

Δημιουργία Τοπογραφικού διαγράμματος μετά από σεισμό, με τη χρήση ορθοφωτοχάρτη από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) και δεδομένα από επίγειο laser scanner(TLS)

Η περίπτωση του Δημ. Σχολείου Βρισάς Λέσβου

Γιώργος ΤΑΤΑΡΗΣ¹, Κων/νος ΧΑΪΔΑΣ¹, Σταμάτης ΧΑΤΖΗΣΤΑΜΑΤΗΣ², Παναγιώτης ΚΑΛΑΪΤΖΗΣ¹, Ερμιόνη ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ¹, Χρήστος ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΩΡΟΥ¹, Νικόλαος ΣΟΥΛΑΚΕΛΛΗΣ¹

¹ Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Λέσβος

² Τμήμα Πολιτισμικής Τεχνολογίας και Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Λέσβος

Λέξεις κλειδιά: Σεισμός, Λέσβος, Τοπογραφικό Διάγραμμα, Laser scanner, UAV, TLS

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση της πρωτοποριακής μεθοδολογίας για τη δημιουργία σε σύντομο χρονικό διάστημα, υψηλής ακρίβειας τοπογραφικού διαγράμματος του οικοπέδου του καταστραμμένου από το σεισμό Δημοτικού Σχολείου της Βρισάς, Λέσβου. Η μεθοδολογία βασίζεται στο συνδυασμό των σαρώσεων από επίγειο σαρωτή laser (TLS) και ορθοφωτοχάρτη που έχει παραχθεί από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV). Η επικίνδυνη κατάσταση που δημιουργείται με την κατάρρευση κτιρίων μετά από ένα δυνατό σεισμό, δεν επιτρέπει την πρόσβαση και περιορίζει τη δυνατότητα για μετρήσεις με τις κλασικές μεθόδους. Επομένως σε μια πληγείσα από σεισμό περιοχή, η χρήση μετρήσεων εξ αποστάσεως είναι η ενδεδειγμένη λύση, καθώς παρέχει αφ' ενός ασφάλεια και αφ' ετέρου γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Ένας σεισμός (Μέγεθος 6.3, 12/6/2017) νότια της ν. Λέσβου, κατέστρεψε μια μεγάλη περιοχή του οικισμού Βρισάς, εντός της οποίας βρισκόταν και το Δημ. Σχολείο. Καθώς το Δημ. Σχολείο έπρεπε να λειτουργήσει σε σύντομο χρονικό διάστημα, κατά τη νέα σχολική χρονιά, ήταν απαραίτητο ένα ακριβές τοπογραφικό διάγραμμα του οικοπέδου, αλλά και των εντός αυτού κτιρίων, ώστε να γίνει άμεσα και στον πλέον ασφαλή και κατάλληλο χώρο η τοποθέτηση προκατασκευασμένων οικίσκων, για τη λειτουργία του Δημ. Σχολείου. Με το συνδυασμό ενός ορθοφωτοχάρτη με ακρίβεια 1,4 εκ./pixel, που δημιουργήθηκε από UAV και τεσσάρων επίγειων σαρώσεων με TLS σε ασφαλή απόσταση γύρω από το κτίριο, έγινε δυνατή η δημιουργία του απαραίτητου τοπογραφικού διαγράμματος σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μεγάλη χωρική ακρίβεια (<10cm), εφαρμόζοντας μια πρωτοποριακή μεθοδολογία και συνδυάζοντας νέες τεχνολογίες που είναι εφαρμόσιμες, γρήγορες και ακριβείς σε αντίστοιχες καταστάσεις.

Abstract

The aim of this paper is to present a pioneering methodology for creating an accurate topographic diagram of the open area around a devastated school building in a short period of time. This methodology is based on the integration of Terrestrial Laser Scanner (TLS) data with an orthophoto map produced by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The hazardous situation that come from collapsed buildings after strong earthquake, does not permit the access for measurements with

