

Εξελίξεις στις Τρισδιάστατες Αποτυπώσεις Μνημείων. Η περίπτωση του Ιερού της Εύκλειας στην Βεργίνα

**Π. Τοκμακίδης, Χ. Σαατσόγλου - Παλιαδέλλη, Κ. Τοκμακίδης,
Β. Τσιούκας, Σ. Σπαταλάς**

1 Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ

2 Τομέας Αρχαιολογίας, Φιλοσοφική Σχολή, ΑΠΘ

Περίληψη: Περιγράφεται, ως ιδιαίτερο αντικείμενο χαρτογράφησης, η τρισδιάστατη αποτύπωση του «Ιερού της Εύκλειας» στον αρχαιολογικό χώρο της Βεργίνας, που ταυτίζεται με τις Αιγές, την παλιά πρωτεύουσα και βασιλική νεκρόπολη των αρχαίων Μακεδόνων. Σε αυτό συνετέλεσε η μεθοδολογία της αποτύπωσης, καθώς χρησιμοποιήθηκε η “αιχμή” της σύγχρονης τεχνολογίας οργάνων αποτύπωσης, δηλαδή 3-Δ σαρωτής laser και μη επανδρωμένο πτητικό μέσο για την παραγωγή αεροφωτογραφιών και ορθοφωτοχάρτη της περιοχής του μνημείου. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός τρισδιάστατου νέφους σημείων της ανασκαφής από το οποίο έχουμε την δυνατότητα παραγωγής κατόψεων όψεων και τομών των στοιχείων του χώρου. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της ερευνητικής δραστηριότητας του Εργαστηρίου Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών σε συνεργασία με την Πανεπιστημιακή ανασκαφή της Βεργίνας.

1. Το ιερό της Εύκλειας

Κοντά στα δυτικά τείχη της αρχαίας πόλης των Αιγών, στις βόρειες παρυφές των Πιερίων, καθώς κατηγορίζουμε από το ανάκτορο και αφού προσπεράσουμε το αρχαίο θέατρο συναντούμε το «Ιερό της Εύκλειας», συμβατική ονομασία ενός σημαντικού ανασκαφικού τομέα της μακράς και συστηματικής ανασκαφής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης στη Βεργίνα. Η ανεύρεση δύο επιγραφών που φέρουν το όνομα της Εύκλειας, θεότητας που προστάτευε την καλή φήμη και λατρευόταν στις αγορές των αρχαίων ελληνικών πόλεων, επιτρέπει την ταύτιση του Ιερού με τμήμα της Αγοράς των Αιγών, της παλιάς πρωτεύουσας και βασιλικής νεκρόπολης των αρχαίων Μακεδόνων. Η ανασκαφική έρευνα στο σημείο αυτό της πανεπιστημιακής ανασκαφής, εγκαινιάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 από τον καθηγητή Μανόλη Ανδρόνικο και συνεχίζεται μέχρι σήμερα, με την ευθύνη της ομότιμης καθηγήτριας του ΑΠΘ, κ. Χρυσούλας Σαατσόγλου-Παλιαδέλλη.

