη εφαρμογή οποιαδήποτε αποτύπωσης με επίγειο σαρωτή, χρειάζονται τρία βασικά εργαλεία (Καρούσου Ελένη & Πλαγάκη Ιωάννα, 2019). Αυτά είναι:

- A. Ο επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής Laser,
- B. Η μονάδα ελέγχου, που αποτελείται από έναν φορητό υπολογιστή (πλέον υπάρχει δυνατότητα και μέσω smartphone) παράλληλα με την ειδική εφαρμογή που προσφέρει ο κατασκευαστής του σαρωτή, για διαχείριση της σάρωσης στο πεδίο,
- C. Η μπαταρία για την τροφοδοσία του συστήματος



Εικόνα 17. Επίγειος σαρωτής φάσης, σε πλήρη διάταξη – Πηγή: Heritage3D.org

Προαιρετικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε φωτοσταθερά είτε ειδικοί στόχοι για πιο ευδιάκριτα χαρακτηριστικά σημεία (κοινά σημεία μεταξύ των διαφορετικών σαρώσεων), τα οποία θα αυξήσουν την ακρίβεια του τελικού μοντέλου, μετά τη διαδικασία του registration. Η διαδικασία σάρωσης με έναν τέτοιου είδους δέκτη υπολογίζει την απόσταση σημείο – όργανο, με τη χρήση ενός συστήματος κατόπτρων για την εκτροπή της ακτίνας laser και της κατεύθυνσης της προς το στοχευμένο αντικείμενο. Κύριο χαρακτηριστικό, βάση του οποίου βασίζεται όλη η λειτουργία σάρωσης είναι η περιστρεφόμενη βάση, κατά τον οριζόντιο άξονα, που προσφέρει σάρωση σημείων σε 360°. Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης είναι ένα πυκνό νέφος σημείων που αναπαριστά το αντικείμενο με υψηλή ακρίβεια. Οι ανάγκες της αγοράς, προέτρεψαν τους κατασκευαστές να δημιουργήσουν διαφορετικά είδη σαρωτών laser (4.2 Είδη Σαρωτών) που διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς την εμβέλεια υποστήριξης, την αβεβαιότητα προσδιορισμού, τη διακριτική ικανότητα που προσφέρουν, την ταχύτητα υλοποίησης του μοντέλου αλλά και της σάρωσης, όπως και την πληρότητα και πιστότητα του τελικού μοντέλου (Καρούσου Ελένη & Πλαγάκη Ιωάννα, 2019).

Οι λόγοι που τους καθιστούν ως την επικρατέστερη επιλογή σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους είναι επειδή παρέχουν μετρήσεις μεγάλου πλήθους σημείων με μεγάλη ακρίβεια σε πολύ μικρό χρόνο (π.χ. εκατομμύρια σημεία ανά δευτερόλεπτο). Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το χρονικό διάστημα εργασίας στην ύπαιθρο. Επίσης, παρέχουν τη δυνατότητα αναπαράστασης σε 3D μοντέλο, όπου με τη ύπαρξη χρωματικής πληροφορίας στα σημεία, αποδίδουν μια πιο εύχρηστη απεικόνιση του αντικειμένου (3D model). Σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να αποτυπώσουν σε συνθήκες μειωμένης ορατότητας, έναντι των προγενέστερων μεθοδολογιών όπου γινόταν χρήση τεχνητού φωτός. Τέλος, δεν είναι απαραίτητη η χρήση στόχων (προσχεδιασμένων σημείων, γνωστής γεωμετρίας), αρκεί να κατανοείται πλήρως ο χώρος και οι λεπτομέρειές του στο νέφος σημείων που θα προκληθεί. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαίο σε χώρους με έντονη πολυπλοκότητα μορφής, να πραγματοποιείται παράλληλη χρήση και εικόνων ως έλεγχος κατά την επεξεργασία (Ανάγνου Αναστασία & Γεωργίου Μαλβίνα – Μαρία, 2012).

Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει επιτευχθεί μεγάλη ανάπτυξη στην ακρίβεια της σάρωσης (σε ιδανικές συνθήκες) όπως και του πλήθους των σημείων ανά δευτερόλεπτο και του εύρους της απόστασης που καλύπτουν. Σε έναν ακόμα τομέα που παρατηρείται μεγάλη βελτίωση είναι στο βάρος και το μέγεθος, όπου σταδιακά μειώνεται, καθώς παλαιότερα ήταν ένας ανασταλτικός παράγοντας για την χρήση τους σε σημεία δύσκολης πρόσβασης. Αντίθετα το κόστος αγοράς ενός τέτοιου συστήματος (Εικόνα 17) είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με τις λιγότερες εργατοώρες που χρειάζεται έως τη δημιουργία του τελικού μοντέλου, κάτι που έχει επίπτωση στην αναλογία κόστος – κέρδος. Τέλος, ένα από τα μεγάλα προτερήματα αυτών των οργάνων αποτελεί συνάμα και μειονέκτημα. Το πλήθος των σημείων, μπορεί πολλές φορές να είναι και ο ανασταλτικός παράγοντας στην καθυστέρηση της δημιουργίας του 3D μοντέλου. Αυτό παρατηρείται γιατί ο χειριστής δεν έχει την δυνατότητα επιλογής σημείων κατά τη σάρωση αλλά μόνο τη ρύθμιση του βήματος στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα ανάλυσης των μετρήσεων. Κάτι που ξεπερνιέται κατά την επεξεργασία του νέφους σημείων με την αφαίρεση τέτοιων σημείων, διαδικασία που μπορεί να είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη ανάλογα με την πολυπλοκότητα του νέφους (Κοϊμτζόγλου Δήμητρα, 2012).

Ακολουθούν μερικοί σύγχρονοι επίγειοι σαρωτές (ναυαρχίδες), από τις γνωστές εταιρείες κατασκευής (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II), μαζί με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Ενδεικτικά, ο Leica RTC360, παραγωγής 2018, καταφέρνει να δημιουργεί σε λιγότερο από 2 λεπτά, ένα πλήρες σκανάρισμα με HDR εικόνες ακρίβειας 6mm ανά 10 μέτρα ανάλυση. Επίσης διαθέτουν ειδικές εφαρμογές που παρέχουν δυνατότητες στο χρήστη να επεμβαίνει ανά πάσα στιγμή στη σάρωση, ελέγχοντας και αποφεύγοντας τυχόν λάθη, μειώνοντας αισθητά το μετέπειτα χρόνο εργασίας στο γραφείο.



Εικόνα 18. Focus S 350/350 Plus (FARO, 2020)

### **Focus<sup>s</sup> 350/350 Plus**

- Εταιρεία : FARO
- Έτος κυκλοφορίας
- Ακρίβεια μέτρησης απόστασης  $\pm 1$  mm
- Ακρίβεια μέτρησης γωνίας 19 arc ανά δευτερόλεπτο.
- Εύρος απόστασης σάρωσης 0.6 – 350 μέτρα
- Καταγραφή 976 χιλιάδων σημείων ανά δευτερόλεπτο
- Ενσωματωμένη κάμερα 165 megapixels
- Λειτουργία HDR για μεγαλύτερη πιστότητα χρωμάτων και σάρωση σε τοποθεσίες υπερ. έκθεσης φωτός ή απόλυτου σκότους
- Κατηγορία Laser : Laser Class 1
- Ασφάλεια αδιαβροχοποίησης IP54
- Δυνατότητα ελέγχου επί του πεδίου με το FARO SCENE (επικοινωνία ασύρματα μέσω δικτύου)
- Μέγεθος: 230 \* 183 \* 103 mm
- Βάρος: 4.2 κιλά
- Ενδεικτική τιμή μεταχειρισμένου οργάνου 80.000 €

(FARO, 2020)



Εικόνα 19. Leica RTC360 (Leica Geosystems, 2020)

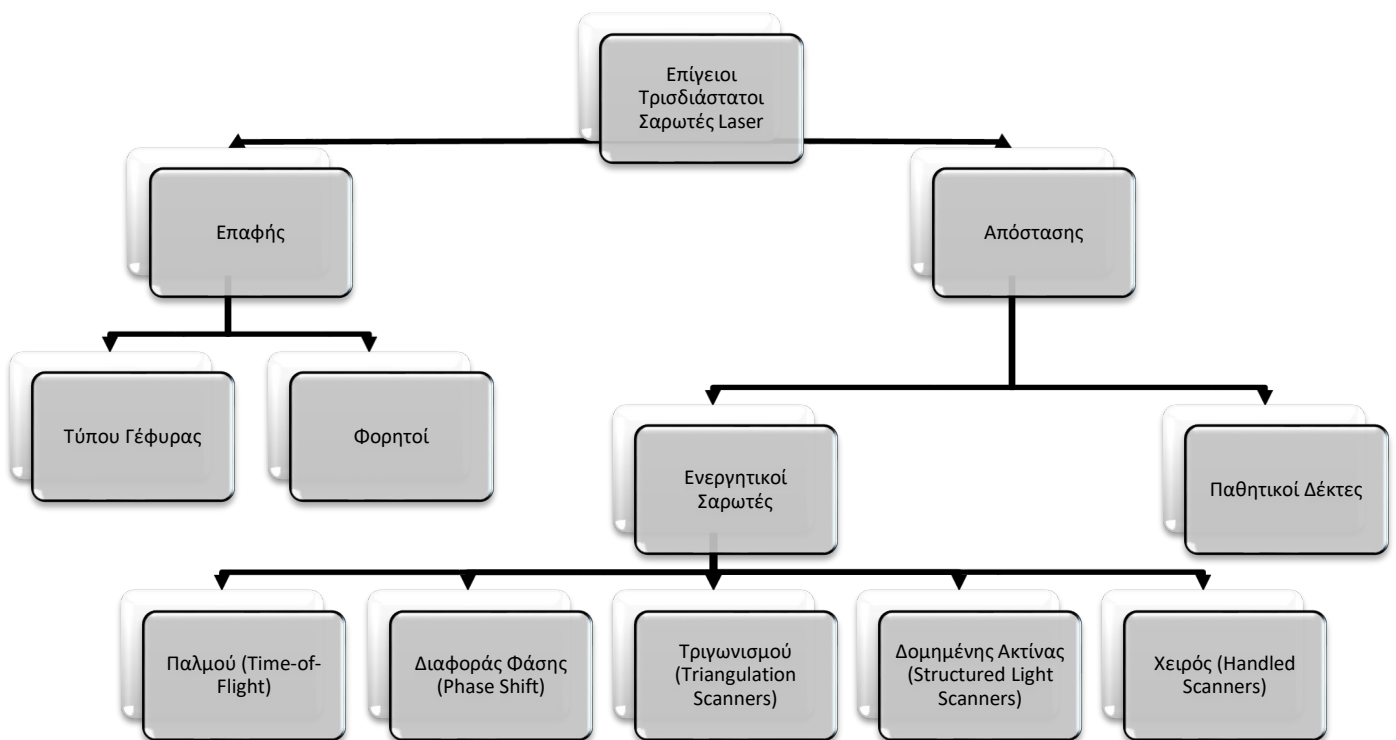
### **Leica RTC360**

- Εταιρεία: Leica Geosystems
- Έτος κυκλοφορίας 2018
- Ακρίβεια μέτρησης απόστασης  $\pm 1$  mm + 10 ppm
- Ακρίβεια μέτρησης 3D σημείου
- 1.9 mm @ 10 m
- 2.9 mm @ 20 m
- 5.3 mm @ 30 m
- Ακρίβεια μέτρησης γωνίας 18 arc ανά δευτερόλεπτο
- Εύρος απόστασης σάρωσης 0,5 – 130 μέτρα
- Καταγραφή περισσότερων από 2 εκατομμύρια σημεία ανά δευτερόλεπτο
- Ενσωματωμένη κάμερα 36 megapixels με μέγεθος παραθύρου σάρωσης 360° οριζόντια και 300° κατακόρυφα
- Λειτουργία HDR για μεγαλύτερη πιστότητα χρωμάτων και σάρωση σε τοποθεσίες υπερ. έκθεσης φωτός ή απόλυτου σκότους
- Κατηγορία Laser : Laser Class 1
- Ασφάλεια αδιαβροχοποίησης IP54
- Δυνατότητα ελέγχου επί του πεδίου με τη εφαρμογή Leica Cyclone FIELD 360 (επικοινωνία ασύρματα μέσω δικτύου)
- Μέγεθος: 120 \* 240 \* 230 mm
- Βάρος: 5,35 κιλά
- Τιμή προϊόντος 80,000 δολάρια (Leica Geosystems, 2020)



## 4.2 Είδη Σαρωτών

Οι επίγειοι σαρωτές Laser είναι όργανα ενεργής απεικόνισης που υπολογίζουν σε πραγματικό χρόνο τις 3D συντεταγμένες (x, y, z) του αντικειμένου που αποτυπώνεται (Ζάχος Αριστείδης, 2020). Η χρήση του όρου «ενεργής απεικόνισης» λογίζεται γιατί παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα συλλογής ενός μεγάλου πλήθους 3D σημείων σε ελάχιστο χρόνο σάρωσης, ενώ παράλληλα δημιουργούν άμεσα το τελικό προϊόν (νέφος σημείων), που περιλαμβάνει ξεχωριστό (x, y, z) για κάθε σημείο, στο σύστημα αναφοράς του σαρωτή, όπως επίσης και το πλεονέκτημα καταγραφής της έντασης του ανακλώμενου σήματος ή του χρώματος (RGB) (Γεωργόπουλος Ανδρέας, 2012). Διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο που συλλέγουν τις συντεταγμένες θέσης επί των επιφανειών του αντικειμένου, σε:



Εικόνα 20. Είδη Σαρωτών

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές επαφής χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε βιομηχανικές εργασίες. Η ταχύτητα της σάρωσης σε συνδυασμό με τη ακρίβεια και την ποιότητα του τελικού μοντέλου τούς καθιστά ακατάλληλους για εργασίες αποτύπωσης μνημείων. Η βασική διαφορά τους με τους σαρωτές απόστασης είναι ότι η καταγραφή των συντεταγμένων θέσης γίνεται ενώ ο αισθητήρας κινείται πάνω στην επιφάνεια ενδιαφέροντος. Από την άλλη μεριά οι σαρωτές απόστασης, μπορούν να καταγράψουν την πληροφορία έχοντας αρκετά μέτρα απόστασης με το αντικείμενο, επισπεύδοντας την διαδικασία και προστατεύοντάς το από τυχόν φθορές που μπορεί να προκαλέσει η επαφή με αυτό. Κατηγοριοποιούνται σε σαρωτές ενεργής απεικόνισης (άμεσα αποτελέσματα) και σε παθητικούς.



Αυτοί που μας ενδιαφέρουν, ως αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι οι σαρωτές υπολογισμού της απόστασης του σημείου επί του αντικειμένου. Χωρίζονται ανάλογα με τη μέθοδο που υπολογίζουν την απόσταση σε «ενεργητικούς» και «παθητικούς». Οι ενεργητικοί σαρωτές είναι πιο συνηθισμένοι σε αποτυπώσεις μνημείων, επειδή καταφέρνουν να αποτυπώνουν το αντικείμενο, όπως και τον περιβάλλοντα χώρο, λαμβάνοντας την εκπεμπόμενη ακτινοβολία, που ξεκινάει από τον σαρωτή, αφού αυτή προσπίπτει στο αντικείμενο. Αντιθέτως, οι παθητικοί δέκτες δεν εκπέμπουν ακτινοβολία. Αποτυπώνουν το αντικείμενο, ανιχνεύοντας την ανακλώμενη από το αντικείμενο ακτινοβολία του περιβάλλοντος (Τοκμακίδης Κωνσταντίνος, 2014). Επιπλέον, οι παθητικοί δέκτες χαρακτηρίζονται από τα στερεοσκοπικά συστήματα και τις αυτόματες φωτογραμμετρικές μεθόδους που χρησιμοποιούν.

Οι βασικοί ενεργητικοί σαρωτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο από τοπογραφικά συνεργεία για εκπόνηση εργασιών, όπως αυτής της τεκμηρίωσης μνημείων και αρχαιολογικών χώρων είναι οι σαρωτές παλμού, διαφοράς φάσης και τριγωνισμού. Η βασική διαφορά του σαρωτή παλμού με έναν σαρωτή διαφοράς φάσης, είναι στην εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Ο σαρωτής παλμού (Time of Flight) – πομπός, στέλνει έναν σύντομο παλμό (κουκίδα Laser) προς την κατεύθυνση του αντικειμένου - στόχου. Αυτός προσπίπτει στην επιφάνεια του αντικειμένου και ανακλάται. Το ανακλώμενο αυτό σήμα (laser) καταγράφεται από τον σαρωτή - δέκτη. Γνωρίζοντας την ταχύτητα που ταξιδεύει το φως στον αέρα (στο κενό ταξιδεύει με  $3 \cdot 10^8$  m/s), ο δέκτης μετράει το χρόνο από την στιγμή της εκπομπής μέχρι τον εντοπισμό - επιστροφή του σήματος, που ονομάζεται χρονική υστέρηση. Ο υπολογισμός της απόστασης του αντικειμένου από το σημείο 0, που είναι το σημείο που έγινε η κέντρωση του οργάνου, προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{Απόσταση (S)} = \frac{\text{Χρονική υστέρηση} * \text{Ταχύτητα φωτός}}{2}$$

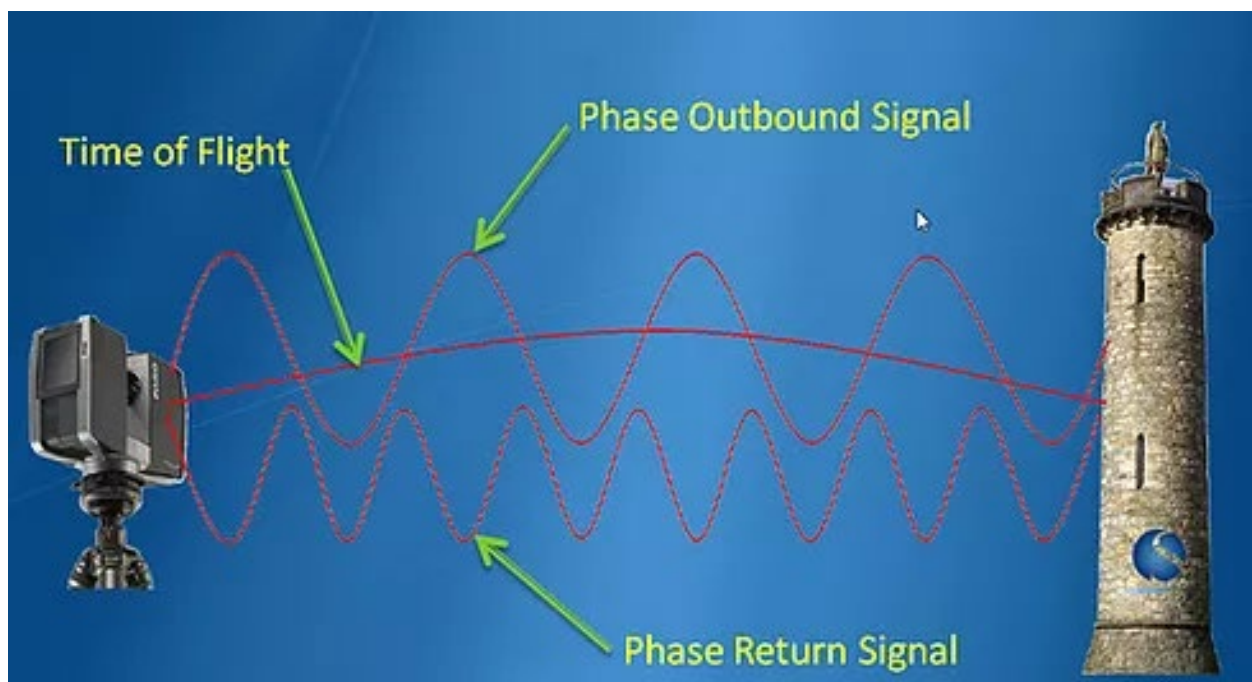
Αντίθετα, ο σαρωτής διαφοράς φάσης εκπέμπει συνεχώς ακτινοβολία (laser, της οποίας διαμορφώνεται η ένταση) προς το αντικείμενο – στόχο. Αυτή προσπίπτει στην επιφάνεια του αντικειμένου και ανακλάται. Ο δέκτης (σαρωτής) καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η σύγκριση των δυο αυτών σημάτων, εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου, αποφέρει μια διαφορά φάσης. Ο χρόνος από τη στιγμή που έφυγε το σήμα μέχρι να επιστρέψει υπολογίζεται βάση της σχέσης:

$$\text{Χρόνος (t)} = \frac{\text{Διαφορά Φάσης}}{2 * \pi * \text{Ταχύτητα Διαμόρφωσης}}$$