classic methods. Therefore, in an area that is affected by an earthquake, the survey by using remote-based techniques is an optimal solution. They provide, on the one hand security, and on the other hand the required deliverables quickly and accurately. An earthquake (magnitude 6.3, 12 June 2017) south of Lesbos island, Greece occurred, destroying a large area of the Vrisa settlement. In the case of the devastated school of Vrisa, there was a need for the school to reopen as soon as possible, in less than three months time. For that purpose, an accurate topographic diagram of the field and the devastated school building was necessary in a short period of time, so the installment of prefabricated buildings in a secure place inside the plot. The integration of an orthophoto map with 1.4 cm resolution, created by unmanned aerial vehicle photogrammetry, and four terrestrial laser scanning stations around the perimeter of the building, allowed the creation of the necessary topographic diagram in a short time and with great spatial accuracy of 10cm, applying a pioneering methodology of combining new technologies which is perfectly applicable, fast and accurate in equivalent situations.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σεισμός είναι ένας φυσικός κίνδυνος, που δεν μπορεί να προβλεφθεί και μια δόνηση μερικών δευτερόλεπτων μπορεί να προκαλέσει τεράστια ζημιά σε μεγάλες περιοχές, να επηρεάσει όλες τις πτυχές της κοινωνίας, ενώ οι επιπτώσεις του μπορεί να διαρκέσουν για πολλά χρόνια. Επιπλέον, η μετασεισμική κατάσταση είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, ιδιαίτερα λίγες ώρες ή ημέρες μετά τον κύριο σεισμό, όπου τα κτίρια, ιδιαίτερα τα πιο κατεστραμμένα, είναι ευάλωτα στις συνεχιζόμενες μετασεισμικές δονήσεις, η πρόσβαση σε πολλές από τις πληγείσες περιοχές δεν είναι εφικτή, λόγω των βλαβών στο οδικό δίκτυο, ενώ οι περισσότεροι άνθρωποι διακατέχονται από φόβο και πανικό. Η εκτίμηση και η διαχείριση των ζημιών μετά από σεισμό απαιτούν αξιόπιστες, ακριβείς και υψηλής ανάλυσης χωρικές πληροφορίες, ειδικά σε περιπτώσεις όπου σημειώθηκαν βλάβες στην κατασκευή (Wegscheider et al., 2013).

Η επιστήμη της γεωπληροφορικής, παρότι τα τελευταία χρόνια επεκτείνεται γρήγορα σε κλάδους τόσο των ανθρωπιστικών όσο και των φυσικών επιστημών, δεν διαθέτει τεκμηριωμένη μεθοδολογία για την εφαρμογή της σε επείγουσες καταστάσεις σε κλίμακα μικρών οικισμών. Λόγω των πολύ πρόσφατων εξελίξεων στους τομείς της υπολογιστικής όρασης και της φωτογραμμετρίας, αλλά και σε συνδυασμό με τις βελτιώσεις της επεξεργαστικής ισχύος των δεδομένων, ορθοφωτοχάρτες και ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DSM) μπορούν να παραχθούν με επίγεια μέσα ή και αεροφωτογραφία υψηλής ανάλυσης που λαμβάνεται μετά από σεισμό. Ο αλγόριθμος Structure from Motion (SfM) έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των τρισδιάστατων δεδομένων που μπορούν να προκύψουν από αλληλεπικαλυπτόμενες εικόνες και αλγόριθμους εξαγωγής μοντέλων εδάφους με βάση την εικόνα (Westoby et al., 2012).

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs) με τις μεγάλες δυνατότητες και την ευελιξία που παρέχουν, έχουν αξιοποιηθεί μετά τους σεισμούς του 2009 σε L'Aquila (Ιταλία), Αϊτή και του 2011 στην Ιαπωνία, για τη συλλογή εικόνων στη διαχείριση φυσικών καταστροφών και την διαχρονική παρακολούθηση των (Adams et Friedland, 2011). Τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα καθιστούν την φωτογραμμετρία με βάση τα UAVs, εξαιρετικά κατάλληλη για έρευνες σε περιβάλλον γεωγραφικού κινδύνου, όπως μετά από ένα σεισμό, καθώς παρέχουν ασφάλεια, περιορίζοντας τον ανθρώπινο κίνδυνο των εμπλεκόμενων φορέων, έχουν δυνατότητα προσέγγισης σε επικίνδυνες, λόγω της κατάστασης, περιοχές και λαμβάνουν υψηλής ανάλυσης φωτογραφίες και βίντεο (Dominici et al. 2017). Επιπλέον προσφέρουν ταχύτητα στην έρευνα, στην επεξεργασία του μεγάλου όγκου των δεδομένων που συλλέγουν και στην επαναληψιμότητα με εξαιρετικά χαμηλό κόστος.

Παράλληλα πολύ ακριβείς τρισδιάστατες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν άμεσα από τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων οργάνων, των Laser Scanners, επίγειων, εναέριων ή κινητών. Ένας

επίγειος ανιχνευτής λέιζερ (TLS) επιτρέπει την γρήγορη, υπό ασφαλείς συνθήκες, ακριβή και υψηλής ανάλυσης συλλογή πυκνών σημείων (points cloud) από την επιφάνεια οποιουδήποτε αντικειμένου, ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση των βλαβών μετά το σεισμό, αλλά και τη μορφολογική έρευνα των αρχιτεκτονικών όψεων των κτιρίων.

Σε καταστάσεις κρίσεων η ταχύτητα λήψης δεδομένων και αποφάσεων είναι ύψιστης σημασίας και επηρεάζεται σημαντικά από την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων και των παραγομένων από αυτά χαρτογραφικών προϊόντων. Η γρήγορη με ακρίβεια χαρτογράφηση περιοχών, μικρής ή μεγάλης έκτασης, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη διαχείριση των κρίσεων, διότι προσφέρει αξιόπιστα και ακριβή γεωχωρικά δεδομένα που αποτυπώνουν την υφιστάμενη, μετά την κρίση, κατάσταση. Τα χαρτογραφικά αυτά προϊόντα αξιοποιούν τις σύγχρονες τεχνολογίες, προτείνοντας την εφαρμογή νέων μεθοδολογιών και προσφέρουν δυνατότητες επιχειρησιακής δράσης και ενεργούς συνεργασίας με κυβερνητικούς και μη φορείς.