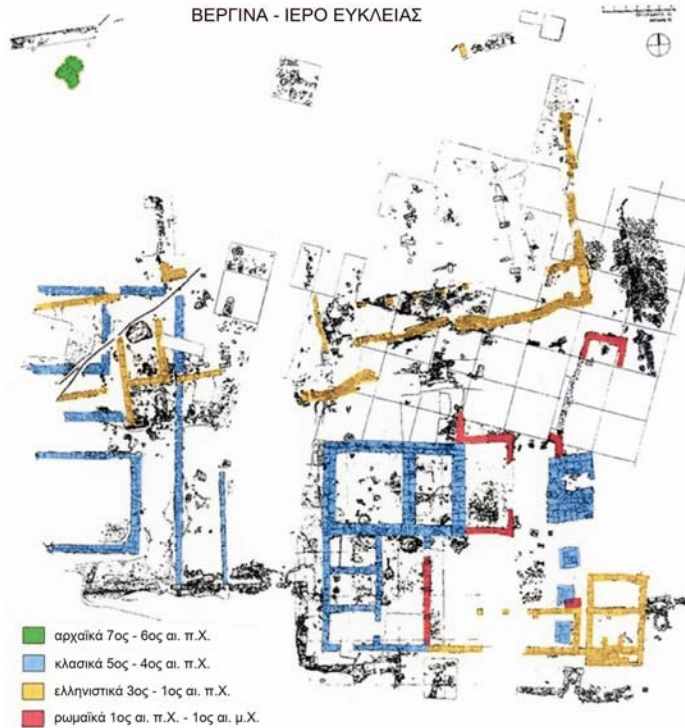
Στο νοτιότερο τμήμα του ανασκαφικού χώρου, στο κατεξοχήν Ιερό, έχουν αποκαλυφθεί δύο διθάλαμοι ναοί, δύο στωικά οικοδομήματα, τα πόρινα θεμέλια ενός μνημειακού βωμού και δύο βασιλικά αφιερώματα στην Εύκλεια, στα οποία διατη-

ρείται το όνομα και το πατρώνυμο της βασίλισσας Ευρυδίκης, μητέρας του Φιλίππου Β'. Η παλαιότερη οικοδομική φάση αντιστοιχεί στην περίοδο ακμής του χώρου, χρονολογείται στον 4ο αι. π.Χ., αλλά η χρήση του χώρου συνεχίστηκε μέχρι και τον 1^ο μ.Χ. αιώνα. Στα μέσα του 4^{ου} π.Χ. αιώνα χρονολογούνται εντυπωσιακά μαρμάρινα γλυπτά, άμεσα συνδεδεμένα με τη βασιλική οικογένεια, ανάμεσά τους ένα υπερφυσικού μεγέθους μαρμάρινο άγαλμα της βασίλισσας Ευρυδίκης, και ένα μοναδικό, υπερφυσικού επίσης μεγέθους μαρμάρινο φίδι, απεικόνιση του Μελίχιου Δία, προστάτη της γονιμότητας. Πρόσφατα ευρήματα του τέλους του ίδιου αιώνα ενισχύουν την έντονη βασιλική παρουσία στην Αγορά της αρχαίας πόλης, δηλώνοντας τη σημασία του χώρου για τη δυναστεία των Τημενιδών.

2. Περιγραφή της αποτύπωσης

Η τρισδιάστατη αποτύπωση του Ιερού της Εύκλειας, πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο του 2015 με την “αιχμή” της σύγχρονης τεχνολογίας οργάνων, δηλαδή 3-Δ σαρωτή laser και μη επανδρωμένο πτητικό μέσο για παραγωγή αεροφωτογραφιών και ορθοφωτοχάρτη της περιοχής του μνημείου. Τέτοια μη επανδρωμένα πτητικά μέσα (μοντέλα αεροπλάνα και ελικόπτερα) αποτελούν την πιο πρόσφατη εξέλιξη στην επιστήμη της αποτύπωσης του χώρου, που στόχος της είναι να παράγει μετρητικά σχέδια και 3-Δ μοντέλα από ψηφιακές εικόνες. Οι εναέριες λήψεις πάντοτε αποτελούσαν την πιο γρήγορη μέθοδο για σύνταξη διαγραμμάτων, αλλά το κόστος μιας πτήσης και του απαραίτητου εξοπλισμού (ειδικές φωτογραφικές μηχανές, αυτόματοι πιλότοι, αδρανειακά συστήματα εντοπισμού θέσης, GNSS κλπ), καθιστούσαν τη μέθοδο ασύμφορη από οικονομικής άποψης για έργα μικρής οικονομικής κλίμακας, όπως είναι συνήθως οι μελέτες για μνημεία πολιτισμού. Για παράδειγμα η φωτογραμμετρική αποτύπωση με συμβατικό αεροσκάφος αποτελεί την πιο συμφέρουσα λύση για την αποτύπωση μιας μεγάλης έκτασης, αλλά το κόστος της για το Ιερό της Εύκλειας θα ξεπερνούσε τον ετήσιο προϋπολογισμό όλων των εργασιών στον αρχαιολογικό χώρο. Όταν λοιπόν η οικονομική κλίμακα του έργου είναι μικρή, τότε επιστρατεύονται τα μη επανδρωμένα πτητικά μέσα, τα οποία με ελάχιστο, αναλογικά, κόστος παρέχουν ταχύτερη αποτύπωση της περιοχής του μνημείου.