Ενώ η απόσταση του σημείου του αντικειμένου από το σημείο του οργάνου προκύπτει από τη παρακάτω σχέση:

$$\text{Απόσταση (S)} = \frac{\text{Χρόνος (t)} * \text{ταχύτητα φωτός}}{2}$$

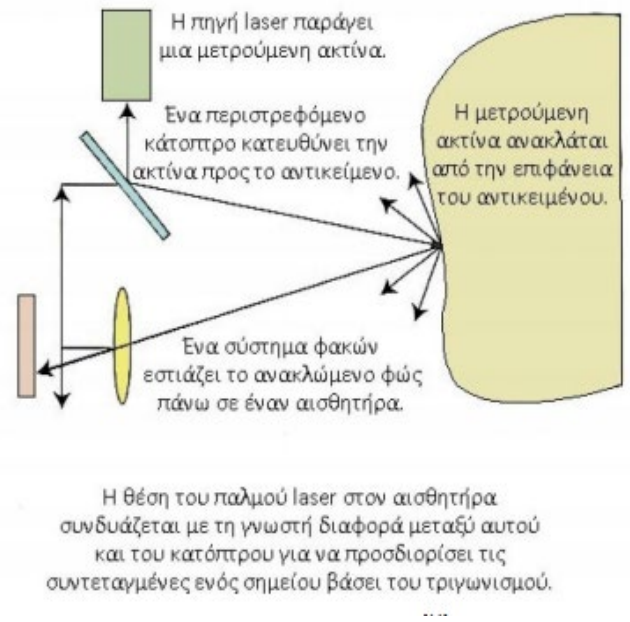
Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται καλύτερα η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο πιο διαδεδομένων σαρωτών σε εργασίες τεκμηρίωσης μνημείων, του σαρωτή παλμού και της διαφοράς φάσης. Αξίζει να σημειωθεί πως οι σαρωτές παλμού είναι ελάχιστα πιο αργοί από αυτούς της διαφοράς φάσης κατά τη σάρωση. Αυτό συμβαίνει, καθώς σαρώνουν σε ένα ορισμένο παράθυρο σάρωσης εντός 360° στον οριζόντιο κώνο και περίπου 330° στον κατακόρυφο. Με αυτό τον τρόπο το προϊόν, νέφος σημείων, είναι πιο πυκνό (σχεδόν 50.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο και απόστασης σημείου οργάνου έως 300 μέτρα – διαφέρει από όργανο σε όργανο) αλλά ο χρόνος της σάρωσης περισσότερος. Αντίθετα, οι σαρωτές διαφοράς φάσης καταφέρνουν να σαρώνουν περίπου ένα εκατομμύριο σημεία ανά δευτερόλεπτο αλλά το εύρος της απόστασης δεν ξεπερνά τα 80 μέτρα, κάνοντας τους ιδανικούς σε εργασίες εσωτερικών χώρων και βιομηχανίας. Παρόλα αυτά, οι time of flight σαρωτές καταφέρνουν, ορισμένα νέα μοντέλα, να καταγράφουν ένα εκατομμύριο σημεία ανά δευτερόλεπτο αλλά μειώνοντας ο κατασκευαστής το εύρος μέτρησης από τα 300 μέτρα στα 120 μέτρα.



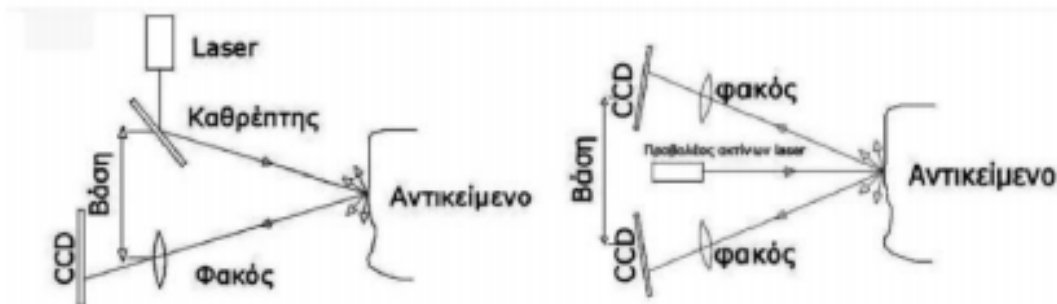
Εικόνα 21. Σύγκριση Σαρωτή Παλμού και Διαφορά φάσης – Πηγή: zenodo.org.

Τέλος οι σαρωτές τριγωνισμού (triangulation), λειτουργούν εκπέμποντας ακτίνα laser που προσπίπτει σε σημείο του αντικειμένου, όπου με τη χρήση φωτογραμμετρικών αλγόριθμων υπολογίζεται η θέση του σημείου επί του αντικειμένου. Σημαντική λεπτομέρεια ώστε τα παραγόμενα δεδομένα να είναι ακριβής, είναι οι συνθήκες φωτισμού. Ακόμα αυτό που τους διαφοροποιεί έναντι των υπολοίπων είναι ότι καταγράφουν την ανακλώμενη ακτινοβολία μέσω ειδικών φωτογραφικών καμερών με αισθητήρα τύπου CDD (δυνατότητα και χρήσης 2 καμερών). Ουσιαστικά οι κάμερες με το στοιχείο CCD μπορούν να καταγράψουν την ακτίνα του laser που ανακλάται από το αντικείμενο παρόμοια με τη μέθοδο της εμπροσθοτομίας που συναντάμε στη Φωτογραμμετρία.

Δηλαδή, σε περιπτώσεις χρήσης δυο αισθητήρων CDD, επιλύει την εμπροσθοτομία με τη μέθοδο δέσμης, όπου έχοντας τις εικονοσυντεγμανές των σημείων από τις δυο εικόνες, υπολογίζει την απόσταση και τη θέση του αντικειμένου (Μπουτσιαάδου , 2014). Το εύρος μέτρησης κυμαίνεται μεταξύ 2 – 1000 mm, ενώ η ακρίβεια μπορεί να φτάσει τα 0.03  $\mu\text{m}$ . Βρίσκει μεγαλύτερη εφαρμογή σε εργασίες μοντελισμού και όχι τόσο αποτύπωσης μνημείου εξαιτίας του εύρους απόστασης. Για καλύτερη επεξήγηση της διαδικασίας προτείνεται η παρακολούθηση σχετικών βίντεο που υπάρχουν στο διαδίκτυο (Messtechnik, 2014).



Εικόνα 22. Παράδειγμα λειτουργίας Σαρωτή Τριγωνισμού – Πηγή: researchgate.net.



Εικόνα 23. Μέθοδος τριγωνισμού με χρήση ενός ή δυο αισθητήρων τεχνολογίας CCD – Πηγή: ecourses.dbnet.ntua.gr

## 4.3 Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

Όπως έχει προαναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, το χαρακτηριστικό εκείνο που ξεχωρίζει αλλά ταυτοχρόνως αποτελεί και τον λόγο επιλογής των επίγειων σαρωτών έναντι των υπολοίπων μεθόδων αποτύπωσης μνημείων, είναι το τελικό παραδοτέο μοντέλο. Το παραγόμενο, λοιπόν, προϊόν είναι αυτό που καταφέρνει να κάνει κατανοητό σε επιστήμονες διαφορετικών πεδίων, όπως οι αρχιτέκτονες, αρχαιολόγοι κ.α., να αντιλαμβάνονται καλύτερα τις ανάγκες του μνημείου τόσο σε θέματα συντήρησης από τυχόν φθορές όσο και από θέματα ανακατασκευής με υλικά ίδιας ποιότητας και ακριβούς προσδιορισμού της θέσης τους στο αντικείμενο. Προκειμένου, όμως, να παραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου προηγούνται ορισμένα βασικά στάδια. Τα στάδια επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων ενός σαρωτή Laser είναι, με χρονική σειρά, τα εξής παρακάτω:

- Φόρτωση των σημείων
- Προετοιμασία των δεδομένων
- Συνένωση των σαρώσεων (Registration)
- Γεωαναφορά του συνενωμένου νέφους σημείων
- Καθάρισμα του νέφους σημείων
- Δημιουργία του τελικού 3D μοντέλου
- Τέλος, εξαγωγή στοιχείων σε περιβάλλον CAD

Επιπλέον υπάρχουν και στάδια όπως:

- Δημιουργία επιφανειών
- Χρωματική επεξεργασία του μοντέλου

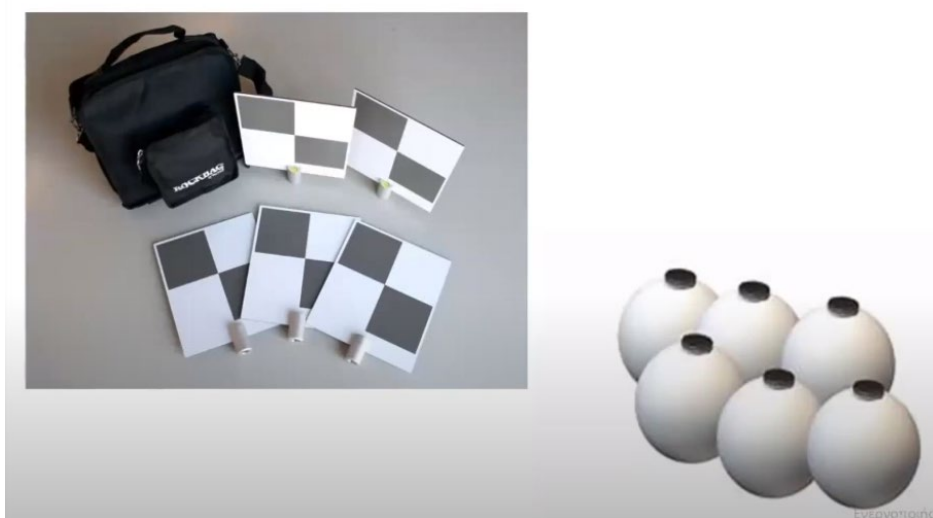
Όλα τα παραπάνω στάδια επεξεργασίας του point cloud, πραγματοποιούνται σε εξειδικευμένα προγράμματα όπως αυτά που αναφέρονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.

Πιο συγκεκριμένα, και προτού ξεκινήσουν οι διαδικασίες της επεξεργασίας των δεδομένων, πραγματοποιείται ο σχεδιασμός της διαδρομής των σαρώσεων. Μια διαδικασία που ορίζεται μετά την μελέτη του χώρου και τη δημιουργία του σκαριφήματος. Το μέγεθος των αρχείων που θα προκύψουν είναι αρκετά μεγάλο αν υπολογίσουμε πως ένας σύγχρονος επίγειος σαρωτής μπορεί να αποτυπώνει περίπου ένα εκατομμύριο σημεία. Λόγω αυτού του δεδομένου και της υπολογιστικής ικανότητας που παρέχει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που θα πραγματοποιήσει την επεξεργασία, ο τοπογράφος καλείται να ορίσει τη διαδρομή της σάρωσης ώστε να αποτυπωθεί κάθε σημείο του αντικειμένου με τις λιγότερο δυνατές σαρώσεις. Η εξασφάλιση των στάσεων γίνεται με χρήση είτε γεωδαιτικού δέκτη (όδευση) είτε με τη χρήση δέκτη GPS. Επιπλέον, όπως γίνεται κατανοητό, η χρήση φωτογραφιών παρέχει την διευκόλυνση της αναγνώρισης των σημείων όσο και της παροχής επιπρόσθετης πληροφορίας για τις επιφάνειες που δεν μπορεί να αποτυπώσει ο σαρωτής. Όλα αυτά τα δεδομένα ονομάζονται πρωτογενή, προερχόμενα από τη μονάδα ελέγχου μεταφέρονται, συνήθως, μέσω SD κάρτας, στον κύριο



υπολογιστή που περιέχει το κατάλληλο λογισμικό και ισχύ για να ξεκινήσει η διαδικασία της επεξεργασίας.

Στο λογισμικό, πλέον, εμφανίζονται πολλά διαφορετικά νέφη σημείων, ανάλογα των αριθμών των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο. Σε αυτό το στάδιο, ο χειριστής καλείται να επιλέξει ομόλογα σημεία (κοινά) μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων. Αυτά τα σημεία πρέπει να είναι γνωστής γεωμετρίας (έντονης, με ύπαρξη γωνιών) για επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Για τον σκοπό αυτό, συχνά χρησιμοποιούνται ειδικοί πορσημασμένοι στόχοι ή φωτοσταθερά, σε επιφάνειες όπου δεν είναι δύσκολο να βρεθούν φυσικά χαρακτηριστικά σημεία. Ενώ, σε ορισμένα λογισμικά υπάρχει και η δυνατότητα συνένωσης των σαρώσεων μέσω κοινών περιοχών, μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που προτείνεται τα τελευταία χρόνια, αφού μειώνει αισθητά τον χρόνο εργασίας αλλά χρήζει ιδιαίτερης προσοχής (Μπουτσιάδου Ν. Κατερίνα, 2014).



Εικόνα 24. Ενδεικτικά φωτοσταθερά που χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες αποτύπωσης μνημείων – Πηγή: sgeotopo.gr.

Έχοντας φορτώσει στο λογισμικό τα σημεία από τον σαρωτή και τις φωτογραφίες, το επόμενο βήμα είναι ο προσανατολισμός ή αλλιώς γεωαναφορά του νέφους των σημείων, στις πραγματικές συντεταγμένες. Μια διαδικασία που μοιάζει σε αυτή του απόλυτου προσανατολισμού που πραγματοποιείται σε δεδομένα φωτογραμμετρίας ή αυτή της γεωαναφοράς ψηφιακών δεδομένων (vector και raster) στο τομέα της γεωπληροφορικής (GIS). Υπάρχουν δυο τρόποι για να γίνει η γεωαναφορά του νέφους σημείων. Η πρώτη περίπτωση, ξεκινάει από το στάδιο του ορισμού στάσεων στο πεδίο. Αν πραγματοποιηθεί εξάρτηση του δικτύου μέσω σημείου γνωστών συντεταγμένων (διαδικασία της όδευσης) ή μέσω GPS μετρήσεων (base & rover ή rtk μεθόδου) και επίλυσης βάση αυτών, της όδευσης. Ο σαρωτής στήνεται στις στάσεις που έχουν υποδειχθεί σύμφωνα με το σκαρίφημα. Με τον τρόπο λειτουργίας που περιγράφεται σε προηγούμενη ενότητα, παίρνει μετρήσεις πολικών συντεταγμένων για κάθε σημείο της επιφάνειας που σαρώνει (δύο γωνίες διεύθυνσης και μια απόστασης). Αυτές μεταφέρονται αυτομάτως και ταυτόχρονα στη μονάδα ελέγχου (φορητός υπολογιστής). Ανάλογα με το σύστημα αναφοράς που έχει οριστεί από τον χρήστη, παράγονται οι τελικές συντεταγμένες X, Y και Z, που είναι μοναδικές και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο. Το παράγωγο αυτής της τακτικής είναι

ένα γεωαναφερμένο νέφος, έτοιμο για επεξεργασία. Στην άλλη περίπτωση η γεωαναφορά γίνεται στο γραφείο. Ο χρήστης φορτώνει το point cloud από τη μονάδα ελέγχου στον υπολογιστή που θα γίνει η επεξεργασία, και πιο συγκεκριμένα στο λογισμικό που έχει επιλεγθεί. Από εκεί, χρειάζεται να εντοπίσει τουλάχιστον 3 σημεία γνωστών συντεταγμένων. Αυτά είναι συνήθως σταθερά σημεία, όπου μετρήθηκαν τοπογραφικά (συνήθως οι στάσεις που έγινε η αποτύπωση του χώρου). Με τον τρόπο αυτόν γίνεται η αναδημιουργία της δέσμης στάση – σημείο, τοποθετώντας στις σωστές θέσεις τα σημεία της σάρωσης. Και στις δύο τεχνικές γεωαναφοράς, το τελικό προϊόν είναι γεωαναφερμένο, σε πραγματικό μέγεθος και μπορούμε να πάρουμε ακριβείς μετρήσεις σε αυτό.