Το άρθρο αυτό περιγράφει τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία Τοπογραφικού διαγράμματος του οικοπέδου και του κτιρίου του Σχολείου Βρισάς με τη χρήση ορθοφωτοχάρτη από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) και δεδομένα από επίγειο Laser Scanner(TLS) μετά τον ισχυρό σεισμό της Λέσβου, 12 Ιουνίου 2017 (Mw = 6.3), που δημιούργησε σοβαρή ζημιά στο οικοδομικό απόθεμα του παραδοσιακού οικισμού της Βρισάς που καλύπτει έκταση περίπου 0,3 Km². Οι ζημιές ήταν εκτεταμένες και επηρεάστηκε περίπου το 80% των κτιρίων του οικισμού, τα περισσότερα των οποίων είναι παραδοσιακές οικιστικές κατασκευές από πέτρινες τοιχοποιίες που χτίστηκαν στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ανάμεσα σε αυτά ήταν και το επίσης πετρόκτιστο Δημοτικό Σχολείο του οικισμού, κατασκευασμένο στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή του Βόρειου Αιγαίου είναι μια έντονα τεκτονική περιοχή, με πολλά ενεργά ρήγματα και συχνή σεισμική δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, το νησί της Λέσβου κυριαρχείται από ενεργά ρήγματα προσελκύοντας το ενδιαφέρον των γεωεπιστημόνων για εφαρμογή καινοτόμων μεθοδολογιών γεωπληροφορικής και τηλεπισκόπησης (Novak and Soulakellis, 2000, Soulakellis et al., 2006).

Στις 12 Ιουνίου 2017 (UTC 12:28:38.26) σημειώθηκε σεισμός μεγέθους Mw 6.3 που έπληξε τη νότια ακτή της ν. Λέσβου στο ΒΑ Αιγαίου, η οποία ήταν έντονα αισθητή, προκάλεσε έναν θάνατο και κατέστρεψε σχεδόν το μισό χωριό Βρισά στα νότια ακτή του νησιού. Λιγότερες βλάβες αναφέρθηκαν σε τουλάχιστον 12 χωριά του υπόλοιπου νησιού, όλα όμως στο νότιο τμήμα του. Ο οικισμός της Βρισάς είναι κτισμένος εκατέρωθεν μιας μικρής κοιλάδας με κατεύθυνση ΝΑ-ΒΔ. Σύμφωνα με τους Lekkas et al. (2017), παρατηρήθηκαν πολύ βαριές δομικές βλάβες στο δυτικό τμήμα της Βρισάς, ενώ το ανατολικό τμήμα της παρέμεινε άθικτο. Ο γεωλογικός και γεωμορφολογικός χαρακτήρας της περιοχής μαζί με τα χαρακτηριστικά των κτιρίων έχουν προσδιοριστεί ως παράγοντες που επηρέασαν τη χωρική κατανομή των βλαβών των κτιρίων. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός πολύ ευάλωτων παλαιών δομών σε προσχωσιγενή κοιτάσματα και σε πλαγιές, σε μια περιοχή που οριοθετείται από σημαντικά ρήγματα σε συνδυασμό με πιθανά φαινόμενα κατευθυντικότητας, είχε ως αποτέλεσμα το μεγάλο εύρος της καταστροφής (Soulakellis et al., 2018).