Στην περίπτωση του Ιερού της Εύκλειας (εικόνα 1), χρησιμοποιήθηκε ένα τηλεκατευθυνόμενο τετρακόπτερο όχημα τύπου Phantom 3 (URL1), που ανήκει σε μια σειρά μοντέλων μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (Unmanned Aerial Vehicle-UAV), η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρεία DJI (URL2). Τα οχήματα, τα οποία ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε φωτογραφήσεις για εμπορικούς σκοπούς, είτε αυτές έχουν ως στόχο μια απλή φωτογράφιση είτε μια αποτύπωση ενός χώρου, και δεν προορίζονται σε καμία περίπτωση για στρατιωτικούς σκοπούς. Επίσημα διατέθηκε στην αγορά τον Απρίλιο του 2015. Η κατασκευή του στηρίζεται σε σύνθετα υλικά, ενώ η πρόωσή του



Εικόνα 1. Τοπογραφικό διάγραμμα σε σμίκρυνση της περιοχής του Ιερού της Εύκλειας



*Εικόνα 2. Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα Phantom 3
(Πηγή: <http://www.dji.com/product/phantom-3-adv>)*

στηρίζεται εξολοκλήρου στο γεγονός ότι είναι εξοπλισμένο με τέσσερις έλικες, με δύο λεπίδες η καθεμία, τοποθετημένες στα τέσσερα άκρα του κύριου σώματος σχήματος Χ. Η μέγιστη ανάλυση της κάμερας με την οποία είναι εξοπλισμένο φτάνει τα 12.4 Megapixel.

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί την τρίτη κατά σειρά βελτιωμένη έκδοση του οχήματος και παρέχει διάφορες διευκολύνσεις σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις. Αρχικά, παρέχεται η δυνατότητα στον ελεγκτή πτήσης ενός μέγιστου εύρους απόστασης των 2.000 μέτρων, ενώ συγχρόνως το οπτικό σύστημα εντοπισμού θέσης, με το οποίο είναι εξοπλισμένο, επιτρέπει στο όχημα να διατηρήσει καλύτερα τη θέση του σε χαμηλότερα υψόμετρα, ακόμη και σε εσωτερικούς χώ-

ρους, όπου το GPS είναι αδύναμο ή πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμο. Επιπρόσθετα, ο ελεγκτής πτήσης του Phantom 3 διαθέτει με τη σειρά του αρκετές σημαντικές αναβαθμίσεις που αφορούν την λειτουργία ασφάλειας της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει δύο επιπλέον χαρακτηριστικά που εξασφαλίζουν την ασφαλή επιστροφή του, εάν το σήμα ελέγχου έχει χαθεί. Ο ελεγκτής της πτήσης μπορεί επίσης, να αποθηκεύσει σημαντικά δεδομένα πτήσης για κάθε πτήση, στη συσκευή αποθήκευσης, η οποία βρίσκεται πάνω στο όχημα. Το νέο χειριστήριο πτήσης παρέχει επίσης αυξημένη σταθερότητα και ένα νέο χαρακτηριστικό πέδησης στον αέρα ([URL3](#)).