Σε αυτό το στάδιο υπάρχει το προαιρετικό βήμα, αν θα εκμεταλλευθεί ο χειριστής πλήρως της δυνατότητας του επίγειου δέκτη. Μια από αυτές είναι ότι καταφέρνει να αποθηκεύσει μαζί με τις πολικές συντεταγμένες και τρεις επιπλέον. Τις RGB τιμές του σημείου. Σημαντικό ρόλο στην πιστότητα της χρωματικής επεξεργασίας του νέφους παίζει ρόλο οι συνθήκες φωτισμού στο αντικείμενο. Σε περιπτώσεις μειωμένου φωτισμού το μοντέλο θα φαίνεται με κάποιου είδους σκιάς ενώ αντίθετα σε συνθήκες υψηλού φωτισμού, σε ορισμένες γωνίες θα υπάρχει exposure των χρωμάτων. Ορισμένα λογισμικά παρέχουν την ευχέρεια, περαιτέρω χρωματισμού του νέφους στον χρήση, μέσω της λήψης φωτογραφιών που πραγματοποιεί ο σαρωτής. Συνήθως αυτή η διαδικασία ακολουθείται αν το όργανο δεν έχει αποτυπώσει ορθά την χρωματική πληροφορία ή αν οι καιρικές συνθήκες κατά την εκτέλεση της σάρωσης δεν ήταν ιδανικές (συννεφιά, έντονη αντανάκλαση). Το λογισμικό προσφέρει τον χρήστη πέντε διαφορετικές αναπαραστάσεις των RGB τιμών. Αυτές είναι κατά κύριο λόγο:

- Μονοχρωματικών σημείων
- Grayscale 256 τιμών
- Ψευδοχρωματική απεικόνιση
- Απόδοση χρωματισμού από το λογισμικό
- Βάσει των τιμών RGB που αποτυπώθηκε

Η χρωματική επεξεργασία του νέφους (Colorization), μπορεί να βοηθήσει κατά τον καθαρισμό του νέφους. Ο καθαρισμός γίνεται ώστε να αφαιρεθεί όλη η άχρηστη πληροφορία που είναι περιττή για την υλοποίηση του μοντέλου. Η αυτοματοποιημένη σάρωση της κάθε επιφάνειας βάσει του βήματος (παραθύρου σάρωσης) που ορίζεται είναι η αιτία σάρωσης σημείων που χαρακτηρίζονται ως θόρυβος στο νέφος σημείων. Σημεία όπως βλάστηση, εργαλεία τυχόν συνεργείου, ανθρώπινο δυναμικό, σημεία που προκύπτουν λόγω του συντελεστή ανακλαστικότητας υλικού του αντικειμένου που δημιουργούν παρανόηση, γνωστό ως φαινόμενο ακμής (edge effect), σημεία που προκύπτουν λόγω της διαπεραστικότητας του γυαλιού, είναι τα πιο συνηθισμένα φαινόμενα ύπαρξης θορύβου. Η αφαίρεση τους μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα επιλέγοντας μεμονωμένα ή μέσω πολυγώνου τα σημεία για αφαίρεση είτε αυτοματοποιημένα μέσω αλγόριθμου. Σε αυτή τη φάση της επεξεργασίας, πολλές φορές επιλέγεται εσκεμμένα από τον χρήστη η αφαίρεση σημείων, αν το επιτρέπει η ακρίβεια απόδοσης που πρέπει να έχει το τελικό μοντέλο, προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του χρόνου επεξεργασίας. Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, προκύπτει το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο μορφής (mesh)

με φωτορεαλιστική υφή. Μια διαδικασία που χρειάζεται ισχυρό υπολογιστικό σύστημα. Η χρήση φίλτρων υφής (π.χ. εξομάλυνσης, τονισμού) για την καλύτερη απόδοση της επιφάνειας, με έλεγχο στη διατήρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του. Πλέον, ο χρήστης μπορεί να απομονώσει επιφάνειες όπου χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής ώστε να μελετηθούν μεμονωμένα, όπως μέτρηση αποστάσεων, κλίσεων. Επιπροσθέτως, η εξαγωγή της κάτοψης ή όψης είναι συνήθης διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείου.

## 4.4 Ακρίβεια Σάρωσης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν μια σάρωση δεν εξαρτώνται πάντα από τις προδιαγραφές που δίνει ο κατασκευαστής, αλλά μεταβάλλονται βάσει κάποιων ειδικών παραμέτρων που συναντάμε κατά τη σάρωση (Boehler W, Bordas M. Vincent & Marbs A., 2003). Ίσως η παράμετρος με τη μεγαλύτερη επιρροή στην ακρίβεια του τελικού μοντέλου είναι αρχικά η βαθμονόμηση που έχει υποστεί το όργανο πριν την σάρωση. Επιπλέον κατασκευαστικοί παράμετροι που μειώνουν ή αυξάνουν την ακρίβεια των μετρήσεων, και συγχρόνως την ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου, είναι:

- Η ακρίβεια της μέτρησης της γωνίας πρόσπτωσης βάσει της γωνίας ανάκλασης. Μια συχνή επίλυση για αυτό είναι η μέτρηση σημείων τόσο με τοπογραφικό όργανο όσο και με τον σαρωτή και η σύγκριση μεταξύ τους.
- Η ακρίβεια της μέτρησης της απόστασης μπορεί να μειώσει την ακρίβεια. Σε σαρωτές υψηλής εμβέλειας η ακρίβεια μέτρησης απόστασης παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως απόστασης. Αντίθετα, σε σαρωτές τριγωνισμού η απόσταση σαρωτή-αντικειμένου μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια.
- Το μέγεθος της κουκίδας laser που εκπέμπει ο σαρωτής ή αλλιώς η διακριτική ικανότητα του οργάνου. Το μέγεθος της κουκίδας καθορίζει και την ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση σάρωσης μεταξύ δυο σημείων.
- Οι τυχόν μικρομετακινήσεις του σαρωτή από την κέντρωση του.
- Καθώς και το ορισμένο παράθυρο σάρωσης που δηλώνεται, που είναι ανάλογο της πυκνότητας σάρωσης (υψηλή πυκνότητα μπορεί να μειώσει αισθητά την ύπαρξη “κενών” σημείων).

Παράλληλα, οι παράμετροι που έχουν επιρροή στην ακρίβεια αλλά οφείλονται στις συνθήκες και στην πολυπλοκότητα του αντικειμένου είναι:

- Το edge effect, δηλαδή η λανθασμένη εστίαση επί της ακμής ενός αντικειμένου όπου προκύπτουν λανθασμένα σημεία από την ανάκλαση σε αυτή.
- Οι ιδιότητες του υλικού του αντικειμένου, όπως οι αδιαφανείς επιφάνειες (διασκόρπιση του φωτός κάτω από την επιφάνεια του), οι ανομοιογενείς επιφάνειες (διάχυση της ανακλαστικότητας) και τέλος, επιφάνειες με έντονη υγρασία (απορρόφηση της ακτινοβολίας), μπορούν να αυξήσουν τα ποσοστά θορύβου στις σαρώσεις.

Τέλος, ένας κύριος λόγος επιρροής των μετρήσεων είναι οι καιρικές συνθήκες. Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να δυσκολέψουν τον χειριστή στην σωστή εστίαση επί του αντικειμένου, δημιουργώντας αποκλίσεις στις μετρήσεις. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επηρεάζεται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από την πίεση, μειώνοντας αισθητά την ταχύτητα διάδοσης του φωτός, βρίσκοντας διαφορές στις μετρήσεις απόστασης (Σκουρή Ιωάννα, 2010).

## 4.5 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων με τη χρήση Σαρωτή

Η ανάγκη για να αναγνωρισθεί και αναδειχθεί η πολιτισμική κληρονομιά του κάθε κράτους, ήταν η αιτία να αναπτυχθούν μέθοδοι για την τεκμηρίωση των μνημείων, στόχος των οποίων είναι η καταγραφή τους τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, προκειμένου να διευκολυνθούν οι διεργασίες διατήρησης, αποκατάστασης, συντήρησης, αλλά και σωστής και ασφαλούς λειτουργίας τους (Ζάχος Αριστείδης, 2020). Οι μέθοδοι που έχουν αποδοθεί ανά τα χρόνια για την τεκμηρίωση των μνημείων είναι οι εξής (χρονολογική σειρά εμφάνισης):

- Μετροταινία
- Laser χειρός
- Τοπογραφικά όργανα
- Φωτογραμμετρία
- Επίγειοι σαρωτές laser

Τα τελευταία χρόνια, ο συνδυασμός μεθόδων, όπως τοπογραφικά όργανα, που παρέχουν στην μελέτη την εξάρτησή της σε κάποιο γνωστό τριγωνομετρικό δίκτυο, μαζί με τη χρήση Laser Scanner, για πυκνότερη αποτύπωση λεπτομερειών και φωτογραμμετρικών μεθόδων, όπως με τη χρήση UAV επιλύουν πολλά γνωστά προβλήματα αποτύπωσης, παρέχοντας ποιοτικότερα και ακριβέστερα αποτελέσματα. Μερικά από τα γνωστά ζητήματα που καταφέρνουν να ξεπεραστούν με τον συνδυασμό διαφορετικών μεθοδολογιών αποτύπωσης είναι η δυνατότητα απόδοσης σημείων όπου δεν υπάρχει επικάλυψη με τις άλλες μεθόδους (π.χ. στέγη με χρήση Drone), η απόδοση σημείων που δεν δύναται η τοποθέτηση του σαρωτή, ή ακόμα και η απόδοση τυφλών σημείων, όπου η γωνία σάρωσης δεν καλύπτει (χρήση βαθμονομημένων καμερών τύπου DSLR). Οι δυνατότητες που μας παρέχει η μέθοδος του συνδυασμού διαφορετικών τοπογραφικών εφαρμογών, είναι η επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων στον 3D χώρο με ακρίβειες υψηλές, σε ιδανικές συνθήκες. Βάση όλων αυτών των τεχνολογιών, το τελικό προϊόν, της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, είναι μια ακριβής και λεπτομερής αναπαράσταση του αντικειμένου. Επιπλέον, μέσω του 3D model που παράγεται, έχουμε μια πιο κατανοητή προβολή του αντικειμένου στην υπάρχουσα κατάσταση αλλά και σε αυτήν που η εκάστοτε αρχή επιθυμεί να επιτευχθεί μετά την αποκατάσταση του μνημείου, παράγοντας παράλληλα τομές, κατόψεις και κλίσεις του αντικειμένου για εργασίες σε περιβάλλον CAD. Επίσης, ένα πλεονέκτημα είναι η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου του αντικειμένου (DSM), για την δημιουργία ορθοφωτογραφίας όπως και 3D βίντεο (animation), για

απομακρυσμένες, ψηφιακές περιηγήσεις μέσω διαδικτύου. Σημαντικό προσόν είναι ότι με την καταγραφή του πολιτισμικού πλούτου, μέσω της γεωμετρικής τεκμηρίωσης που ορίζεται από την υπάρχουσα νομοθεσία, δίνεται η ευκαιρία στις αρχές (π.χ. UNESCO, Ελληνική Αρχαιολογική Υπηρεσία κ.α.) να διαχειρίζονται μια βάση 3D δεδομένων, όπου για κάθε εγγραφή υπάρχουν ιδιότητες όπως ο όγκος, η πολυπλοκότητα του σχήματος και η ποιοτική κατάσταση. Συνεπώς, μπορεί να αναπτυχθεί ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών με εξειδίκευση στους αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία που θα διαχειρίζεται έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, με δυνατότητες προσθήκης, αφαίρεσης, ενημέρωσης, συσχέτισης και αποφυγή διπλότυπων εγγραφών.

Από την άλλη πλευρά η χρήση σαρωτή επιφέρει προβλήματα μεταφοράς, καθώς πρόκειται για όργανα μεγαλύτερου όγκου και βάρους σε σχέση με τους τυπικούς γεωδαιτικούς σταθμούς. Επιπλέον, οι δυνατότητες που προσφέρουν στις αποτυπώσεις έχουν επίπτωση στην τιμή αγοράς ενός τέτοιου σαρωτή.



Ακολουθεί επεξηγηματικός πίνακας μεθόδων και εφαρμογών σε γεωμετρικές αποτυπώσεις μνημείων.

Μέθοδος Αποτύπωσης	Πρωτογενή Δεδομένα	Τελικά Προϊόντα	Δυνατότητες Χρήσης	Τυπική Κλίμακα	Απαιτήσεις σε :
<b>ΕΜΜΕΣΕΣ</b>					
Τηλεπισκόπηση – Φωτογραμμετρία	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δορυφορικές εικόνες</li> <li>Αεροφωτογραφίες</li> </ul>	2D Ορθοεικόνες	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χαρτογράφηση μεγάλης έκτασης</li> <li>Περιβαλλοντικές μελέτες</li> <li>Αρχαιολογικές μελέτες</li> </ul>	1:10000 – 1:1000	
		3D Αποτυπώσεις, Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Τρισδιάστατη αποτύπωση</li> <li>3D οπτικοποίηση, απεικόνιση και απόδοση</li> </ul>		
Φωτογραμμετρία	<ul style="list-style-type: none"> <li>Αεροφωτογραφίες χαμηλού ύψους πτήσης</li> <li>Επίγειες λήψεις</li> </ul>	3D Αποτυπώσεις, Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χαρτογράφηση μεσαίας &amp; μικρής έκτασης</li> <li>Αποτύπωση εξωτερικών όψεων κτισμάτων</li> <li>Αποτύπωση, απεικόνιση ευρημάτων – αντικειμένων</li> <li>3D μοντελοποίηση</li> <li>3D οπτικοποίηση, απεικόνιση και απόδοση</li> </ul>	1:1000 – 10:1	Χρήση GPS Ειδικά λογισμικά Ειδικός εξοπλισμός
Φωτογραμμετρία – Σαρωτής Laser	<ul style="list-style-type: none"> <li>3D Laser Scanner υψηλής ακρίβειας</li> <li>Επίγειες λήψεις</li> </ul>	3D Αποτυπώσεις χώρου, κτισμάτων και αντικειμένων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Χαρτογράφηση μεσαίας &amp; μικρής έκτασης</li> <li>Αποτύπωση εξωτερικών όψεων κτισμάτων</li> <li>Αποτύπωση εσωτερικού χώρου κτισμάτων</li> <li>Αποτύπωση κλειστών χώρων</li> <li>Αποτύπωση απεικόνιση ευρημάτων – αντικειμένων</li> <li>3D μοντελοποίηση</li> <li>3D οπτικοποίηση, απεικόνιση και απόδοση</li> </ul>	1:100 – 10:1	Χρήση τοπογραφικών οργάνων Ειδικά λογισμικά Ειδικός εξοπλισμός

Πίνακας 2. Μέθοδοι αποτύπωσης μνημείων (Πατίας, 2009).

Συνοψίζοντας, η γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων, όπως αυτή αναφέρθηκε στο «ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – Νομοθεσία και Μέθοδοι Αποτύπωσης μνημείων», είναι η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης στοιχείων μέσω των οποίων πραγματοποιείται ο προσδιορισμός της ακριβούς θέσης του μνημείου, της μορφής, του σχήματος και του μεγέθους του στον τρισδιάστατο χώρο για την χρονική στιγμή που γίνεται η μελέτη.

Τα κύρια βήματα που ακολουθεί το τοπογραφικό συνεργείο σε μια εργασία αποτύπωσης μνημείου είναι:

- Επίσκεψη στο χώρο μελέτης. Εκεί ξεκινά η ανάλυση του αντικειμένου ενδιαφέροντος (συχνά με τη βοήθεια ειδικού που γνωρίζει το αντικείμενο), για θέματα πολυπλοκότητας της γεωμετρίας του αντικειμένου, του ανάγλυφου και της προσβασιμότητας. Τέλος, δημιουργείται το σκαρίφημα.
- Κατόπιν, εξετάζεται η καλύτερη δυνατή σχετική διαδρομή των στάσεων, ώστε να επιτευχθεί η πλήρης αποτύπωση του αντικειμένου με τις λιγότερες δυνατές σαρώσεις (εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων). Επίσης, εξετάζεται αν χρειάζεται να εγκατασταθούν τεχνητά σημεία για την διευκόλυνση της διαδικασίας της συνένωσης.
- Η σχεδιαστική τεκμηρίωση του αντικειμένου, δηλαδή εργασίες αποτύπωσης όπως κατόψεις, όψεις, τομές του αντικειμένου αλλά και η αποτύπωση του χώρου που εντάσσεται αυτό. Σε αυτή τη διαδικασία γίνεται η χρήση γεωδαιτικών σταθμών για την αποτύπωση του χώρου και την εξασφάλιση των στάσεων που θα στηθεί ο επίγειος σαρωτής laser (ίδρυση τριγωνομετρικού δικτύου). Καθώς, και η χρήση του σαρωτή, ώστε να αποτυπωθεί το αντικείμενο μαζί με τα στοιχεία μορφολογίας του και λεπτομερειών. Τέλος, σε σημεία όπως στέγη ή απρόσιτα σημεία, γίνεται η χρήση UAV.
- Ακολουθεί η φωτογραφική τεκμηρίωση, που χρησιμοποιείται ως έλεγχος και αναγνώρισης σημείων, όπου υπάρχει σύγχυση πληροφορίας στο νέφος σημείων από τον σαρωτή, για την δημιουργία του 3D model.
- Τελευταίο στάδιο της μελέτης του τοπογράφου, είναι η σύνταξη των δελτίων, η παράδοση των σχεδίων, η αναλυτική καταγραφή των φθορών, υλικών δομής και στοιχεία επικάλυψης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> -Επεξεργασία και Δημοσιοποίηση Νέφους Σημείων**

### **5.1 Εργασίες Πεδίου**

Η γεωμετρική τεκμηρίωση του τύμβου Καστά και του περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση επίγειου σαρωτή Laser. Οι λόγοι επιλογής μιας τέτοιας μεθόδου δεν ήταν άλλοι από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, όπως η ακρίβεια και η αξιοπιστία των μετρήσεων σε σύγκριση με την σημαντικότητα του εν λόγω αντικείμενου και της ζητούμενης ακρίβειας που πρέπει να αποτυπωθεί. Ο όγκος των λεπτομερειών που συναντάται σε ένα μνημείο όπως αυτό του Τύμβου Καστά, καθώς και η ακρίβεια που πρέπει να αποτυπωθεί ώστε να συνεχιστούν οι μελέτες (συντήρησης και αναστήλωσης), καθιστούν του σαρωτές την ιδανική μέθοδο γεωμετρικής τεκμηρίωσης. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας τρισδιάστατος σαρωτής laser της Leica, ο ScanStation 2 (

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Για τις ανάγκες μιας γεωμετρικής τεκμηρίωσης του τύμβου, απαιτείται η ίδρυση ενός τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου, ώστε να αποτελέσει το υπόβαθρο για τη αποτύπωση σημείων λεπτομέρειας. Η τοπογραφική αποτύπωση του χώρου καταφέρνει να ορίσει τη θέση του μνημείου στον περιβάλλοντα χώρο και την ένταξή του σε ένα γνωστό οριζοντιογραφικό δίκτυο. Η ένταξη τόσο του περιβάλλοντα τοπίου όσο και του αντικειμένου στον ελλαδικό χώρο έγινε με την χρήση δορυφορικών μεθόδων (GNSS), και πιο συγκεκριμένα μέσω στατικού εντοπισμού. Έχοντας οριστεί το δίκτυο οριζοντιογραφικού και υψομετρικού ελέγχου, τοποθετείται η σάρωση του μνημείου στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87, χρησιμοποιώντας ως στάσεις σάρωσης τις ισχύουσες της τοπογραφικής αποτύπωσης. Όσο για την ακρίβεια της σάρωσης και της απόδοσης της πραγματικής γεωμετρίας του αντικειμένου επηρεάζεται τόσο από τις ακρίβειες του σαρωτή που προσφέρει ο κατασκευαστής για το μοντέλο όσο και από την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης.