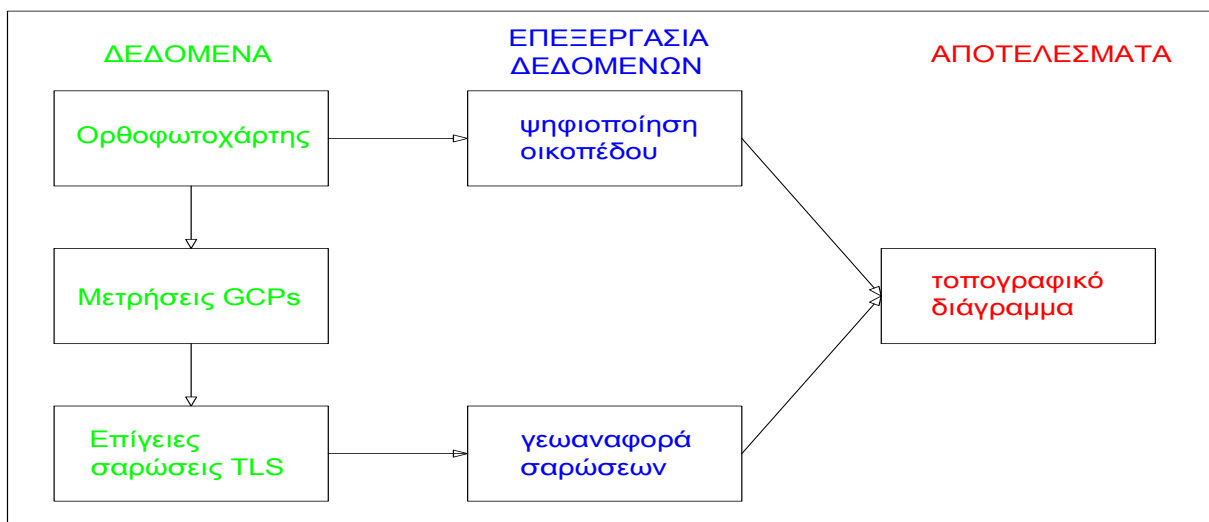
Τα περισσότερα κτίρια της Βρισάς (≈70%) υπέστησαν ζημιές, αρκετά κατέρρευσαν, ενώ πολλά υπέστησαν σοβαρές ζημιές, καθιστώντας αυτά ως επικίνδυνα και κατεδαφιστέα. Τα μνημεία, όπως οι μεταβυζαντινές εκκλησίες, υπέστησαν επίσης σοβαρές βλάβες στο στατικό τους φορέα. Μεταξύ των κτιρίων που υπέστησαν πολύ σοβαρές βλάβες ήταν και το Δημοτικό Σχολείο του οικισμού της Βρισάς, που βρίσκεται σε λόφο, στο νότιο τμήμα του χωριού και του οποίου κατέρρευσαν ολοκληρωτικά η βόρεια, η νότια και ανατολική πλευρά του(Χάρτης 1).



Χάρτης 1. Ορθοφωτοχάρτης οικισμού Βρίσας με σημειωμένο το οικόπεδο του Δημοτικού Σχολείου.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία Τοπογραφικού διαγράμματος του οικοπέδου και του κτιρίου του Σχολείου Βρίσας με τη χρήση ορθοφωτοχάρτη από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) και δεδομένα από επίγειο Laser Scanner(TLS) του οικισμού Βρίσας, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Διάγραμμα μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την δημιουργία Τοπογραφικού διαγράμματος του οικοπέδου και του κτιρίου του Σχολείου Βρίσας, μετά από σεισμό.

Η συλλογή των δεδομένων ξεκίνησε στις 13 Ιουνίου (λιγότερο από 24 ώρες μετά τον σεισμό) και διήρκεσε ένα μήνα, με τη συμμετοχή πολλών επιστημονικών ομάδων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν:

- α) Μετρήσεις RTK (Real Time Kinematics) με υψηλά ακρίβεια,
- β) υψηλής ανάλυσης εικόνες από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) με δακτύλιο πολλαπλών κάμερών,
- γ) νέφος σημείων από επίγειο Laser Scanner(TLS) και τον σχετικό εξοπλισμό του.

Κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά το στάδιο της απόκτησης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ποιότητας όλων των δεδομένων με στόχο την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας των αποτελεσμάτων. Τέλος, το παραχθέν τοπογραφικό διάγραμμα ελέγχθηκε από επιτόπιες μετρήσεις σε σημεία στα οποία ήταν δυνατόν ασφαλείς μετρήσεις.

3.1. Συλλογή Δεδομένων

Η απόκτηση δεδομένων ξεκίνησε στις 13 Ιουνίου 2017, την επόμενη ημέρα του σεισμού, κάτω από δύσκολες συνθήκες και λαμβάνοντας πρωτίστως σοβαρά υπόψη την ασφάλεια της ερευνητικής ομάδας. Κατά τις επόμενες εβδομάδες, σημειώθηκαν αρκετές δυνατές μετασεισμικές δονήσεις με μεγέθη που κυμαίνονται από 3,5 5,0 Mw, που οδήγησαν σε καταρρεύσεις τοίχων αλλά και κτιρίων, κατά τη διάρκεια της συλλογής.

3.1.1. Τοπογραφικές μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (RTK)

Ο προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK) είναι μια τεχνική του παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος (GNSS/GPS) που δίνει τη δυνατότητα μετρήσεων με ακρίβεια μερικών εκατοστών, σε περιοχή κοντά στο σταθμό βάσης. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται δύο δέκτες. Ο ένας(base) τοποθετείται στο σταθμό βάσης, με γνωστές συντεταγμένες X,Y,Z και μεταδίδει στον άλλον δέκτη(rover) τις διορθώσεις των σφαλμάτων από τις δορυφορικές λήψεις για την επίτευξη μεγαλύτερης οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας, στις θέσεις μέτρησης. Η περιοχή που καλύπτει η τεχνική RTK εκτείνεται σε απόσταση περίπου 10 χλμ. από το σταθμό βάσης και απαιτεί ένα κανάλι επικοινωνίας μεταξύ base και rover.