Επειδή η από αέρα αποτύπωση συνδυάστηκε με επίγειες μετρήσεις (σάρωσης με laser), η ακρίβεια στην κλίμακα απόδοσης (1:50) των τελικών προϊόντων ήταν καλύτερη από 1cm, που αντιστοιχεί σε μέσο ύψος πτήσης της τάξης των 9 μέτρων. Αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι το 3-Δ μοντέλο της ευρύτερης περιοχής του μνημείου, με ισούψεις καμπύλες και ορθοφωτοχάρτη της ίδιας περιοχής με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) περίπου 1cm.

3. 3-Δ σαρωτές laser

Τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί στις επιστήμες της αποτύπωσης του χώρου νέα όργανα μετρήσεων, τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να αναπαράγουν τον τρισδιάστατο χώρο με έναν γρήγορο και οικονομικό (από άποψη χρόνου μετρήσεων και παραμονής στο πεδίο), τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές Laser (3D terrestrial laser scanner). Η τεχνολογία του laser scanner βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε πάρα πολλούς τομείς που απαιτούν συλλογή δεδομένων με μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια, (Tokmakidis K. 2009). Ενδεικτικές εφαρμογές χρήσης του τρισδιάστατου σαρωτή είναι:

- αποτύπωση αρχαιολογικών χώρων
- αποτύπωση διατηρητέων μεμονωμένων κτιρίων, μνημείων και συνόλων
- αποτύπωση ορυχείων, σηράγγων, σπηλαίων, μεταλλείων κ.α.

Επίσης βρίσκει εφαρμογή και σε ειδικές κατηγορίες έργων αποτύπωσης όπως:

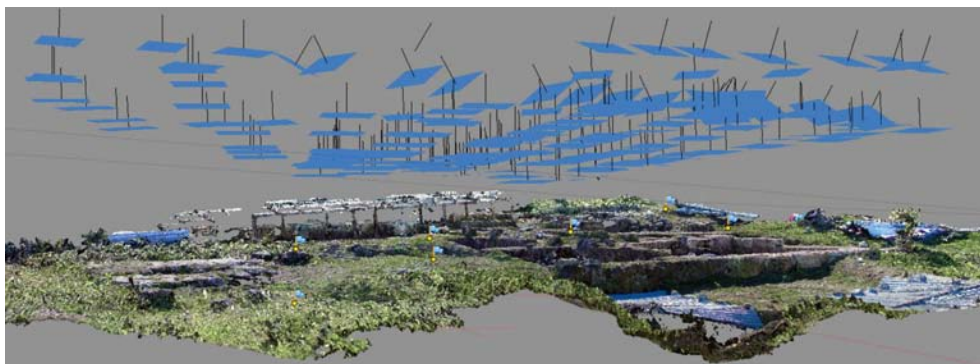
- στην αποτύπωση ειδικών κατασκευών όπως για παράδειγμα κεραιών κινητής τηλεφωνίας
- στη συλλογή δεδομένων και σχεδιασμό 3D μοντέλων εργοστασιακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων «όπως χτίστηκαν» (as-built), εφαρμογών
- στον 3D σχεδιασμό μοντέλων αεροσκαφών, πλοίων και οχημάτων (κατασκευή - επισκευή)
- στην εικονική πραγματικότητα, προσομοίωση
- στις ιατρικές εφαρμογές στην διάγνωση ορθοπεδικών και οδοντιατρικών παθήσεων και στην κατασκευή προσθετικών μελών
- καθώς και σε αρκετές άλλες περιπτώσεις.

Για την λεπτομερή αποτύπωση, στο Ιερό της Εύκλειας έγιναν συνολικά 12 σάρωσεις. Δεν κατέστη δυνατή η αποτύπωση όλων των ευρημάτων λόγω του ότι κάποια από αυτά ήταν καλυμμένα την εποχή των μετρήσεων.