Ο τρισδιάστατος σαρωτής Leica ScanStation 2 προσφέρει ακρίβεια της τάξης των 6 χιλιοστών στον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου και 4 χιλιοστών προσδιορισμού της απόστασης του σημείου από τη θέση σάρωσης. Στον εσωτερικό χώρο του ταφικού μνημείου χρησιμοποιήθηκαν πορσημασμένοι στόχοι – φωτοσταθερά (Εικόνα 25) ενώ για τον περίβολο φυσικά σημεία, έντονης γεωμετρίας. Οι λόγοι της επιλογής διαφορετικής τεχνικής χρήσης φωτοσταθερών στο εσωτερικό από το εξωτερικό χώρο του τάφου, είναι επειδή επιδιώκεται υψηλότερη ακρίβεια στην απόδοση των λεπτομερειών (σφίγγες, Καρυάτιδες, ψηφιδωτό), άρα και χαμηλότερο σφάλμα συνένωσης των σαρώσεων, σε σύγκριση με τον μαρμάρινο περίβολο. Επιπλέον, λήφθηκαν ψηφιακές εικόνες από φωτογραφική μηχανή υψηλής ανάλυσης για την απόδοση φωτορεαλιστική υφή το μνημείο. Το συνολικό μέγεθος των raw αρχείων από τις εικόνες είναι 351 mb. Τα τελικά προϊόντα, οι επιμέρους σαρώσεις από τις 13 στάσεις, μεταφέρθηκαν από τον υπολογιστή της μονάδας ελέγχου στον υπολογιστή γραφείου (μεγαλύτερης υπολογιστικής ισχύς) για να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία τους.





*Εικόνα 25. Προσημασμένα φωτοσταθερά στον αριστερό πλευρικό τοίχο, στην είσοδο του τάφου.*



*Εικόνα 26. Προσημασμένα φωτοσταθερά περιμετρικά από τις σφίγγες στην είσοδο του τάφου*



## 5.2 Εργασίες Γραφείου

Το λογισμικό που επιλέχθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων είναι το Leica Cyclone. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας, περιλαμβάνει την εγγραφή (registration) των κάθε ξεχωριστών νεφών σαρώσεων σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, το ΕΓΣΑ 87. Η ένταξη στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87, πραγματοποιείται με τη μέθοδο της άμεσης γεωαναφοράς. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας τον σαρωτή σε ιδρυμένη στάση (στάση που έχει οριστεί με τη χρήση δορυφορικών μεθόδων (GNSS) κάνοντας χρήση του στατικού εντοπισμού, παρέχοντας καρτεσιανές συντεταγμένες στο εν λόγω σύστημα αναφοράς) όπου κεντρώνεται, οριζοντιώνεται και προσανατολίζεται ο σαρωτής προς μια άλλη στάση γνωστών συντεταγμένων. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο κάθε ξεχωριστή σάρωση που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο είναι γεωαναφερμένη. Το μόνο που χρειάζεται από τον χρήστη είναι να τοποθετήσει σε κάθε στάση σάρωσης τις συντεταγμένες που είχαν προκύψει κατά την επίλυση της όδευσης κατά το στάδιο της γεωαναφοράς στο λογισμικό.

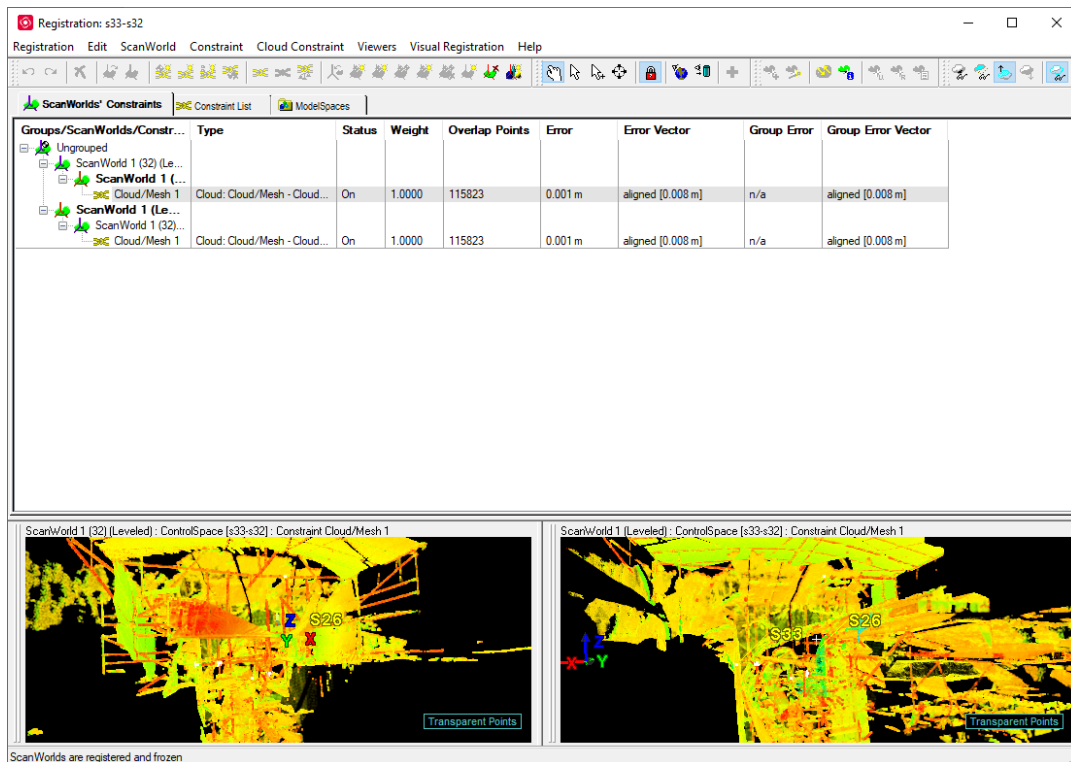
Στην συνένωση των σαρώσεων απαιτείται η ύπαρξη φωτοσταθερών ή αλλιώς ενδεικτικών κοινών σημείων μεταξύ δύο επικαλυπτόμενων σαρώσεων. Σημείων δηλαδή, γνωστής γεωμετρίας, παρέχοντας ικανοποιητική ακρίβεια, που θα εμφανίζονται σε ικανοποιητική ποσότητα ανά φωτογραφία ώστε να συνενωθούν οι σαρώσεις, και να προκύψει το τελικό ενιαίο νέφος σημείων, επιλύοντας φωτογραμμετρικές μεθόδους (μέθοδος δέσμης για επίλυσης της ακτίνας μεταξύ των κοινών σημείων από τις σαρώσεις). Συνοψίζοντας, οι παράμετροι που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της συνένωσης των point clouds, είναι :

- Το ποσοστό της επικάλυψης μεταξύ των σαρώσεων της περιοχής. Ένα μεγάλο ποσοστό κάλυψης μπορεί να επιτυγχάνει μεγαλύτερη ποσότητα αξιόπιστων κοινών σημείων αλλά παράλληλα αυξάνει τον αριθμό των σαρώσεων για την ολοκλήρωση του έργου, αυξάνοντας αυτομάτως και το μέγεθος των αρχείων. Επίσης ένα μικρό ποσοστό κάλυψης μπορεί να μειώσει την πιθανότητα εύρεσης αξιόπιστων κοινών σημείων μεταξύ των σαρώσεων, μειώνοντας την τελική ακρίβεια της συνένωσης. Ιδανικό ποσοστό επικάλυψης θεωρείται ένας αριθμός κοντά στο 60%.
- Ο αριθμός των κοινών σημείων που θα επιλεγθούν κατά το στάδιο της συνένωσης (registration). Όσο περισσότερα σημεία τόσο πιο ακριβές το είναι το τελικό αποτέλεσμα.

Και οι δυο παράμετροι αποτελούν εξίσου σημαντικοί για την επίτευξη ενός αποτελεσματικού και ακριβούς τελικού προϊόντος συνένωσης. Δεν πρέπει να παραληφθεί κανένας κατά την επεξεργασία του νέφους σημείων.

Στην εργασία, χρησιμοποιήθηκαν 7 στάσεις σάρωσης για την περίμετρο της περιβόλου και 6 για το εσωτερικό μέρος του τάφου, παρέχοντας 60% επικάλυψη ανά σάρωση. Αυτό ορίζεται από τον χρήστη της μονάδας ελέγχου, πριν τη έναρξη της διαδικασίας της σάρωσης, καθορίζοντας το παράθυρο της σάρωσης, τον τρόπο που θα αποτυπώνει τόσο κατά τον οριζόντιο όσο και κατά τον κατακόρυφο άξονα το αντικείμενο.

Για τη συνένωση των επιμέρους σαρώσεων, μέσω του λογισμικού Cyclone, επιλέγονται δύο διαδοχικές σαρώσεις, δημιουργώντας ένα registration προφίλ. Στην συνέχεια επιλέγονται κοινά σημεία, τηρώντας τις παραπάνω προϋποθέσεις ώστε να επιτευχθεί ακρίβεια μικρότερη των 2 cm.



Εικόνα 27. Συνένωση διαδοχικών σαρώσεων 33 & 32 με επίτευξη ακρίβειας 8 mm

Η διαδικασία ακολουθείται για κάθε ένα διαδοχικό ζεύγος σάρωσης έως ότου να δημιουργηθεί το τελικό, που περιέχει όλες τις σαρώσεις. Για τις σαρώσεις που αφορούν το εσωτερικό τμήμα του ταφικού μνημείου τα αποτελέσματα της συνένωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συνενωμένα νέφη	Ακρίβεια συνένωσης (RMS)
S32-S33	0.008 m
S37-S39	0.008 m
S32-S33-S38	0.009 m
S32-S33-S38-S34	0.008 m
S32-S33-S38-S34-S37-S39	0.017 m

Πίνακας 3. Ακρίβεια συνένωσης εξωτερικού τμήματος μνημείου

Αντίστοιχα για τις σαρώσεις του περιμετρικού χώρου του τύμβου

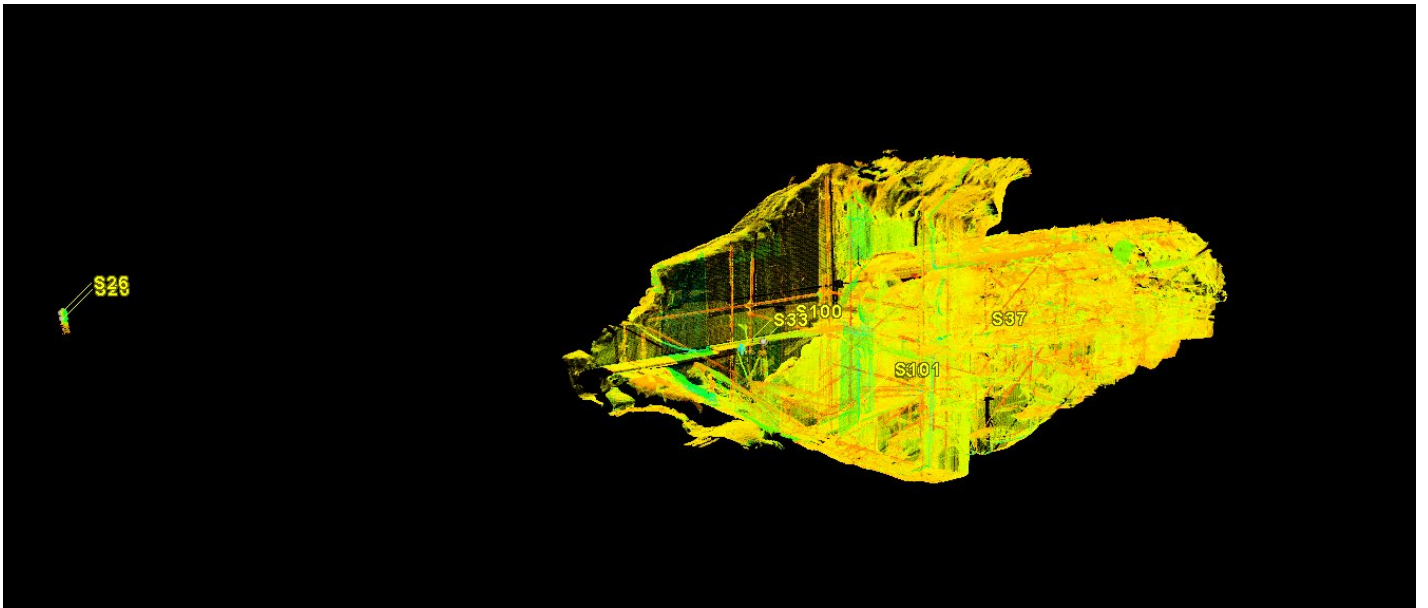
Συνενωμένα νέφη	Ακρίβεια συνένωσης (RMS)
S22-S23	0.007
S22-S23-S24	0.007
S22-S23-S24-S25	0.008
S22-S23-S24-S25-S26	0.007
S22-S23-S24-S25-S26-S27	0.009
S22-S23-S24-S25-S26-S27-S30	0.009

Πίνακας 4. Ακρίβεια συνένωσης εσωτερικού τμήματος μνημείου

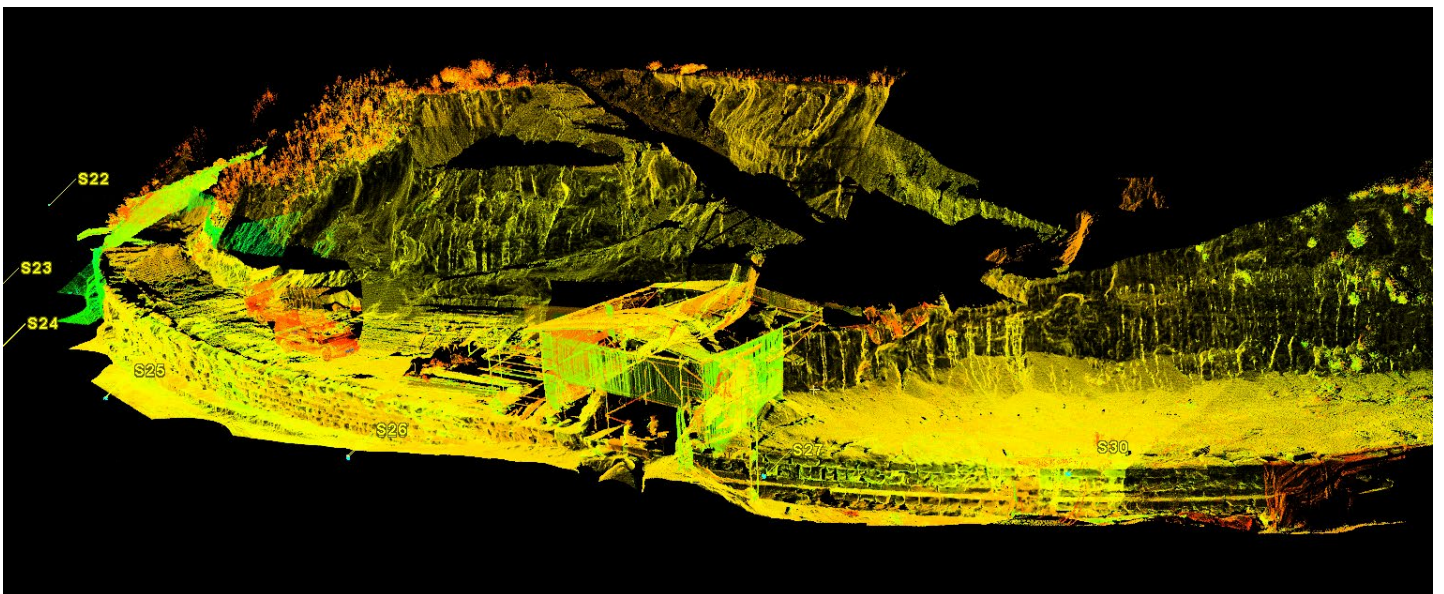
Όπως παρατηρείται, η ακρίβεια του μετασχηματισμού της γεωαναφοράς διατηρείται σε όλα τα ζεύγη σαρώσεων μικρότερη των 2 εκατοστών. Η συνένωση των νεφών βασίζεται στην επίλυση του αλγόριθμου ICP (Interactive Closest Point). Η συνένωση βάσει αυτού του αλγόριθμου προϋποθέτει έναν επαρκή αριθμό ομόλογων σημείων και σωστά κατανεμημένων στην επιφάνεια, ώστε να καλύπτεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του επικαλυπτόμενου τμήματος των σαρώσεων. Για αυτό το λόγο τα επιλεγμένα σημεία ήταν κατά κύριο λόγο 5 έως 6, σε σχηματισμό κύβου, ώστε να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο.

Επιπλέον η απόδοση της χρωματικής υφής πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό, καθώς ο συγκεκριμένος σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης. Σε περίπτωση που ο σαρωτής δεν περιέχει κάμερα, τότε η χρωματική υφή θα μπορούσε να αποδοθεί χειροκίνητα μέσω φωτογραφιών που θα είχαν ληφθεί από μία φωτογραφική μηχανή.

Τέλος, επί των δυο τελικών – ενιαίων νεφών, για την περίμετρο του τύμβου και για το εσωτερικό, ακολούθησε ο καθαρισμός του θορύβου. Σημείων, δηλαδή, που δεν επιθυμούμε να συμπεριληφθούν στο τελικό προϊόν. Τέτοια σημεία ήταν αυτοκίνητα, ανασχηματισμοί από τις εκσκαφές στη περίβολο, δέντρα καθώς και σίδηρα στήριξης του σκίαστρου στην είσοδο του τάφου. Τα τελικά προϊόντα που προέκυψαν εμφανίζονται στις παρακάτω εικόνες.