Το πρώτο σημαντικό βήμα στην παρούσα μεθοδολογία ήταν η δημιουργία περισσότερων επίγειων σημείων ελέγχου (GCP) στον οικισμό της Βρισάς, με πολύ μεγάλη χωρική ακρίβεια και κατάλληλη χωρική διανομή. Αυτά τα GCP είναι απαραίτητα για την γεωαναφορά όλων των αεροφωτογραφιών υψηλής ανάλυσης που ελήφθησαν από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) με δακτύλιο πολλαπλών κάμερών, καθώς και το προσδιορισμό με ακρίβεια των θέσεων σάρωσης από το TLS. Για το σκοπό αυτό, ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία:

Στον οικισμό Βρισά, λόγω της μορφολογίας του, καθώς αναπτύσσεται σε τρεις λόφους και δύο σχετικά επίπεδες επιφάνειες, δημιουργήθηκαν δύο Σταθμοί Βάσης(ΣΒ) με τη στατική μέθοδο (static), εξαρτώμενοι από το αντίστοιχη βάση του Ελληνικού Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου που βρίσκεται στην κορυφή του λόφου που ονομάζεται Κορώνα, νοτιοδυτικά του οικισμού Βρισάς, με συντεταγμένες $X = 689641,55$ $Y = 4322030,77$ και Υψόμετρο = 135,98.

Οι δύο Σταθμοί Βάσης τοποθετήθηκαν στους δύο λόφους στα όρια του οικισμού για να βρίσκονται υψηλότερα από το υπόλοιπο σύνολο των GCP και να επιτευχθεί καλύτερη και ακριβέστερη μέτρηση σε αυτά. Ο πρώτος Σταθμός Βάσης τοποθετήθηκε στην αυλή του Δημοτικού Σχολείου, στο οποίο εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της δημιουργίας του τοπογραφικού διαγράμματος μετά από σεισμό, με τη χρήση ορθοφωτοχάρτη από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) και δεδομένα από επίγειο laser scanner(TLS), οποίος απείχε 1,2 χλμ. από τη βάση του Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου, με οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,6 cm και υψομετρικό σφάλμα 0,7 cm. Ο δεύτερος Σταθμός Βάσης τοποθετήθηκε πολύ κοντά του μεταλλικού κωδωνοστασίου, μπροστά από

το μικρό εκκλησιάκι του νεκροταφείου του οικισμού σε απόσταση 1,4 χλμ. από τη βάση του Εθνικού Τριγωνομετρικού Δικτύου, με οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,5 cm και υψομετρικό σφάλμα 0,7 cm(Πίνακας 1).

Θέση	Γεωγρ. Μήκος	Γεωγρ. Πλάτος	Υψόμετρο	Οριζοντιογραφικό σφάλμα	Υψομετρικό σφάλμα
Σχολείο	4323057,155	690227,270	59,827	0,006	0,007
Νεκροταφείο	4323343,999	690587,606	72,964	0,005	0,007

Πίνακας 1.

Εντός του οικισμού Βρισά τοποθετήθηκαν εκατό πενήντα επτά (157) σημεία ελέγχου(GCPs), με πολύ μεγάλη ακρίβεια σε τρεις διαστάσεις (X, Y, Z), με τη χρήση RTK, με τη βάση να τοποθετείται σε ένα από τα 2 σημεία βάσης, ανάλογα με την περιοχή όπου τοποθετήθηκαν τα GCP, για καλύτερη λήψη και μεγαλύτερο αριθμό δορυφόρων, με μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,8 cm και μέσο υψομετρικό σφάλμα 1,3 cm (Εικόνα 3). Εβδομήντα τρία GCPs επισημάνθηκαν στο έδαφος με σταυρό από κόκκινο σπρέι και τοποθετήθηκε ένα μεταλλικό καρφί στο κέντρο του σταυρού, ενώ είκοσι οκτώ σημεία τοποθετήθηκαν στα μεταλλικά καπάκια των φρεατίων αποχέτευσης, για να υπάρχει η δυνατότητα εύκολου προσδιορισμού τους και μελλοντικά. Τα υπόλοιπα πενήντα έξι σημεία δεν επισημάνθηκαν στο έδαφος εξαιτίας της κατάρρευσης κτιρίων, αλλά μετρήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για γεωαναφορά των θέσεων TLS. Είκοσι από τα GCP, χρησιμοποιήθηκαν για την γεωαναφορά των φωτογραφιών που προέκυψαν από τις εικόνες UAV, με κατάλληλη χωρική κατανομή στον οικισμό, ενώ τριανταπέντε αποτέλεσαν σημεία ελέγχου της ακρίβειας των προϊόντων που δημιουργήθηκαν. Τέσσερα από αυτά, εντός του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου ήταν τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις λήψεις TLS.