4. Φωτογράφιση με το Phantom 3 και υλοποίηση τοπογραφικών μετρήσεων

Τοποθετήθηκαν φωτοσταθερά σημεία και έγινε η φωτογράφιση της περιοχής του Ιερού με το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα Phantom 3. Μία σημαντική λεπτομέρεια στην διαδικασία αποτύπωσης με ελικόπτερο UAV είναι πως η περιοχή σαρώθηκε δύο φορές με ταυτόχρονη λήψη αυστηρώς κατακόρυφων εικόνων για καλύτερη κάλυψη. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε και μια τρίτη σάρωση περιμετρικά του χώρου, κατά την οποία η κάμερα είχε κλίση 45°, με στόχο την εξασφάλιση πλάγιων (oblique), λήψεων, προκειμένου να έχουμε πληροφορία και για τις όψεις των αντικειμένων.

Το ύψος πτήσης καθορίστηκε με στόχο το όχημα να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά στην περιοχή για την επίτευξη της καλύτερης ακρίβειας των τελικών προϊόντων και τη βέλτιστη ανάλυση των παραγομένων ορθοεικόνων και του 3D μοντέλου. Στην αποτύπωση του Ιερού, το ύψος πτήσης ορίστηκε στα 10m. Η διάρκεια της πτήσης δεν υπερέβη τα δέκα λεπτά, ενώ συνολικά λήφθηκαν 174 φωτογραφίες της περιοχής (εικόνα 3).



Εικόνα 3. Οι λήψεις με την κάμερα από το UAV

5. Επεξεργασία του νέφους σημείων

Κατά τη διάρκεια της σάρωσης ο laser scanner αποτυπώνει και σημεία τα οποία δεν θα χρησιμοποιηθούν απαραίτητα για τη δημιουργία του μοντέλου (δέντρα, πινακίδες κ.α.). Η προετοιμασία της επεξεργασίας των μετρήσεων συνίσταται στη διαδικασία «καθαρισμού» των σημείων αυτών, κάτι που επιτρέπει μια σημαντική

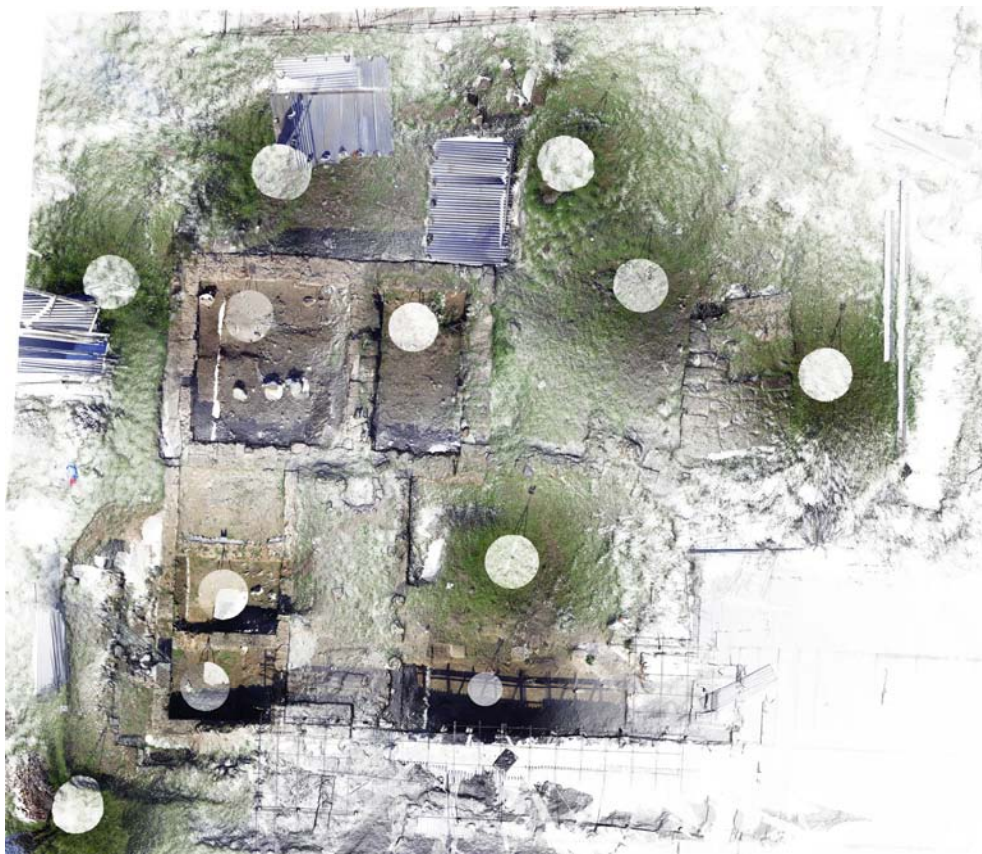
μείωση των δεδομένων, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση του νέφους των σημείων. Τα δεδομένα μέτρησης του laser scanner συνίστανται σε μεμονωμένα (ανεξάρτητα μεταξύ τους), νέφη σημείων. Μετά τον καθαρισμό και την απομάκρυνση του θορύβου, για να γίνει αξιοποίηση των δεδομένων στο σύνολό τους, θα πρέπει να γίνει αλλαγή της θέσης και του προσανατολισμού τους, έτσι ώστε όλες οι σαρώσεις να αναφέρονται σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων.