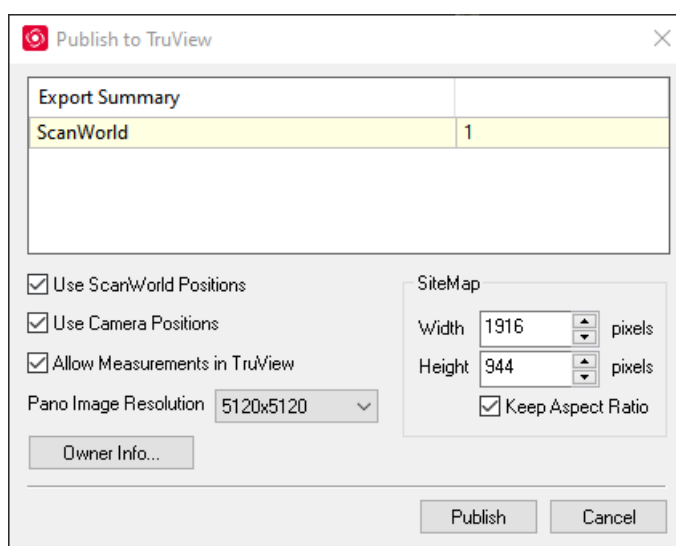
*Εικόνα 28. Ταφικό μνημείο*



*Εικόνα 29. Νοτιοδυτικό τμήμα περιβολου*

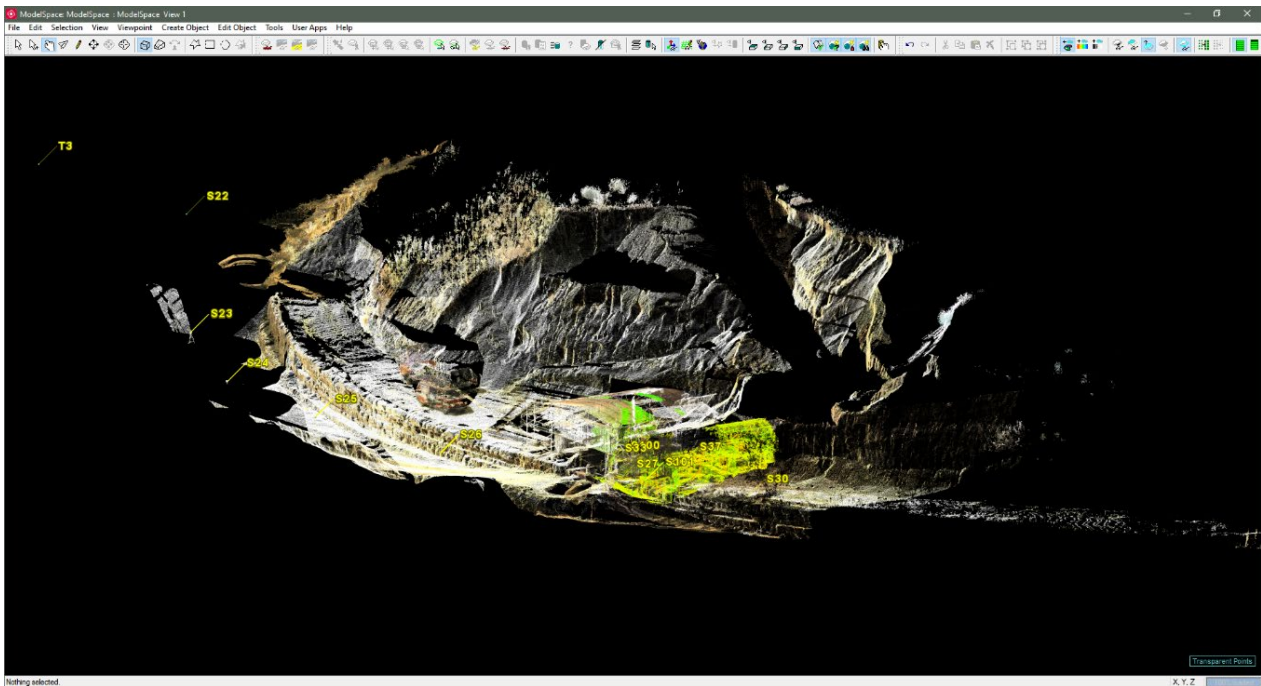
## 5.3 Δημοσιοποίηση

Το τελικό, επεξεργασμένο μοντέλο, εξάγεται μέσω του λογισμικού (Leica Cyclone), σε μορφή LGS. Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει το συνολικό νέφος σημείων καθώς και τις στάσεις σάρωσης. Επιπλέον, περιέχει μια βάση δεδομένων, όπου για κάθε σημείο υπάρχουν οι συντεταγμένες του (x,y,z) και οι τιμές RGB. Στην συνέχεια το LGS αρχείο που προέκυψε, δημοσιοποιήθηκε στο TruView Enterprise. Σε αυτή τη φάση της εργασίας επιλέχθηκε η εξαγωγή όλων των θέσεων σάρωσης και λήψεων φωτογραφιών, όπως επίσης, και η ενεργοποίηση της δυνατότητας στον χρήστη να πραγματοποιεί μετρήσεις επί του μοντέλου. Τέλος επιλέχθηκε η μέγιστη επιτρεπόμενη ανάλυση στην πανοραμική εικόνα προκειμένου να εκμεταλλευτούμε πλήρως την σαρωμένη πληροφορία των μετρήσεων (Εικόνα 30). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της έκδοσης Publisher. Η συγκεκριμένη έκδοση προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να δημοσιοποιήσει τα επεξεργασμένα δεδομένα (νέφος σημείων), στο διαδίκτυο. Το λογισμικό TruView Enterprise, της Leica Geosystems, χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό περιήγησης (Patent Pending) παρόμοιο με αυτό του Street View της Google. Κάθε data set που ανεβαίνει, σε μοναδική διαδικτυακή διεύθυνση, περιέχει κωδικοποιημένη και οπτικοποιημένη την πληροφορία που αντιστοιχεί σε μια θέση σάρωσης (San Ramon, 2019). Έτσι, κάθε χρήστης που επισκέπτεται τον διαδικτυακό server όπου βρίσκεται το μοντέλο μπορεί να αποθηκεύει μόνο ένα σημείο σάρωσης ανά pixel (Bianculli Davide & Humphries D., 2016). Μερικές λεπτομέρειες σχετικά με την δημοσίευση στο TruView Enterprise είναι, ότι θα πρέπει το νέφος να είναι σε κατακόρυφη προβολή και να είναι ενεργοποιημένη η επιλογή “use color from scanner” για να υπάρχει η πληροφορία των τιμών έντασης και απόχρωσης στη βάση δεδομένων για κάθε σημείο (Εικόνα 31).



Εικόνα 30. Δημοσίευση Modelspace της στάσης 24 σε πανοραμική εικόνα μέγιστης ανάλυσης 5120x5120.





Εικόνα 31. Συννεωμένο νέφος από 8 στάσεις σαρώσεις

Τα πλεονεκτήματα του TruView Enterprise, συνεπώς και οι λόγοι της επιλογής του, είναι αρχικά η συμβατότητα με το λογισμικό στο οποίο επεξεργάστηκαν τα πρωτογενή δεδομένα, αφού πρόκειται για λογισμικά της ίδιας εταιρείας (Leica Geosystems). Επιπλέον αποτελεί ένα εύχρηστο περιβάλλον τόσο για τον μελετητή, δίνοντας του απλές και κατανοητές οδηγίες για το πως θα δημοσιοποιήσει την δουλειά του, όσο και για τον απλό χρήστη που θέλει να περιηγηθεί και να ανακαλύψει τέτοιου είδους έργα, αφού του παρέχει ένα εύχρηστο περιβάλλον περιήγησης (UI).

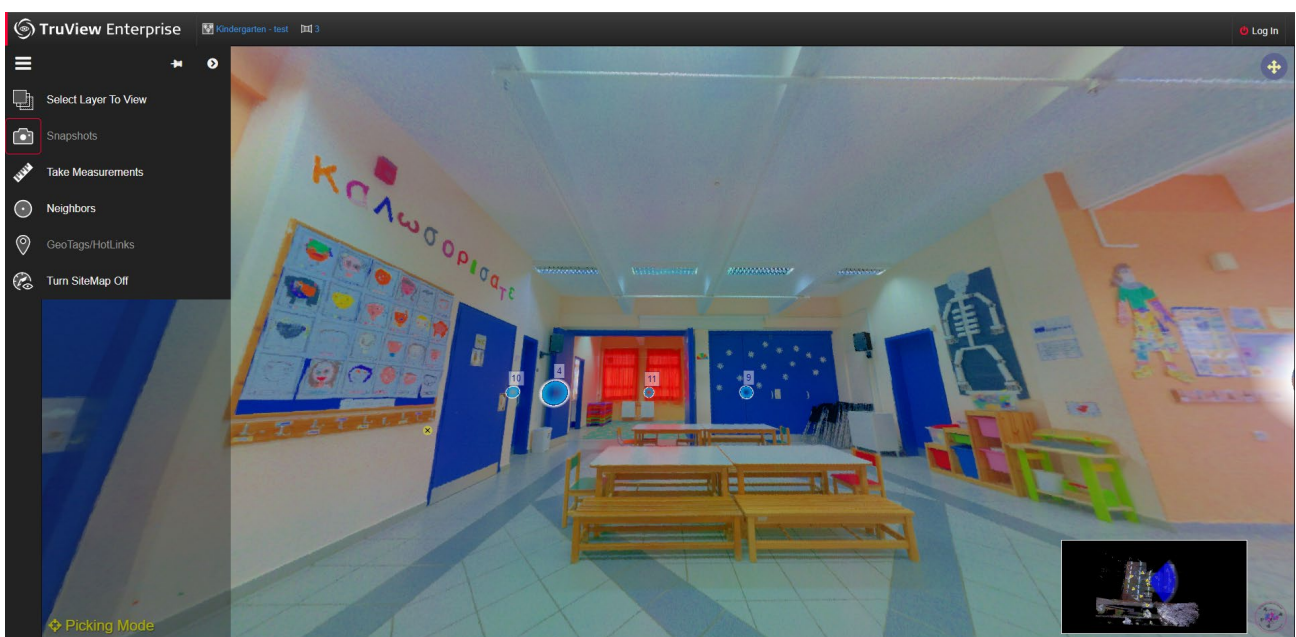
Μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρονται στον χρήστη κατά την περιήγηση του σε ένα έργο, είναι:

- Η επιλογή μεταξύ διαφορετικών επιπέδων εμφάνισης. Τα επίπεδα αυτά είναι το **RGB** (όπου κάθε ένα εικονοστοιχείο περιέχει τρεις τιμές χρώματος), το **IR** (κάθε εικονοστοιχείο θα περιλαμβάνει μία τιμή ένταση της ακτινοβολίας), το **HDR** (αφορά κάμερες που αποδίδουν πιο ρεαλιστικά τα χρώματα, σε ένα ευρύτερο φάσμα αντίθεσης), το **Intensity Grayscale** (η απόδοση γίνεται στην κλίμακα του γκρι) και, τέλος το **Intensity Hue** (όπου κάθε εικονοστοιχείο θα περιέχει δυο τιμές. Μία που θα αφορά τον κορεσμό και μία για την φωτεινότητα). Τα επίπεδα αυτά ενεργοποιούνται ανάλογα με το LGS αρχείο που εξάγει ο μελετητής από το Cyclone, αλλά και από τις δυνατότητες που έχει η κάμερα του σαρωτή.
- Η προβολή εικόνων (σε περίπτωση που έχουν εισαχθεί από τον μελετητή).
- Η δυνατότητα πραγματοποίησης μετρήσεων επί του μοντέλου. Αφορά τέσσερα είδη μετρήσεων. Η πρώτη μέτρηση είναι αυτή του υπολογισμού της απόστασης μεταξύ δυο pixels που θα επιλεγθούν. Η δεύτερη αφορά την μέτρηση γωνιών. Ο χρήστης επιλέγει τρία διαφορετικά pixels από τα οποία υπολογίζεται η γωνία που προκύπτει. Τρίτη μέτρηση είναι αυτή της επιλογής ενός Pixel και η εμφάνιση της θέσης του

στο χώρο (x,y,z). Τελευταία μέτρηση είναι, αντίστοιχα η επιλογή ενός pixel, και η εμφάνιση της τιμής θερμότητας (δυνατότητα που δύναται μόνο αν ο σαρωτής μπορεί να αποτυπώσει ενδείξεις θερμότητας).

- Η εμφάνιση των γειτονικών θέσεων σάρωσης. Μέσω αυτής της δυνατότητας ο χρήστης μπορεί να επιλέγει να εμφανίσει (ή όχι) τις επιπλέον θέσεις σάρωσης (φιλτράροντας τις ανάλογα με την απόστασή, το υψόμετρο κ.α.) και να μεταφέρεται σε αυτές μέσω ενός click.
- Η επιλογή geotags. Ο μελετητής αφού έχει ολοκληρώσει τη δημοσίευση του μοντέλου, μπορεί να προσθέσει σε ορισμένα σημεία που επιθυμεί περαιτέρω περιγραφικές πληροφορίες. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται με τα GeoTags. Τα Geotags θα εμφανίζονται στον χρήστη κατά την περιήγηση του και θα μπορεί να αντλήσει περαιτέρω πληροφορίες ή ακόμα να ανατρέξει σε άλλες ιστοσελίδες που έχει επιλέξει ο μελετητής.
- Τέλος, η εμφάνιση βοηθητικού χάρτη. Στον αυτόν ο χρήστης έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το που βρίσκεται και κοιτάζει, σε σχέση με το πλήρες έργο. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να οργανώσει όπως επιθυμεί την διαδρομή της περιήγησής του.

Επιπλέον των προαναφερθέντων δυνατοτήτων, υπάρχουν και οι πλέον γνωστές, από άλλα λογισμικά δυνατότητες περιήγησης όπως η μεγέθυνση στην εικόνα (zoom in/out), η μετακίνηση (pan) καθώς και η 360° περιστροφή γύρω από τη θέση σάρωσης. Τέλος, είναι αναγκαίο να αναφερθεί ότι προσφέρεται δωρεάν χωρίς κάποιο χρηματικό αντίτιμο, αποτελώντας ένα ακόμη σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του (Εικόνα 32). Ωστόσο, μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός που δεν μπορούν να εξαχθούν εκ νέου τα δεδομένα για χρήση σε διαφορετικά λογισμικά τύπου CAD ή εκ νέου επεξεργασία στο Cyclone. Για τον λόγο αυτό είναι φρόνιμο να υπάρχει πάντα back up των αρχείων στον υπολογιστή.



Εικόνα 32. Παράδειγμα περιήγησης στο μοντέλο Kindergarten – Πηγή: 195.130.106.58

## 5.4 Σύγκριση Ψηφιακών μοντέλων εδάφους 2010 και 2014

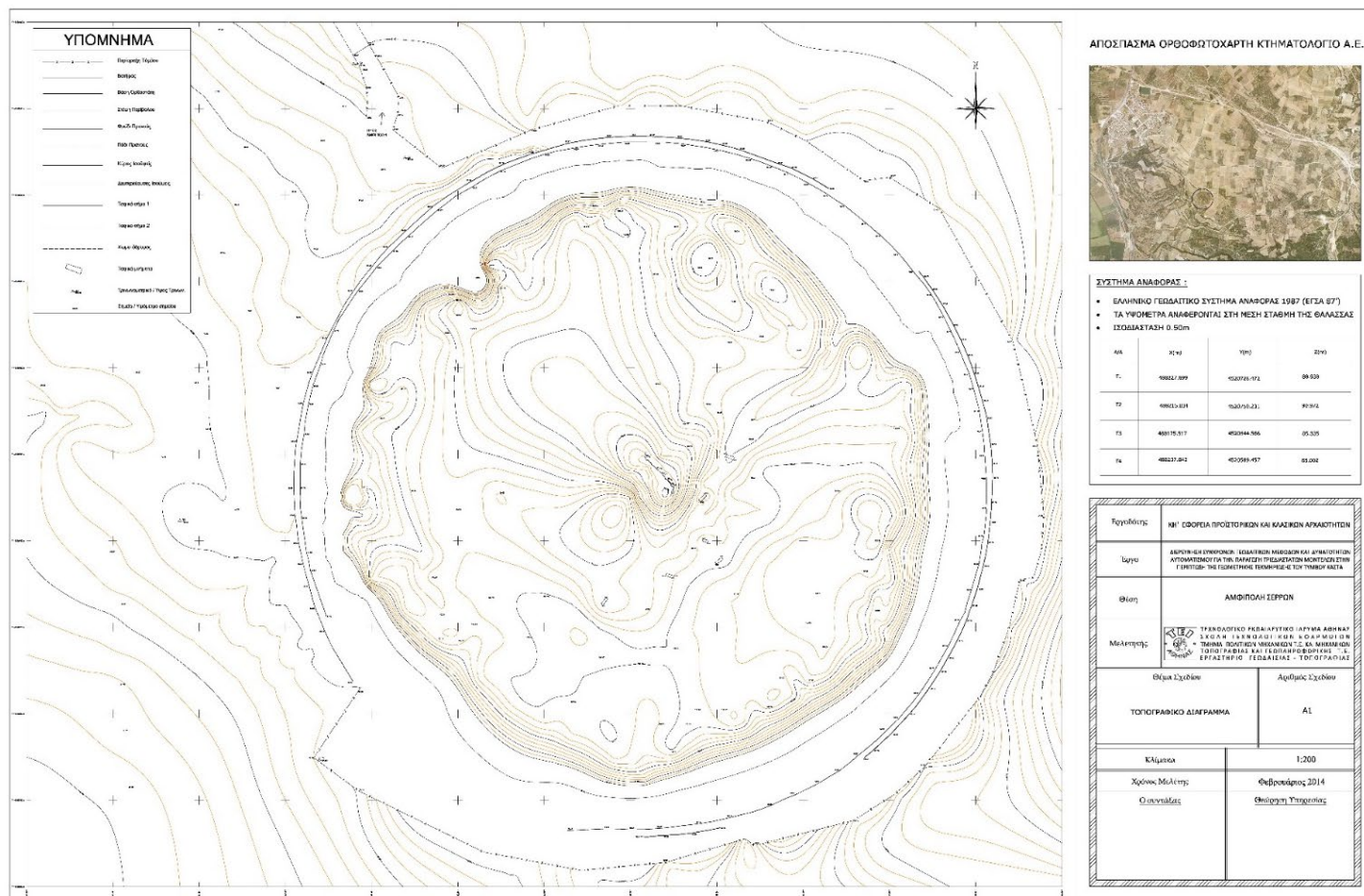
Εκτός της αποτύπωσης του λόφου με τη χρήση επίγειων σαρωτών, δόθηκαν στοιχεία από προγενέστερες μεθόδους και αποτυπώσεις αντίστοιχα. Τέτοια δεδομένα ήταν δυο τοπογραφικά που συντάχθηκαν το 2010 και το 2014 αντίστοιχα. Το τοπογραφικό του 2014 είναι και αυτό που πραγματοποιήθηκε κατά το στάδιο μελέτης που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική.

Αντίστοιχα το προγενέστερο τοπογραφικό, με θέμα την «Ανασκαφική Έρευνα στον Τύμβο Λόφου Καστά Αμφίπολης» αποτυπώνοντας την τότε υπάρχουσα κατάσταση. Αποτέλεσε συνολική δουλειά της αρχαιολόγου κα. Αικ. Περιστέρη, του τοπογράφου κ. Στ. Γούδα και του κ. Ν. Μεντεσίδου που πραγματοποίησε την αποτύπωση – σχεδίαση. Το τοπογραφικό συντάχθηκε τον Δεκέμβριο του 2010 υπό κλίμακα 1:100 χρηματοδοτούμενο από του Υπουργείο Πολιτισμού και από τη Εφορεία Προϊστορικών & Κλασικών Αρχαιοτήτων. Τοποθετείτε, δηλαδή χρονικά πριν την δεύτερη φάση των ανασκαφών (2.1 Ανασκαφές) αποτελώντας σημαντικό στοιχείο ώστε να διαπιστωθεί η φυσική κατάσταση που βρισκόταν ο λόφος καθώς και τα ευρήματα που είχαν ανακαλυφθεί έως τότε.



Εικόνα 33. Τοπογραφικό Λόφου Καστά χρονολογίας 2010.





Εικόνα 34. Τοπογραφικό Λόφου Καστά χρονολογίας 2014.