3.1.2. Ορθοφωτοχάρτης από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV)

Την επόμενη μέρα από τον ισχυρό σεισμό, ένα UAV (εξακόπτερο) πέταξε πάνω από το χωριό Βρισά σε υψόμετρο 160μ. και κατέγραψε κατακόρυφες εικόνες, χρησιμοποιώντας μια φωτογραφική μηχανή Sony A5100 με σταθερό φακό εστιακού μήκους 19 mm. Κατά την περίοδο 13/07/2017-6/08/2017 πραγματοποιήθηκαν περισσότερες από 50 πτήσεις με διάφορα εναέρια μέσα και έναν συνδυασμό αισθητήρων για να επιτευχθεί χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης της υφιστάμενης περιοχής μελέτης και να παραχθούν μεγάλης χωρικής ανάλυσης ορθοφωτοχάρτες. Η χαρτογράφηση του χωριού Βρισά έγινε με πτήσεις σε διαφορετικά ύψη, για την καταγραφή των ζημιών στα κτίρια της περιοχής με τον βέλτιστο τρόπο. Στις 25 Ιουλίου 2017, ένα καινοτόμο, μη εμπορικό σύστημα με πολυκάμερες, μία κατακόρυφη και τρεις (3) πλάγιες (γωνία $\theta = 45^\circ$) τοποθετημένες στο κάτω μέρος, εμπρός, αριστερά και δεξιά, πέταξε με το εξακόπτερο, σε χαμηλότερο υψόμετρο (65μ.), λαμβάνοντας εικόνες υψηλής ανάλυσης από τις οποίες, με χρήση είκοσι από τα GCPs, με κατάλληλη χωρική κατανομή στον οικισμό, πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά τους και προέκυψε ο ορθοφωτοχάρτης που χρησιμοποιήθηκε στην μεθοδολογία της δημιουργίας του τοπογραφικού διαγράμματος.

3.1.3. Επίγεια σάρωση με λέιζερ (TLS)

Η επίγεια σάρωση με λέιζερ(TLS) αποδεικνύεται όλο και περισσότερο πρακτική τεχνολογία για την παροχή ακριβών και έγκαιρων εκτιμήσεων φυσικών αντικειμένων σε 3D μοντέλα. Η απόκτηση δεδομένων TLS, σε κλίμακα μικρών οικισμών, είναι δυνατή λόγω του μειωμένου κόστους των οργάνων, της βελτιωμένης εμβέλειάς τους, την ακρίβεια των μετρήσεων, καθώς και την αύξηση ικανότητα των λογισμικών και της υπολογιστικής ισχύος να επεξεργαστεί μεγάλα σύνολα δεδομένων.

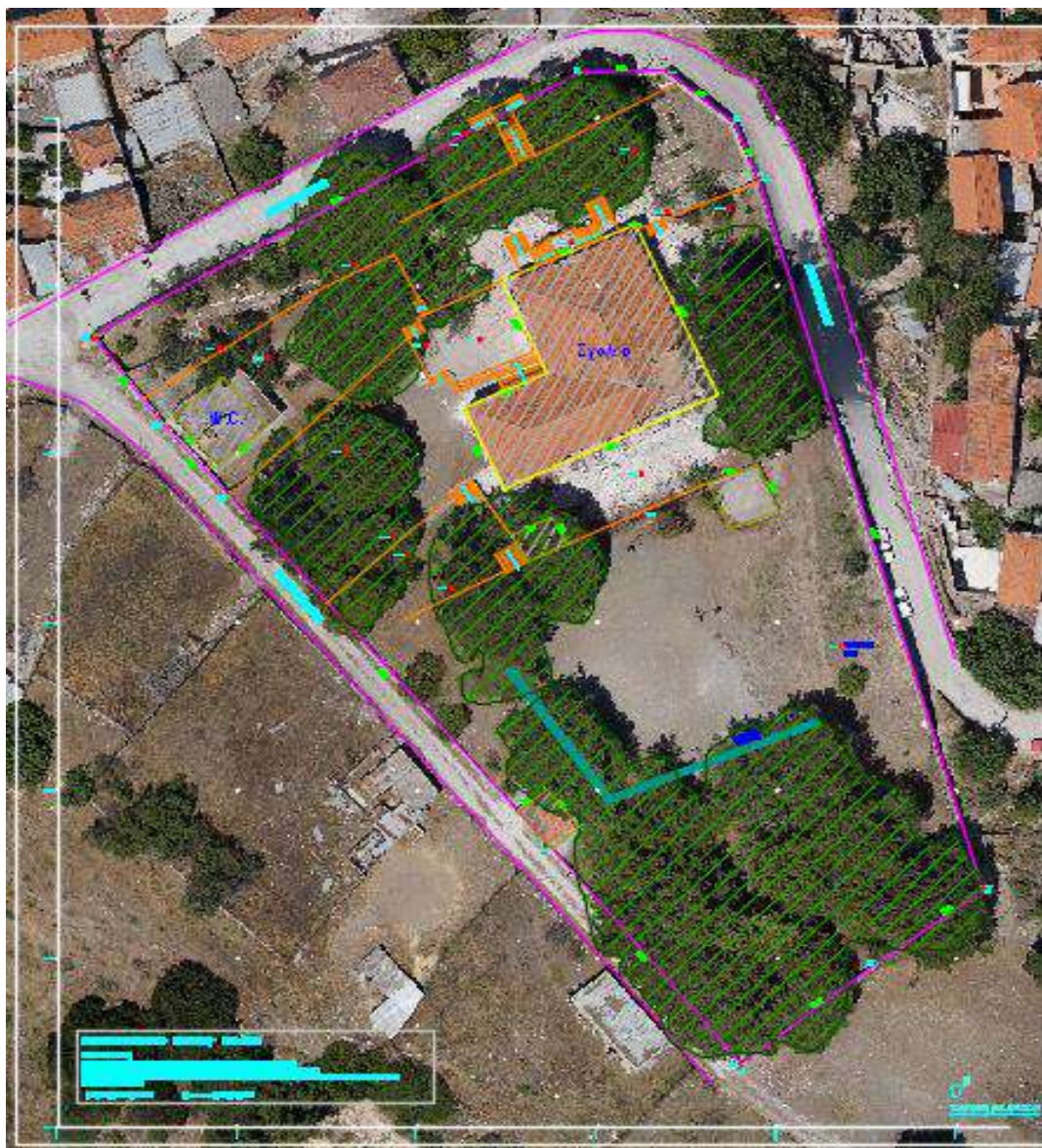
Ο σχεδιασμός των σαρώσεων έγινε με σκοπό να καλυφθεί ολόκληρος ο οικισμός με 140 επίγειες σαρώσεις, που είναι ο ελάχιστος αριθμός σαρώσεων, καθώς η εμβέλεια σάρωσης είναι <30 μ., με τις ελάχιστες δυνατόν αποκλίσεις, χωρίς χρήση τεχνητών στόχων, λόγω επικινδυνότητας και με επικάλυψη τουλάχιστον 30% μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων.