Η διαδικασία αυτή χαρακτηρίζεται ως cloud alignment ή registration και μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο, χρησιμοποιούνται ειδικοί στόχοι ή σφαίρες - που συμπεριλαμβάνονται στον εξοπλισμό του οργάνου - οι οποίες τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις στον χώρο της αποτύπωσης, σαρώνονται με ακρίβεια από κάθε θέση και προσδιορίζονται οι συντεταγμένες τους. Με τον τρόπο αυτό ενώνονται οι διαδοχικές σαρώσεις βάσει των ομόλογων σφαιρών. Η δεύτερη μέθοδος ένωσης των νεφών καλείται γεωαναφορά, αυτή τη φορά κάθε νέφος προσανατολίζεται με βάση τα γνωστά σημεία των οποίων οι συντεταγμένες έχουν προσδιοριστεί από την τοπογραφική αποτύπωση. Έτσι όλα τα νέφη αναφέρονται σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Στην περίπτωση του Ιερού εφαρμόστηκε η πρώτη μέθοδος με τη βοήθεια των σφαιρών.

Από την επεξεργασία των στοιχείων από το laser scanner εξασφαλίζεται συνήθως ένα δίκτυο, το οποίο περιγράφει σε γενικές γραμμές τα επιμέρους αρχιτεκτονικά στοιχεία των κατασκευών και του χώρου γενικότερα. Η αναγνώριση στοιχειωδών γεωμετρικών μορφών μπορεί να γίνει με διαδικασίες ημιαυτόματες, όμως στοιχεία που αποτελούνται από σύνθετες μορφές πρέπει να αναγνωρίζονται με τρόπο εξ' ολοκλήρου χειροκίνητο. Ακόμα είναι εφικτός ο διαχωρισμός σε τμήματα ενός ιστορικού κτιρίου από άποψη κατασκευαστική, λειτουργική, δομική κλπ. Καταλήγει όμως να γίνει μια διαδικασία περίπλοκη, αν σκεφτούμε τις ιδιαιτερότητες που υπάρχουν τόσο εξαιτίας του χειρονακτικού τρόπου κατασκευής του, όσο και εξαιτίας των φθορών που έχουν υποστεί τα δομικά στοιχεία με το πέρασμα του χρόνου. Ακόμη και ένα δάπεδο ή ένας τοίχος δεν μπορεί να περιγραφεί ακριβώς με την έννοια του επιπέδου, εξαιτίας των υλικών ή των τεχνικών κατασκευής με τις οποίες υλοποιήθηκε ή και λόγω της φθοράς από τον χρόνο και των επιχώσεων. Ακόμη και αν στην έννοια του επιπέδου υπάρξει ένας βαθμός ανοχής, είναι αντιληπτή η διαφορά του επιπέδου ενός τοίχου δομημένου με πλίνθους, από έναν επιχρισμένο τοίχο. Όμως οι επιπεδότητες των παραπάνω στοιχείων που επικαλούμαστε είναι γεωμετρικά επιχειρήματα συνήθως αποδεκτά στην τρισδιάστατη ανάπλαση της αρχιτεκτονικής, (Tokmakidis P. et al 2014).