Όπως παρατηρείται από το τοπογραφικό του 2010 παραπάνω (Εικόνα 33) σε σύγκριση με το προγενέστερο (Εικόνα 34), η φυσική μορφή του λόφου διαφοροποιείται από αυτή που αποτυπώθηκε μετά τη δεύτερη φάση των ανασκαφών, που επικεντρώθηκε κυρίως το ανώτατο επίπεδο του λόφου, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο το γνωστό κυκλικό σχήμα εξαιτίας της ολοκλήρωσης της ανασκαφής της περιβόλου. Πιο περιληπτικά, στο τοπογραφικό του 2010 διακρίνονται αρκετές διαφορετικές κορυφές επί του λόφου, όπως επίσης και μερικά ευρήματα, όπου κατά κύριο λόγο είναι τοιχία είτε ατομικοί τάφοι. Αντίθετα, στο μεταγενέστερο τοπογραφικό είναι απόλυτα εμφανής η περιβόλος περιμετρικά του λόφου, φανερώνοντας την λήξη των εργασιών ανασκαφής του. Επιπλέον υπάρχει ένα ενιαίο ανώτατο επίπεδο (ομαλοποίηση κορυφής του λόφου) με μια ανώτατη κορυφή να υπάρχει στο κεντρικό τμήμα του λόφου. Τέλος, τα ευρήματα που αποτυπώθηκαν είναι ταφικά (τάφοι που είχαν αποτυπωθεί και στο προγενέστερο αλλά και νέα ευρήματα).

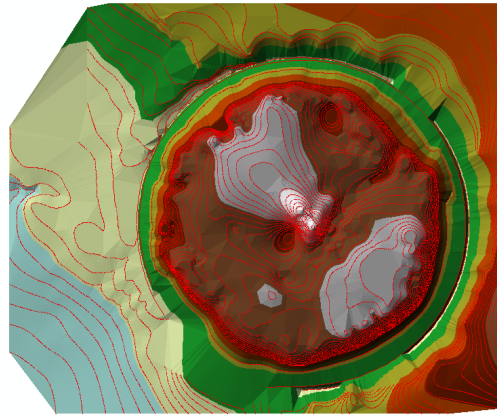
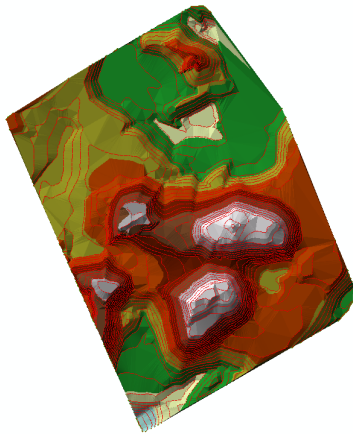
Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια πιο ουσιαστική μελέτη των διαφορών μεταξύ των δυο ετεροχρονισμένων τοπογραφικών και να γίνει πιο αισθητή η εξέλιξη των εργασιών, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DSM) για το καθένα. Πιο αναλυτικά έχοντας ως πρωτογενή δεδομένων τα διανυσματικά αρχεία (τοπογραφικά) όπου περιέχουν γεωαναφερόμενα τα τεχνητά ευρήματα (τοιχοποιία, τάφοι κ.α.) καθώς και τα φυσικά στοιχεία (ισοϋψείς), δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο. Το ψηφιακό μοντέλο διακρίνεται σε τρεις σημαντικές κατηγορίες:

- Το DEM (Digital Elevation Model) που αποτελεί ένα ψηφιακό μοντέλο αποκλειστικά του φυσικού εδάφους,
- Το DSM (Digital Surface Model) που αποτελεί ψηφιακό μοντέλο του φυσικού εδάφους και όποιου τεχνητού αντικειμένου υπάρχει και “πατάει” σε αυτό, όπως κτίρια κλπ. και, τέλος,
- Το DTM (Digital Terrain Model) που αποτελεί ουσιαστικά ένα πιο εξελιγμένο DEM, αφού περιλαμβάνει επιπλέον διανυσματικά φυσικά μεγέθη όπως ποτάμια, λίμνες κ.α. (DEM, DSM & DTM: Digital Elevation Model - Why It's important)

Στην προκειμένη περίπτωση τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- Αρχικά έγινε η μετάβαση από το χαρτί στον υπολογιστή, σαρώνοντας τα τοπογραφικά.
- Έπειτα παράχθηκαν τα διανυσματικά αρχεία. Μέσω του λογισμικού ArcMap της έκδοσης 10.2.2, δημιουργήθηκε η γεωβάση που θα περιελάμβανε τα διανυσματικά μεγέθη που θα προκύπταν από την ψηφιοποίηση. Μέσω του ArcCatalog, δηλαδή, έγινε η δημιουργία της γεωβάσης, που θα περιελάμβανε διανυσματικά μεγέθη που είχαν αποτυπωθεί στο σχέδιο, όπως οι ισοϋψείς ως polyline με επιπλέον πεδίο του υψομέτρου. Αντίστοιχα οι τάφοι ως πολύγωνα με πληροφορίες ονομασίας, εμβαδού και υψομέτρου (τοποθετήθηκε αυθαίρετα προκειμένου να συμπεριληφθούν στο 3D μοντέλο). Τέλος, όπως οι τάφοι έτσι δημιουργήθηκαν και τα κτίρια και οι τυχόν τοιχοποιίες. Η ψηφιοποίηση τους έγινε χειροκίνητα επί του σαρωμένου τοπογραφικού (raster δεδομένο).
- Μέσω των polylines των ισοϋψών δημιουργήθηκε το DSM, με τα αποτελέσματα για κάθε τοπογραφικό να παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



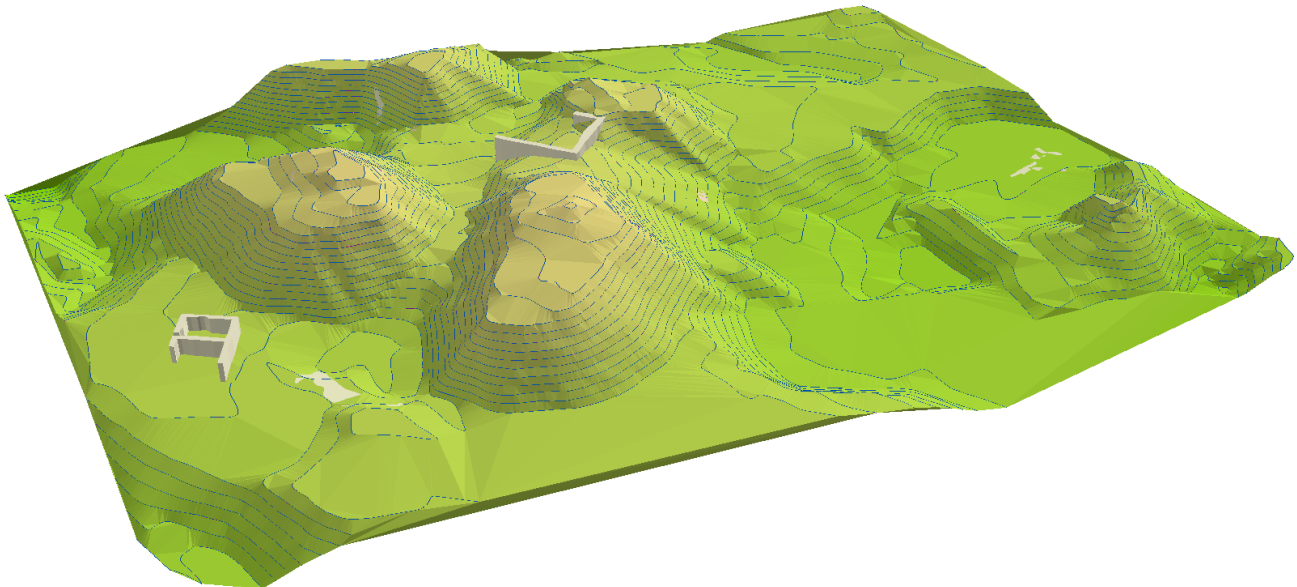


*Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) Λόφου Καστά 2010*

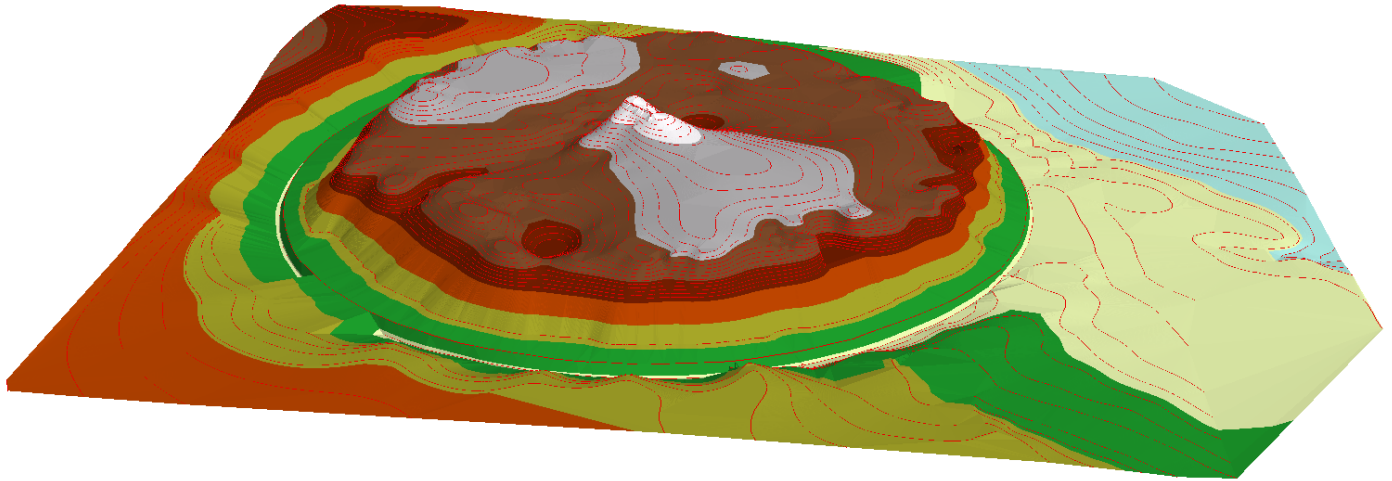
*Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) Λόφου Καστά 2014*

*Πίνακας 5. DEM τοπογραφικών 2010 και 2014 αντίστοιχα.*

Έπειτα μέσω του Arc Scene, έγινε η 3D απεικόνιση των μοντέλων μαζί με την εισαγωγή των τεχνητών στοιχείων που ανακαλύφθηκαν, θεωρώντας αυθαίρετα υψόμετρα (σε λογικά πλαίσια) μη έχοντας τοπογραφική πληροφορία για τα αληθή υψόμετρα αυτών. Για να προκύψει η 3D απεικόνιση αναγκαία είναι η ύπαρξη υψομετρικής πληροφορίας. Αυτή η πληροφορία στην προκειμένη περίπτωση αντλήθηκε από τις ισοϋψείς. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω.



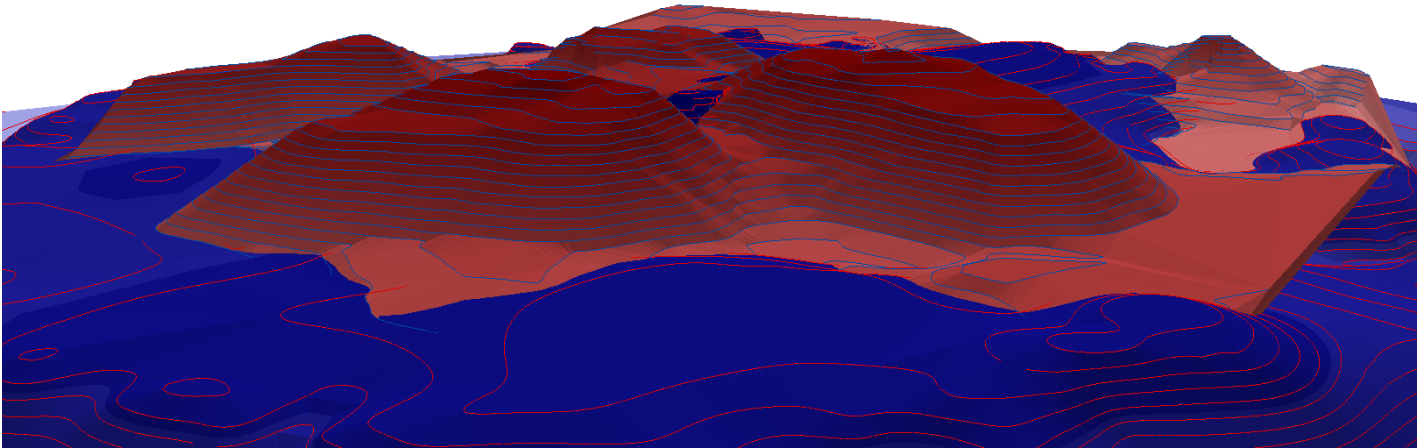
*Εικόνα 35. 3D απεικόνιση τοπογραφικού 2010*



*Εικόνα 36. 3D απεικόνιση τοπογραφικού 2014*

Τα συμπεράσματα από τα δυο 3D μοντέλα είναι κυρίως η διαφορά του φυσικού περιβάλλοντος, της μορφολογίας ως προς το λόφο. Στο τοπογραφικό του 2010 είναι εμφανείς τέσσερις κορυφές όπως επίσης και αρκετά τεχνητά ευρήματα επί του λόφου. Αντίθετα, στο τοπογραφικό του 2014 δεν έχει αποτυπωθεί κανένα τεχνητό εύρημα παρά μόνο η περίβολος. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό η περίβολος έχει διαφορά στο υψόμετρο, εξαιτίας των ανασκαφών και αυτό εμφανίζεται έντονα στην Εικόνα 36 όπου περιμετρικά του λόφου έχουμε απότομη υψομετρική αλλαγή. Επιπλέον παρατηρείται μια ομαλοποίηση επί του λόφου αποτέλεσμα της έντονης κινητικότητας σε αυτό το σημείο όπως και στη περίμετρο του λόφου, κατά τη δεύτερη φάση των ανασκαφών (2012 – 2014).

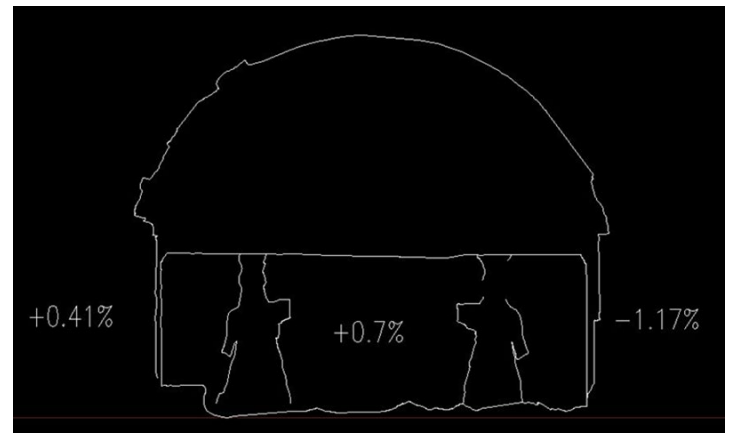
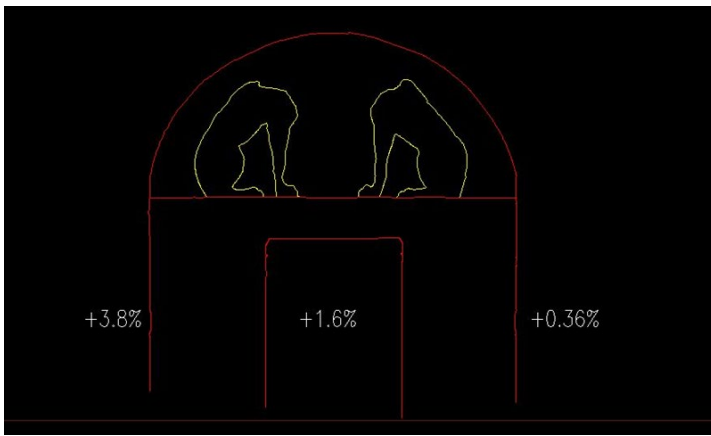
Δυστυχώς δεν έγινε δυνατό η παράλληλη σύγκριση των δυο μοντέλων αφού κατά τα δυο τοπογραφικά δεν υπάρχουν κοινά χαρακτηριστικά σημεία ώστε να γεωαναφερθούν κατάλληλα και να επικαλύψει το ένα το άλλο. Το μοναδικό ασφαλές συμπέρασμα που μπορεί να αποδοθεί από την κοινή απόδοση των τοπογραφικών είναι ότι το 2010 ο λόφος είχε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2014, σύμφωνα με την απόδοση των ισοϋψών καμπύλων. Το 2010 παρουσιάζεται μέγιστο υψόμετρο στα 110 μέτρα περίπου όταν το 2014 το μέγιστο υψόμετρο βρίσκεται περίπου στα 107 μέτρα. Εξαιτίας αυτών διαπιστώνουμε εύλογα την ένταση και το μέγεθος των ανασκαφών που έγιναν επί του λόφου για την αναζήτηση νέων σημαντικών ευρημάτων, μειώνοντας το υψόμετρο σε μια κλίμακα των 3 μέτρων και ομαλοποιώντας τον στο ενιαίο επίπεδο των 100-102 μέτρων από τη στάθμη της θάλασσας.