Βάσει των προαναφερθέντων κριτηρίων, κατά την περίοδο από 13 Ιουνίου 2017 έως 06 Ιουλίου 2017, πραγματοποιήθηκε η λήψη των δεδομένων TLS με τη χρήση σαρωτή λέιζερ με μετατόπιση φάσης, FARO Focus3D. Οι σαρώσεις έγιναν από προκαθορισμένες θέσεις, που είχαν μετρηθεί με RTK στο Ελληνικό Γαιωδευτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87) και η περιοχή σάρωσης ήταν ένας θόλος 360° οριζόντια και 305° κατακόρυφα, με μετρήσεις πυξίδας και κλισίμετρου και με χωρική ανάλυση 6,13 χιλ./10 μ. για κάθε σάρωση και μικρότερη από 1,5 εκ. για ολόκληρο τον οικισμό.

Τέσσερις από τις σαρώσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν εντός του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου, σε κατάλληλη απόσταση από κάθε μία από τις τέσσερις πλευρές του κτιρίου του Δημοτικού Σχολείου, συμβάλλοντας στην ακρίβεια της μεθοδολογίας της δημιουργίας του τοπογραφικού διαγράμματος.

3.2. Επεξεργασία Δεδομένων

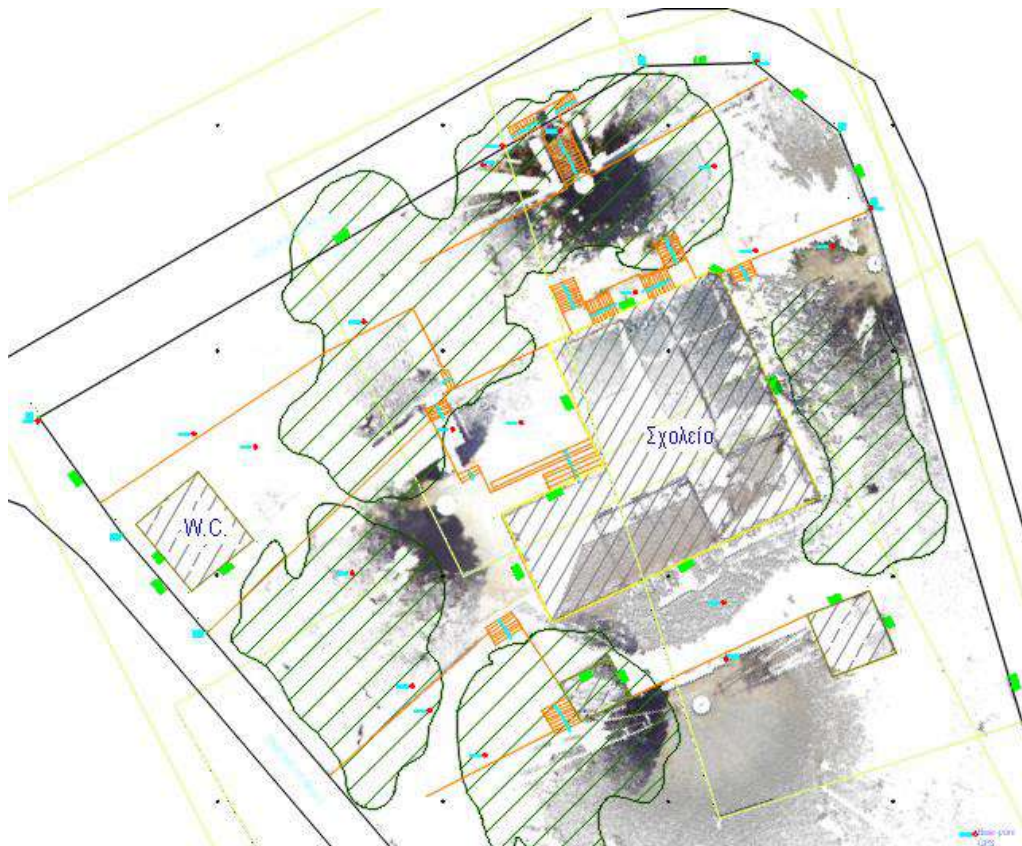
Για τον καθορισμό των ορίων του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου Βρίσας χρησιμοποιήθηκε