Ακόμη και μετά τον καθαρισμό των δεδομένων είναι σημαντικό να μειωθούν τα σημεία του νέφους σε αυτά που είναι αναγκαία. Τέλος, το “πέρασμα” από το νέφος σημείων στο μοντέλο που περιγράφεται από μια επιφάνεια γίνεται μέσω του «τριγωνισμού». Πρόκειται για ένα “ακανόνιστο” δίκτυο (TIN- Triangulated Irregular Network), δηλαδή ένα πλέγμα πολυγώνων, συνήθως τριγώνων και τετραπλεύρων, που δημιουργείται από τα σημεία του νέφους. Το μοντέλο σε αυτό το σημείο είναι

έτοιμο για την εισαγωγή του μέσα σε κάποιο λογισμικό τύπου CAD-CAM. Η μεταφορά του νέφους σημείων σε σχεδιαστικά προγράμματα 2D ή 3D, επιτρέπει την παραγωγή σχεδίων, (όψεων, κατόψεων και τομών), καθώς και την τρισδιάστατη θέαση (3D viewing), με απόδοση της υφής των υλικών.



Εικόνα 4. Κάτοψη του Ιερού όπως αποτυπώθηκε με Laser Scanner

6. Επεξεργασία στο Agisoft PhotoScan

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία, στο περιβάλλον του λογισμικού Agisoft PhotoScan, των 174 φωτογραφιών που λήφθηκαν από τη σάρωση της περιοχής του Ιερού με το μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα (UAV), με στόχο τη δημιουργία ενός γεωαναφερμένου μοντέλου του χώρου.

Έγινε εισαγωγή όλων των φωτογραφιών στο περιβάλλον του λογισμικού και η διαδικασία συνεχίστηκε με την ευθυγράμμιση των φωτογραφιών. Προκειμένου να ξεκινήσει η ευθυγράμμιση, απαραίτητη προϋπόθεση αποτέλεσε η επιλογή της επιθυμητής παραμέτρου της ακρίβειάς της, η οποία και ορίστηκε ως η υψηλότερη

δυνατή. Αναλυτικότερα, το λογισμικό τοποθέτησε τις φωτογραφίες στη σωστή τους θέση, υπολογίζοντας τη θέση της κάμερας και τον προσανατολισμό για την κάθε μια, χτίζοντας αρχικά ένα αραιό μοντέλο νέφους σημείων. Ακολούθησε η δημιουργία του πυκνού νέφους σημείων. Το λογισμικό, έχοντας εκτιμήσει τη θέση της κάμερας για κάθε εικόνα, υπολογίζει την πληροφορία βάθους για κάθε μία από τις λήψεις, οι οποίες συνδυάζονται στο τελικό νέφος. Επόμενο στάδιο ήταν η ακριβής τοποθέτηση των φωτοσταθερών σημείων. Στη συνέχεια έγινε ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 και ο ορισμός του συστήματος αναφοράς. Το στάδιο αυτό ολοκληρώθηκε με την τελειοποίηση των πληροφοριών των λήψεων. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτέλεσε η αποδεκτή τιμή του συνολικού σφάλματος. Το τελικό σφάλμα υπολογίστηκε λίγο καλύτερο από 1 cm.