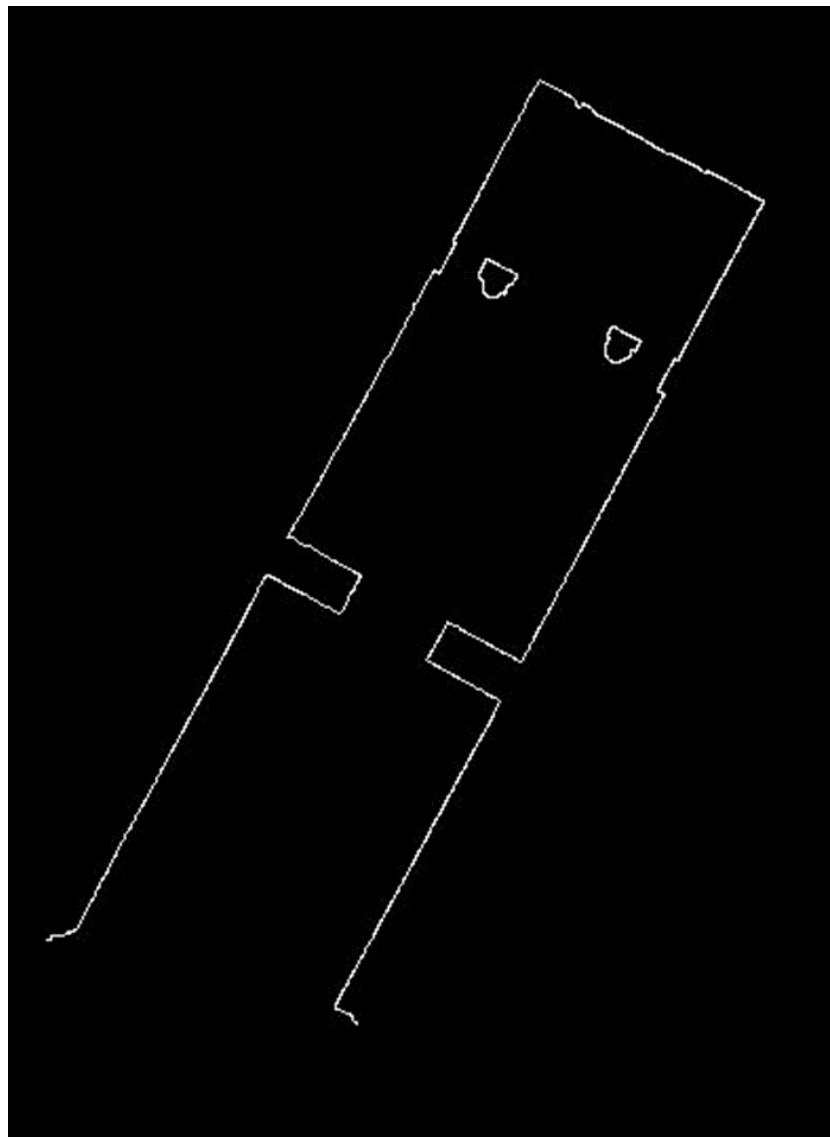
Εικόνα 37. Διαφορά υψομέτρου μεταξύ 2010 αποτύπωσης (κόκκινη απόχρωση) και 2014 αποτύπωσης (μπλε απόχρωση)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> – Συμπεράσματα

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταφέρει τόσο να διευκολύνει όσο και να δημιουργεί καλύτερες συνθήκες για την παραγωγή ποιοτικότερων αποτελεσμάτων σε όλα τα πεδία των επιστημών. Έτσι και στην επιστήμη της τοπογραφίας, η ανάπτυξη νέων μεθόδων – τεχνικών αποτύπωσης, η δημιουργία νέων λογισμικών πιο φιλικών ως προς τον χρήστη με περισσότερες επιλογές όπως και η επίλυση βασικών ζητημάτων που αντιμετώπιζαν τα υπάρχοντα εργαλεία (π.χ. μέγεθος, ακρίβεια, καιρικές συνθήκες, δυσπρόσιτα σημεία, απόσταση και εύρος μέτρησης), συμβάλλουν στα πιο ακριβή, αναλυτικότερα και λεπτομερέστερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, σε μελέτες αποτύπωσης μνημείων, όπου το αντικείμενο είναι ιδιαίτερα λεπτομερές και χρήζει ειδικής μεταχείρισης λόγω της χρονικής φθοράς που έχει υποστεί, ο χρήστης έχει πλέον μια πληθώρα επιλογών αποτύπωσης ώστε να επιλέξει ορθότερα τον εξοπλισμό και τη μεθοδολογία αποτύπωσης που θα ακολουθήσει στο πεδίο. Η επιλογή της μεθόδου γίνεται ανάλογα με τη γεωμετρία του μνημείου, την πολυπλοκότητα του, την έκταση του περιβάλλοντα χώρου, την ζητούμενη ακρίβεια απόδοσης της εργασίας και τέλος, της θεματική πληρότητα του τελικού προϊόντος. Η μείωση τόσο του βάρους του όσο και του μεγέθους του σε σχέση με την ακρίβεια και τον όγκο των δεδομένων (ακρίβεια μέτρησης της τάξεως του 1mm και αύξηση εύρους απόστασης μέτρησης και παραθύρου σάρωσης), η δυνατότητα για λήψη υψηλής ευκρίνειας εικόνων με υψηλή πιστότητα χρωμάτων και τα τελικά παραγόμενα προϊόντα (3D μοντέλο με φωτοϋφή, ορθοφωτομωσαϊκού, παραγωγή κατόψεων, τομών κ.α.) είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης των τεχνολογιών και ο κύριος λόγος επιλογής των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών Laser σε τέτοιου είδους μελέτες.



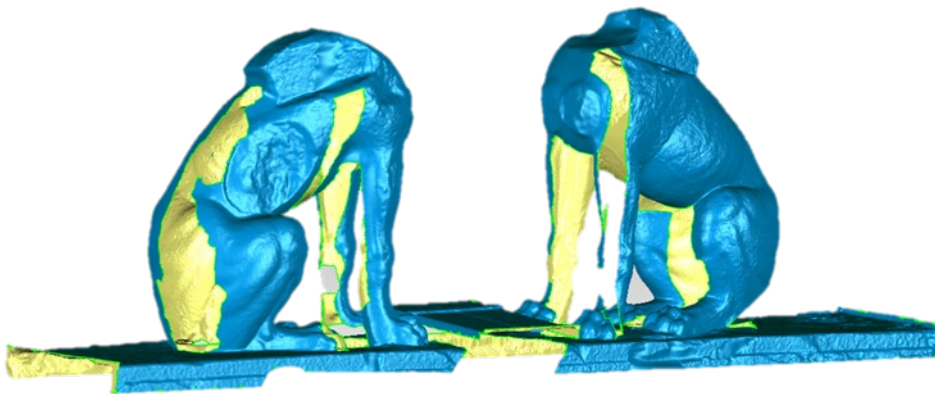
Εικόνα 38. Τομές θύρας εισόδου και Καρνάτιδων. Εργασίες εύρεσης κλίσης



Εικόνα 39. Κάτοψη τάφου



Εικόνα 40. Ορθοφωτομωσαϊκό αριστερού πλευρικού τοίχου εισόδου - Πηγή : “Τεκμηρίωση Μνημείων και Συνόλων”



Εικόνα 41. 3D μοντέλο σφιγγών με υφή – Πηγή : “Τεκμηρίωση Μνημείων και Συνόλων”

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να αναδειχθούν όλες αυτές οι σύγχρονες μεθοδολογίες που ακολουθούνται πλέον στην ύπαιθρο στο τομέα της αποτύπωσης αρχαιολογικών χώρων και μνημείων. Διαβάζοντας το νομοθετικό πλαίσιο και πως αυτό ορίστηκε, έγινε κατανοητή η ανάγκη προστασίας των αρχαιολογικών μνημείων σε ένα τρίπτυχο που αποτελείται από τη συντήρησή τους, την αποκατάστασή τους και τέλος της διάδοσής τους. Το μοντέλο που παράγεται είναι πιο ποιοτικό και παραγωγικό σε σχέση με αυτά των προηγούμενων ετών (τοπογραφικό διάγραμμα), καθώς μπορούν να παραχθούν από έναν τέτοιο μοντέλο όψεις, τομές και κατόψεις για περαιτέρω μελέτη. Εκτός, όμως από τη μετρητική τους αξία αποκτούν και αξία ως προϊόν ανάδειξης και μετάδοσης προς το κοινό. Για να αποτελέσουν, λοιπόν σημείο αναφοράς στην ανάδειξη του εθνικού ή ακόμα και παγκόσμιου πολιτισμού, είναι φρόνιμο να δημοσιευθεί στο διαδίκτυο, ώστε κάθε χρήστης να μπορεί να γνωρίσει και να εξερευνήσει την ιστορία του μνημείου, ακόμα και αν δεν έχει την ευχέρεια της διαζώσης επίσκεψης.



Για το στάδιο της συντήρησης χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί αποτύπωση του Τύμβου Καστά, του περιβόλου και του ταφικού μνημείου, όπου επιλέχθηκε ως ιδανικότερη επιλογή η χρήση του Leica ScanStation 2. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το τελικό παραγόμενο 3D μοντέλο του τάφου όσο και της περιβόλου να είναι υψηλής ακρίβειας, πλούσιο σε λεπτομέρεια και ικανοποιητικό στο επίπεδο της φωτορεαλιστικής απόδοσης. Η ακρίβεια του μοντέλου, που περιλαμβάνει το περιμετρικό τμήμα του τύμβου είναι της τάξεως του 1cm ενώ το αντίστοιχο του ταφικού μνημείου είναι μικρότερο του 1cm, απόρροια της χρήσης φωτοσταθερών στο εσωτερικό του τάφου έναντι των φυσικών χαρακτηριστικών σημείων στο εξωτερικό. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά την παραγωγή των μοντέλων είναι η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού θορύβου τόσο στο εξωτερικό όσο και εσωτερικό του τύμβου, όπου αποδίδεται στην εκτέλεση εργασιών συντήρησης (ύπαρξη συνεργείων, χρήση σκαλωσιών για στήριξη οροφής), όπως επίσης και αρκετών τυφλών σημείων που πιθανώς να μπορούσαν να ξεπεραστούν με τον συνδυασμό χρήσης DSLR κάμερας και σαρώσεων (κυρίως στο εσωτερικό του τάφου) ή αντίστοιχα χρήσης Drone για αποτύπωσης του περιβάλλοντα χώρου (φυσικού περιβάλλοντος του λόφου), δηλαδή σε συνδυασμό με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Η δημοσίευση, στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με το Leica Publisher. Επιπρόσθετα της 3D απεικόνισης, χρησιμοποιούνται επιπλέον περιγραφικά χαρακτηριστικά με τη χρήση Geotags όπου παρουσιάζουν μερικά ιστορικά στοιχεία του.

Τέλος, παράχθηκαν δυο ακόμα 3D μοντέλα (DSM) μέσω GIS λογισμικού. Που προέκυψαν από τα αποτελέσματα επίγειων αποτυπώσεων προγενέστερων χρόνων, με γεωδαιτικό σταθμό. Αρχικά από τη σύγκριση μεταξύ τους προκύπτει η διαφορά στο φυσικό περιβάλλον λόγω των συνεχόμενων ανασκαφών, αλλάζοντας το γεωμετρικό προφίλ του λόφου, καθώς και η εξέλιξη των ευρημάτων με χαρακτηριστικότερη αυτή της πλήρης ανασκαφής του περιβόλου. Επιπλέον, ως σύγκριση του μοντέλου (DSM) από του τοπογραφικό του 2014 με αυτό του 3D σαρωτή laser, παρατηρείται η χαώδης διαφορά ως προς τη λεπτομέρεια της αποτύπωσης. Στο μοντέλο του 2014 μπορεί να έχουμε περισσότερη υψομετρική πληροφορία και μια καλύτερη εικόνα του περιβάλλοντα χώρου αλλά στο ψηφιακό μοντέλο που προέκυψε από τον σαρωτή έχουμε μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, άρα πιο πυκνή αποτύπωση που οδηγεί σε ακριβέστερη απόδοση και πιο λεπτομερή δεδομένα (παρατηρούμε της μαρμάρινες πλάκας της περιβόλου καθώς και της φθοράς τους από τον χρόνο), αποδεικνύοντας γιατί οι επίγειοι σαρωτές είναι η επικρατέστερη λύση σε αποτυπώσεις αρχαιολογικών μνημείων ή πολύπλοκων αντικειμένων και χώρων

Ως συμπέρασμα προκύπτει ό,τι οι σύγχρονες μεθοδολογίες αποτύπωσης, όπως η χρήση σαρωτών Laser, της Φωτογραμμετρίας και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) παρέχουν στους μελετητές αποτελεσματικότερες μεθοδολογίες για την ερμηνεία και την αποτύπωση μνημείων. Βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως επιτυγχάνεται η διατήρηση και προστασία από φυσικές φθορές και η μετάδοση τους στο πέρας των γενεών.

# Leica ScanStation 2 Product Specifications

<b>General</b>		<b>Electrical</b>		View scanner locations and field-of-view Level of detail (LOD) for fast visualization Auto rechecking (re-acquisition) of targets <sup>2</sup> Auto acquisition of HDS targets <sup>1</sup> Target identification Traverse <sup>3</sup> Field Setup - Resection <sup>1</sup> Field Setup - Known Backsight <sup>1</sup> Field Setup - Known Azimuth <sup>1</sup> Traverse and resection reports Stakeout and id-point Point to and dwell on preselected coordinates Direct coordinate/station entry <sup>1</sup> Dual-axis compensation on/off Engage/disengage turret Target and instrument height input Lighting control for digital images Acquire and display digital image Set image resolution (high, medium, low) Support of external digital images Real-time 3D visualization while scanning <sup>1</sup> Fly-around, pan & zoom, rotate clouds, meshes, models in 3D View point clouds with intensity or true-color mapping Auto creation of panoramic digital image mosaic <sup>1</sup> Global digital image viewer <sup>1</sup> Point-and-scan QuickScan to set horizontal FoV <sup>1</sup> User-defined quality-of-fit checks Measure & dimension: slope dist., $\Delta_x$ , $\Delta_y$ , $\Delta_z$ Create, manage annotations and layers Save/restore views Save screen images Undo/redo support
<b>Instrument type</b>	Pulsed, dual-axis compensated, very-high speed laser scanner, with survey-grade accuracy, range, and field-of-view	<b>Power supply</b>	36 V; AC or DC; hot swappable; two (2) Power Supply units provided with system	
<b>User interface</b>	Notebook or Tablet PC	<b>Power consumption</b>	< 80W avg.	
<b>Scanner drive</b>	Servo motor	<b>Battery type</b>	Sealed lead acid	
<b>Camera</b>	Integrated high-resolution digital camera	<b>Power ports</b>	Two (2) simultaneous use, hot swappable	
<b>System Performance</b>		<b>Typical duration</b>	>6 hours, typical continuous use (room temp.)	
<b>Accuracy of single measurement</b>		<b>Power status indicators</b>	Five (5) LEDs indicate charging status and power levels	
<b>Position*</b>	6mm	<b>Environmental</b>		
<b>Distance*</b>	4mm	<b>Operating temp.</b>		
<b>Angle (horizontal/vertical)</b>	60 $\mu$ rad/60 $\mu$ rad, one sigma	0° C to +40° C		
<b>Modeled surface precision**/noise</b>		<b>Storage temp.</b>		
2 mm, one sigma		-25° C to +65° C		
<b>Target acquisition***</b>	2 mm std. deviation	<b>Lighting</b>		
<b>Dual-axis compensator</b>	Selectable on/off Resolution 1", dynamic range +/- 5'	Fully operational between bright sunlight and complete darkness		
<b>Data integrity monitoring</b>	Periodic self-check during operation and startup	<b>Humidity</b>		
<b>Laser Scanning System</b>		Non-condensing		
<b>Type</b>	Pulsed; proprietary microchip	<b>Shock</b>		
<b>Color</b>	Green	40 G's (max. to scanner transport case)		
<b>Laser Class</b>	3R (IEC 60825-1)	<b>Dust/humidity</b>		
<b>Range</b>	300 m @ 90%; 134 m @ 18% albedo	IP52 (IEC 60529)		
<b>Scan rate</b>	Up to 50,000 points/sec, maximum instantaneous rate Average: dependent on specific scan density and field-of-view	<b>Physical Scanner</b>		
<b>Scan resolution</b>		<b>Dimensions</b>	10.5" D x 14.5" W x 20" H 265 mm x 370 mm x 510 mm w/o handle and table stand 18.5 kg, nominal	
<b>Spot size</b>	From 0 - 50 m: 4 mm (FWHH - based); 6mm (Gaussian - based)	<b>Weight</b>		
<b>Selectability</b>	Independently, fully selectable vertical and horizontal point-to-point measurement spacing <sup>1</sup>	<b>Power Supply Unit</b>		
<b>Point spacing</b>	Fully selectable horizontal and vertical; <1 mm minimum spacing, through full range <sup>1</sup> ; single point dwell capability	<b>Dimensions</b>	6.5" D x 9.25" W x 8.5" H 165 mm x 236 mm x 215 mm w/o handles 12 kg, nominal	
<b>Maximum sample density</b>	<1 mm <sup>2</sup>	<b>Standard Accessories Included</b>		
<b>Field-of-view (per scan)</b>		Scanner transport case Tribrach (Leica Professional Series) Survey tripod Ethernet cable for connection of scanner to notebook PC Two Power Supply cases. Each includes: Power Supply Cable for battery connection to scanner Power Supply charger User manual Cleaning kit Cyclone™-SCAN software		
<b>Horizontal</b>	360° (maximum) <sup>1</sup>	<b>Hardware Options</b>		
<b>Vertical</b>	270° (maximum) <sup>1</sup>	Notebook PC Tablet PC HDS scan targets and target accessories Service agreement for Leica ScanStation 2 Extended warranty for Leica ScanStation 2		
<b>Aiming/Sighting</b>	Optical sighting using QuickScan™ button	<b>Notebook PC for Scanning<sup>Δ</sup></b>		
<b>Scanning Optics</b>		<b>Component</b>	<b>required (minimum)</b>	
Single mirror, panoramic, front and upper window design Environmentally protected by housing and two glass shields Direct drive, brushless		Processor	1.4 GHz Pentium M or similar	
<b>Scan motors</b>		RAM	512 MB SDRAM	
<b>Data &amp; power transfer to/from rotating turret</b>		Network card	Ethernet	
Contact-free: optical data link and inductive power transfer		Display	SXGA+	
<b>Communications</b>		Operating system	Windows XP (SP1 or higher) Windows 2000 (SP2 or higher)	
Static Internet Protocol (IP) Address		<b>Cyclone-SCAN</b>		
<b>Integrated color digital imaging</b>		Independent vertical and horizontal scan density <sup>1</sup> Scan filters: range, intensity <sup>1</sup> Selection of scan area via scribed rectangle or pre-sets <sup>1</sup> Atmospheric correction Customizable longitude/latitude grid lines Targeted, single-shot pre-scan ranging <sup>1</sup> Script management for auto scan sequencing <sup>1</sup>		
User-defined pixel resolution: Low, Medium, High <sup>1</sup> Single 24° x 24° image: 1024 x 1024 pixels (1 megapixel) @ "High" setting Full 360° x 270° dome: 111 images, approx. 64 megapixels, automatically spatially rectified				
<b>Status Indicators</b>				
3 LEDs (on stationary base) indicate system ready, laser "on", and communications status				
<b>Level indicator</b>				
External bubble and via laptop				

Leica Geosystems AG  
Heerbrugg, Switzerland  
www.leica-geosystems.com/hds

- when it has to be right



Εικόνα 42. Προδιαγραφές σαρωτή Leica ScanStation 2 – Πηγή: leica-geosystems.com.


















## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΕΠΩΝΥΜΕΣ ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ LASER SCANNER
 (Surphaser, n.d.)
 (Ametek, n.d.)
 (Faro, n.d.)
 (Topcon, n.d.)
 (Maptek, n.d.)
 (Barcoding, n.d.)
 (NextEngine, n.d.)
 (ShapeGrabber, n.d.)
 - when it has to be <b>right</b> (Geosystems, n.d.)
 (Trimble, n.d.)