Εικόνα 5. ρισδιάστατη απόδοση του Ιερού με συνδυασμό των μετρήσεων από UAV και Laser Scanner

Τέλος, έγινε η εξαγωγή του μοντέλου αυτού σε μορφή νέφους σημείων (αρχείο μορφής .pod), το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια μαζί με τα νέφη σημείων, όπως προέκυψαν από το λογισμικό FARO SCENE, δηλαδή από τις μετρήσεις με Laser Scanner.



Εικόνα 6. Χαρακτηριστική τομή του Ιερού



Εικόνα 7. Ορθοφωτοχάρτης του Ιερού

7. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της αποτύπωσης μνημείων και ιδίως αρχαιολογικών χώρων και ανασκαφών. Η χρήση των τρισδιάστατων επίγειων σαρωτών ενδείκνυται λόγω του πλήθους των μετρημένων σημείων που προκύπτουν ως νέφος και της ευκολίας σύνδεσης των νεφών σημείων που προέρχονται από τις διαφορετικές θέσεις σάρωσης. Ωστόσο η παραγωγή των παραδοσιακών προϊόντων αποτύπωσης που είναι οι ορθοφωτοχάρτες (με ισοψείς) και τα 3-Δ μοντέλα είναι δύσκολο να δημιουργηθούν από το ενοποιημένο νέφος σημείων της σάρωσης με laser. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η δέσμη laser σε συνδυασμό με την ενσωματωμένη φωτογραφική μηχανή που διαθέτει ο σαρωτής, αποδίδει καλύτερα τις κατακόρυφες δομές (δηλ. την τοιχοποιία), μιας κατασκευής, όπου η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρή, σε αντίθεση με το έδαφος που λόγω της μεγάλης γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης δεν μπορεί να αποδοθεί με ακρίβεια και πιστότητα. Για το λόγο αυτό ο συνδυασμός των μετρήσεων του επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή laser με φωτογραμμετρικά προϊόντα από UAV αποτελεί τη βέλτιστη λύση, η οποία συνδυάζει:

- την ακρίβεια της τοπογραφικής διαδικασίας της σάρωσης με laser και
- την πληρότητα και φωτογραφική συνέχεια της φωτογραμμετρικής μεθόδου από την επεξεργασία των αεροφωτογραφιών του UAV.

Τέλος, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η μέθοδος που ακολουθήσαμε θα ήταν ιδανική για την καταγραφή ενός σκάμματος σε όλα τα στάδια εξέλιξης της αρχαιολογικής ανασκαφικής διαδικασίας, λόγω της μεγάλης ταχύτητας υλοποίησης των μετρήσεων, καθώς κάθε σάρωση διαρκεί 6 με 10 λεπτά της ώρας ενώ η αεροφωτογράφιση δεν ξεπερνά τα 20 λεπτά της ώρας.

References

Tokmakidis Konstantinos: “Surveying the Eupalinian Aqueduct in Samos Island”, Proceedings of 22nd International CIPA Symposium “Digital Documentation, Interpretation and Presentation of Cultural Heritage”, Kyoto 2009, CD-ROM, 5 pages.

Tokmakidis Panagiotis, Spatalas Spyros, Tokmakidis Konstantinos, Tsioukas Vasilis: “Laser scanning in the service of the visually impaired”, Proceedings of 1st International Geomatics Applications “Geomapplica” Conference, Skiathos 2014, USB-Drive, 6 pages.

URL1: <http://www.dji.com/phantom-3-adv> (τελευταία επίσκεψη Σεπτέμβριος 2016)

URL2: <http://www.dji.com/company> (τελευταία επίσκεψη Σεπτέμβριος 2016)

URL3: <http://www.dji.com/product/phantom-3-adv> (τελευταία επίσκεψη Σεπτέμβριος 2016)