Πίνακας 6. Δέκα επώνυμες κατασκευαστικές εταιρείες, παραγωγής Επίγειων 3D Σαρωτών Laser

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

### ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ LASER SCANNER

Εταιρεία Παραγωγής	Software
 <b>AUTODESK</b> (AUTODESK, n.d.)	 <b>AUTOCAD</b> <sup>®</sup> (Autocad, n.d.)
	 <b>RECAP PRO</b> (R Recap Pro, n.d.)
	 <b>REVIT</b> (R Revit, n.d.)
 <b>Bentley</b> <sup>®</sup> (Bentley, n.d.)	 <b>pointools</b> <sup>™</sup> <small>point cloud software</small> (Bentley Advancing Infrastructure, 2018)
 <b>Leica</b> <b>Geosystems</b> - when it has to be <b>right</b> (Geosystems, n.d.)	 <b>Cyclone</b> <b>FIELDWORX</b> (Leica Cyclone Fieldworx, 2020)
 <b>FARO</b> (Faro, n.d.)	 <b>SCENE</b> (Faro Scene, 2020)
 <b>Agisoft</b> (Agisoft, n.d.)	 (Agisoft Metashape , 2020)
 <b>RIEGL</b> <sup>®</sup> <small>LASER MEASUREMENT SYSTEMS</small> (Riegl, n.d.)	 <b>RI SCAN PRO</b> (RiSCAN Pro 2.0, 2020)
 <b>Trimble</b> <sup>®</sup> (The Trimble Geospatial, n.d.)	 <b>Trimble RealWorks</b> <sup>®</sup> (Trimble RealWorks, 2020)
 (Meshlab, 2020)	

Πίνακας 7. Software για επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων από επίγειους σαρωτές Laser

## Αναφορές

- Agisoft. (χ.χ.). *Discover intelligent photogrammetry with Metashape: Process digital images and generate 3D spatial data. Fast and highly accurate.* Ανάκτηση από Agisoft: <https://www.agisoft.com/>
- Agisoft Metashape . (2020). *Intelligent Photogrammetry.* St. Petersburg, Russia: Metashape.
- Ametek. (χ.χ.). *Ametek.* Ανάκτηση από Ametek at a Glance: <https://www.ametek.com/>
- Autocad. (χ.χ.). *Autocad.* Ανάκτηση από CAD software to design anything—with time-saving toolsets, web, and mobile apps: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?support=ADVANCED&plc=ACDIST&term=1-YEAR&quantity=1>
- AUTODESK. (χ.χ.). *Ready to make anything.* Ανάκτηση από <https://www.autodesk.com/>
- Barcoding. (χ.χ.). *Barcoding Be Efficient Accurate Connected.* Ανάκτηση από Capture a Stronger Supply Chain: <https://www.barcoding.com/>
- Bentley Advancing Infrastructure. (2018). *Bentley Pointools: Powerful and Fast Pre-processing of Point Clouds.* Bentley: Bentley Systems. Ανάκτηση από When you need rapid point-cloud processing: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools>
- Bentley. (χ.χ.). *Bentley.* Ανάκτηση από Advancing Infrastructure: <https://www.bentley.com/en>
- Bianculli, D., & Humphries, D. (2016). *APPLICATION OF TERRESTRIAL LASER SCANNER IN PARTICLE ACCELERATOR AND REVERSE ENGINEERING SOLUTIONS.* Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Boardman, C., & Bryan, P. (2007). *3D Laser Scanning for Heritage, advise and guidance to users on laser scanning in.* Swindon: Historic England.
- Boehler, W., Bordas, V. M., & Marbs, A. (2003). *Investigating Laser Scanner Accuracy.* CIPA XIXth Int. Sumposium.
- buk.gr. (χ.χ.). Ανάκτηση από Αμφίπολη: <https://buk.gr/el/poli-perioxi/amfipoli>
- charta von venedig. (1965). Ανάκτηση από Χάρτης της Βενετίας Αρχιτεκτονική και Συντήρηση Μνημείων: [http://www.charta-von-venedig.de/χάρτης-της-βενετίας\\_συνέδριο-συντήρησης\\_προοίμιο\\_ελληνικά.html](http://www.charta-von-venedig.de/χάρτης-της-βενετίας_συνέδριο-συντήρησης_προοίμιο_ελληνικά.html)
- Council of Europe. (1985, Οκτώβριος 3). Ανάκτηση από Convention for the Protection of the Architectural Heritage of Europe: <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/121>
- DEM, DSM & DTM: Digital Elevation Model - Why It's important. (χ.χ.). Ανάκτηση από Geodetics: <https://geodetics.com/dem-dsm-dtm-digital-elevation-models/>



- Dr. Barber, D., & Prof. Mills, J. (2007). *3D Laser Scanning for Heritage. Advice and guidance to users on laser scanning in archeology and architecture*. Swindon: Heritage3D.org.
- fakos, M. (2014, Οκτώβριος 14). *Wikipedia*. Ανάκτηση από Kasta Tomb: [https://el.wikipedia.org/wiki/Τύμβος\\_Καστά#/media/Αρχείο:Kasta\\_tomb\\_2.png](https://el.wikipedia.org/wiki/Τύμβος_Καστά#/media/Αρχείο:Kasta_tomb_2.png)
- FARO. (2020). *FARO*. Ανάκτηση από Faro Focus Laser Scanner: <https://www.faro.com/products/construction-bim/faro-focus/features/>
- Faro. (χ.χ.). *Faro*. Ανάκτηση από faro.com
- Faro Scene. (2020). *Scene. The Most Intuitive and Efficient Software for Scan Data Processing and Registration*. Lake Mary: FARO. Ανάκτηση από FARO's 3D Documentation Software for terrestrial and handheld Scanners.: <https://www.faro.com/en-gb/products/construction-bim-cim/faro-scene/>
- FocalPoint. (2014, Οκτώβριος 26). *Wikipedia*. Ανάκτηση από Πανοραμική άποψη του τύμβου Καστά: [https://el.wikipedia.org/wiki/Τύμβος\\_Καστά#/media/Αρχείο:Kasta\\_tumulus.jpg](https://el.wikipedia.org/wiki/Τύμβος_Καστά#/media/Αρχείο:Kasta_tumulus.jpg)
- FutureLab. (χ.χ.). *Amfipoli news*. Ανάκτηση από 3D Περιήγηση στο εσωτερικό του τάφου: <https://amfipoli-news.com/3dmap.php>
- Geosystems, L. (χ.χ.). *Leica Geosystems*. Ανάκτηση από Scanners: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners>
- ICOMOS. (1965). Ανάκτηση από <https://www.icomos.org/en/about-icomos/mission-and-vision/icomos-mission>
- Leica Cyclone Fieldworx. (2020). *Leica Cyclone Fieldworx. In-field, survey-grade registration*. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG. Ανάκτηση από Explore Software: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>
- Leica Geosystems. (2020). *Leica-Geosystems*. Ανάκτηση από Leica RTC360 3D Laser Scanner: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- Maptek. (χ.χ.). *Maptek*. Ανάκτηση από Mine Measurement Solutions: [https://www.maptek.com/products/mine\\_measurement/index.html](https://www.maptek.com/products/mine_measurement/index.html)
- Menshouse. (2015). *Menshouse*. Ανάκτηση από Τύμβος Καστά: Το ακριβό μυστικό που έκρυβε ο τάφος της Αμφίπολης: <https://menshouse.gr/extras/47846/pio-itan-mystiko-tou-tafou-tis-amfipolis>
- Meshlab. (2020, 12 1). *Meshlab: Features*. Ανάκτηση από The open source system for processing and editing 3D triangular meshes: <https://www.meshlab.net/>
- Messtechnik, M. E. (Σκηνοθέτης). (2014). *Laser triangulation - operating principle* [Ταινία].
- Naftemporiki.gr. (2014, Αυγούστος 26). *Αποκαλύφθηκε το ψηφιδωτό δάπεδο στον τάφο της Αμφίπολης*. Ανάκτηση από Ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση προσωρινού στεγάστρου που καλύπτει το μνημείο: <https://m.naftemporiki.gr/story/849256/apokalufthike-to-psifidoto-dapedo-ston-tafo-tis-amfipolis>

- NEWS, I. (2020, Απρίλιος 27). *CNN Greece*. Ανάκτηση από Εντυπωσιακές αεροφωτογραφίες από την Αμφίπολη: <https://www.cnn.gr/style/politismos/story/217067/entyposiakes-aerofotografies-apo-tin-amfipoli-epispeysi-ton-ergon-zita-i-mendoni>
- NextEngine. (χ.χ.). *NextEngine*. Ανάκτηση από Scanner: <http://www.nextengine.com/products/scanner/features/accurate>
- Oscar, B. (1941). *The Lion Monument at Amphipolis*. Cambridge: Harvard University.
- Porzilli, P. (2018, Απρίλιος 19). *Intensive course in Laser-Scanning*. Ανάκτηση από Laser scanner survey is part of cathegory of the INDIRECT SURVEY: <https://zenodo.org/record/1220859#.YGBnhHtR270>
- R Recap Pro. (χ.χ.). *R Recap Pro*. Ανάκτηση από Reality capture software connecting the physical world to the digital: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview?plc=RECAP&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- R Revit. (χ.χ.). *R Revit*. Ανάκτηση από Multidisciplinary BIM software for higher-quality, coordinated designs: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?plc=RVT&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- Riegl. (χ.χ.). *RIEGL Laser Measurement Systems*. Ανάκτηση από <http://www.riegl.com/>
- RiSCAN Pro 2.0. (2020). *Operating & Processing Software RiScan Pro for RIEGL 3D Laser Scanners*. Horn, Austria: REIGL Laser Measurement Systems GmbH. Ανάκτηση από Products: <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>
- San, R. (2019). *Leica TruView Accuracy*. Heerburg, Switzerland: Leica Geosystems AG.
- ShapeGrabber. (χ.χ.). *ShapeGrabber*. Ανάκτηση από Automated 3D Scanning Systems: <https://www.ogpnet.com/products/metrology-systems/laser-scanning-systems/shapegrabber-automatic-3d-laser-scanning-systems/>
- Surphaser. (χ.χ.). *Surphaser*. Ανάκτηση από Hemispherical 3D Scanners Surphaser: <http://www.surphaser.com/>
- SurvTeck Solution, Inc. (2020). *SurvTech Solutions*. Ανάκτηση από How does Laser Scanning work?: <https://www.survtechsolutions.com/how-does-laser-scanning-work>
- The Trimble Geospatial. (χ.χ.). *Trimble Geospatial advantage*. Ανάκτηση από <https://geospatial.trimble.com/>
- Topcon. (χ.χ.). *Topcon*. Ανάκτηση από Capture 3D Point Cloud Data at Any Site: [https://www.topcon.co.jp/en/positioning/atwork/imaging/202012\\_Sankyo-consultant\\_GTL-1000\\_E.html](https://www.topcon.co.jp/en/positioning/atwork/imaging/202012_Sankyo-consultant_GTL-1000_E.html)
- Trimble RealWorks. (2020). *Trimble RealWorks Version 11.3.2*. Westminster, Colorado: Trimble Inc.
- Trimble. (χ.χ.). *Trimble*. Ανάκτηση από Laser Scanning: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/laser-scanning-solutions>

- Unesco. (2019). Ανάκτηση από World Heritage List: <http://whc.unesco.org/en/list/&&type=cultural&order=country#alphaG>
- Werner, B. (2017, Οκτωβρίου 5). *Wikipedia*. Ανάκτηση από Λέων της Αμφίπολης: [https://el.wikipedia.org/wiki/Λέων\\_της\\_Αμφίπολης#/media/Αρχείο:Lion\\_of\\_Amphipolis\\_BW\\_2017-10-05\\_09-38-25.jpg](https://el.wikipedia.org/wiki/Λέων_της_Αμφίπολης#/media/Αρχείο:Lion_of_Amphipolis_BW_2017-10-05_09-38-25.jpg)
- Wordpress. (2015, Αύγουστος 10). *Μακεδόνων Πρώτη : Αμφίπολη*. Ανάκτηση από Τα χαράγματα στα μαρμάρια μέλη του περιβάλλοντος: <https://enneaodoi.wordpress.com/xaragmata/>
- Wordpress. (2015, Αύγουστος 16). *Μακεδόνων Πρώτη : Αμφίπολη*. Ανάκτηση από Πιθανές θέσεις στις οποίες κατέληξε το λιθολογημένο υλικό του ταφικού μνημείου στο λόφο Καστά: <https://enneaodoi.wordpress.com/lithologimeno/>
- Ανάγνου, Α., & Γεωργίου, Μ.-Μ. (2012). *Επίγειοι Τρισδιάστατοι Σαρωτές & Εφαρμογές τους*. Αιγάλεω: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας.
- Ανώνυμος. (2014, Σεπτέμβριος 21). *Αμφίπολη: Δείτε ολόκληρες τις Καρυάτιδες*. Ανάκτηση από protothema.gr: <https://www.protothema.gr/culture/article/411868/amfipoli-deite-oloklires-tis-karuatides/>
- Αριστείδης, Ζ. (2020, Νοεμβρίου 25). *Πανελλήνιος Σύλλογος Πτυχιούχων Μηχανικών*. Ανάκτηση από Μέθοδοι αποτύπωσης με Laser Scanner 3D: <https://www.sgeotopo.gr/index.php/el/anakoynoseis/161-13o-webinar-methodoi-apotyposis-me-laser-scanner-3d-22-11-20>
- ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ. (2021, Μάρτιος 1). Ανάκτηση από Πολιτιστική κληρονομιά: [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%BA%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%AC](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BA%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%AC)
- Βλασίδης, Β. (2010, Μάρτιος 11). *Αρχαιολογικό Μουσείο Αμφίπολης*. Ανάκτηση από Μακεδονική Κληρονομιά : [https://web.archive.org/web/20141019194457/http://www.imma.edu.gr/macher/museums/show.html?museum\\_id=40](https://web.archive.org/web/20141019194457/http://www.imma.edu.gr/macher/museums/show.html?museum_id=40)
- Γεωργόπουλος, Ανδρέας - Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο Αθηνών. (2012, Νοέμβριος 21). *NCCMS Courses Platform*. Ανάκτηση από Αποτυπώσεις Μνημείων: [http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotyvnseis\\_mnhmeivn/epikoivnia.html](http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/apotyvnseis_mnhmeivn/epikoivnia.html)
- Γκολοβράντζας, Δ. (2014, Φεβρουάριος 1). Η Έννοια της Πολιτισμικής Δραστηριότητας. *Trikala News*.
- Γνωρίστε την Ελλάδα. (χ.χ.). Ανάκτηση από Αρχαιολογικός χώρος Αμφίπολης: <https://www.gnoristetinellada.gr/politismos/archaiologikoi-xoroi/889-archaiologikos-xoros-amfipolis>
- Έργο, Σ. (2020, Φεβρουάριος 7). *Εγκυκλοπαίδεια Πάπυρος Larousse Britannica*. Στο *Τόμος 42ος* (σ. 269). Αθήνα: Εκδοτικός Οργανισμός Πάπυρος. Ανάκτηση από Μνημείο: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μνημείο>

- Καραδήμου , Α. (2018, Νοέμβριος 16). *Νόμος + Φύση*. Ανάκτηση από Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΚΙΝΗΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΣΤΑ ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ: <https://nomosphysis.org.gr/18675/i-prostasia-ton-xoron-kai-ton-akiniton-mnimeion-sta-eyropaika-kai-diethni-keimena-prostasias-tis-politistikis-klironomias/>
- Καρούσου, Ε., & Πλαγάκη, Ι. (2019). Αποτύπωση μέσω επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης του Ιερού του Αμυκλαίου Απόλλωνος στη Σπάρτη. 12.
- Κοϊμτζόγλου, Δ. (2012). *Τρισδιάστατη Αποτύπωση Σπήλαιου Πετραλώνων με Σαρωτή Laser*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κοντραρου - Ρασσια, Ν. (2013). Πολυάνδρειο ή Ηρώο ο τύμβος της Αμφίπολης. *Ελευθεροτυπία*.
- Κοσκινά, Α., & Γλύτση , Ε. (2003). *Οργάνωση και παραγωγή πολιτιστικών δραστηριοτήτων - Εικαστικά, Τόμος Β'*. Πάτρα: Εκδόσεις ΕΑΠ.
- Μακρυγιάννη, Ρ. (2020). *Γεωμετρική Τεκμηρίωση Σπηλαίου Αγίου Γεωργίου, Ερήμη Λεμεσού, με τη χρήση Επίγειου Σαρωτή Laser*. Λεμεσός: Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- Μεντζής, Α. (2014, Δεκεμβρίου 28). *Χρονόμετρο*. Ανάκτηση από Οι επιγραφές της Αμφίπολης και τα ονόματα των Θρακών του Παγγαίου: <https://www.xronometro.com/epigrafes-thrakika-onomata/>
- Μπουτσιάδου , Κ. Ν. (2014). *Τρισδιάστατη Αποτύπωση στο αρχοντικό "Σκουτάρη" Καστοριάς με Σαρωτή Laser*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παπανικολάου, Ξ. Θ. (2012). *Το Ονομαστικό της Αμφίπολης*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης - Φιλοσοφική Σχολή - Τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας.
- Πατίας, Π. (2009, Οκτώβριος 2). *Φωτογραμμετρία και Τεκμηρίωση Αρχαιολογικών Χώρων και Ευρημάτων - Με απλά λόγια*. Ανάκτηση από Wordpress: <https://anaskamma.files.wordpress.com/2009/10/02-patias.pdf>
- Ριτζαλέου, Μ. (2020, Ιούνιος 16). *Μια θαμμένη πόλη αποκαλύπτεται δίπλα στον τύμβο Καστά στην Αμφίπολη*. Ανάκτηση από ΕΘΝΟΣ: [https://www.ethnos.gr/politismos/110857\\_mia-thammeni-poli-apokalyptetai-dipla-ston-tymbo-kasta-stin-amfipoli](https://www.ethnos.gr/politismos/110857_mia-thammeni-poli-apokalyptetai-dipla-ston-tymbo-kasta-stin-amfipoli)
- ΣΕΙΡΑ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΕΘΝΟΥΣ (20 ΤΟΜΟΙ). (1972). Στο Κ. Παπαρρηγόπουλος, & Π. Καρολίδης, *Ιστορία του Ελληνικού Έθνους. Γ1' Τόμος* (σσ. 180-185). Εκδοτική Αθηνών.
- Σκουρή, Ι. (2010). *Χρήση Επίγειου Σαρωτή Laser σε Συνήθεις Γεωδαιτικές Εφαρμογές*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Τοκμακίδης, Κωνσταντίνος - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. (2014, Δεκέμβριος 23). *Τοπογραφικές αποτυπώσεις μνημείων και αρχαιολογικών χώρων*. Ανάκτηση από Αποτύπωση μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. 3D Laser: [https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS195/Παρουσιάσεις/ΕΝΟΤΗΤΑ\\_07.pdf](https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS195/Παρουσιάσεις/ΕΝΟΤΗΤΑ_07.pdf)

- Τοκμακίδης, Π., Αναστασίου, Α., Αλμπανίδης, Ε., Σπαταλάς, Σ., & Τοκμακίδης, Κ. (2015). *Σύγχρονες μέθοδοι τρισδιάστατης αποτύπωσης. Η περίπτωση του θεάτρου της αρχαίας Σπάρτης*. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
- Τσαμπά , Μ. (2016). *Πολιτιστική Πολιτική και Διοίκηση*. Αθήνα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο .
- Υπουργός και Υφυπουργός Πολιτισμού και Αθλητισμού. (2019, Ιούλιος 5). *Κανονιστικό πλαίσιο για την εκπόνηση μελετών και την εκτέλεση εργασιών σε ακίνητα μνημεία*. Ανάκτηση από e-νομοθεσία.gr: <https://www.e-nomothesia.gr/kat-archaiotites/koine-upourgike-apophase-356112-929-2019.html>
- ΥΠΠΟ. (2014, Οκτώβριος). *The Amphipolis Tomb*. Ανάκτηση από The 2nd Chamber: <http://www.theamphipolistomb.com/second-chamber>