Σχέδιο 1. Το τοπογραφικό διάγραμμα του Δημοτικού Σχολείου με τον ορθοφωτοχάρτη.

ορθοφωτοχάρτης με χωρική ανάλυση 1,4 εκ. Από τον ορθοφωτοχάρτη ψηφιοποιήθηκε το περίγραμμα του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου Βρίσας σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), καθώς και το περίγραμμα του κτιρίου του Δημοτικού Σχολείου Βρίσας(Χάρτης 1). Παράλληλα έγινε προσπάθεια να αποτυπωθούν και οι αναβαθμίδες εντός του οικοπέδου, παρόλο που αυτό ήταν εξαιρετικά δύσκολο λόγω της ύπαρξης των δένδρων. Μετά την ψηφιοποίηση των στοιχείων του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου Βρίσας σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), το προϊόν εξήχθει σε διανυσματική μορφή .dwg, για να είναι δυνατή η επεξεργασία του σε λογισμικό AutoCAD. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η γεωαναφορά των ψηφιοποιημένων στοιχείων και ο ορθοφωτοχάρτης μπορεί να εισαχθεί στο ίδιο περιβάλλον με το προβολικό του σύστημα (ΕΓΣΑ) (Σχέδιο 1). Κατά την επεξεργασία των στοιχείων στο λογισμικό AutoCAD διορθώθηκε το περίγραμμα του κτιρίου, καθώς κατά την λήψη των αεροφωτογραφιών με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) αποτυπώνεται το περίγραμμα της στέγης το οποίο προεξέχει από τους τοίχους του κτιρίου κατά 25 εκ., ώστε να είναι ακριβέστερη η σχεδίαση των πλευρών του κτιρίου και ο ορθότερος ο υπολογισμός των διαστάσεων και του εμβαδού του.

Ακολουθως, οι τέσσερις γεωαναφερμένες λήψεις του κτιρίου με επίγειο σαρωτή λέιζερ, τοποθετούνται επί του σχεδίου με βάσει τις συντεταγμένες των σημείων από τις οποίες έγιναν αυτές(Σχέδιο 2). Η ταύτιση των στοιχείων από τη ψηφιοποίηση του ορθοφωτοχάρτη με τις επίγειες σαρώσεις από το επίγειο σαρωτή λέιζερ, μας οδηγεί στην διαπίστωση της ακρίβειας των μετρήσεων από τον συνδυασμό των δύο ανεξάρτητων μεθόδων αποτύπωσης. Οι σαρώσεις με επίγειο σαρωτή λέιζερ επειδή πραγματοποιήθηκαν από κοντινές στο κτίριο αποστάσεις, ενώ αποτυπώνουν με απόλυτη ακρίβεια τις πλευρές του κτιρίου δεν μπορούν να αποτυπώσουν πλήρως τις πλευρές του οικοπέδου, παρά μόνο σε μικρό σχετικά ποσοστό, που όμως βοηθά στην ακριβέστερη σχεδίαση του τοπογραφικού διαγράμματος και τον ορθότερο υπολογισμό των διαστάσεων και του εμβαδού του.



Σχέδιο 2. Χάρτης με τις θέσεις των επίγειων σαρώσεων εντός του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου.

3.2.1. Τοπογραφικές μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο (RTK) εντός του οικοπέδου

Εντός του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου Βρίσας και γύρω από το κτίριο του, τοποθετήθηκαν με τη χρήση RTK, τέσσερα (4) GCP, με πολύ μεγάλη ακρίβεια στις τρεις διαστάσεις (X, Y, Z), με τη βάση να τοποθετείται σε αυτή που βρισκόταν εντός του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου, με μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,8 cm και μέσο υψομετρικό σφάλμα 1,1 cm. Τα GCP αυτά αποτέλεσαν και τα σημεία από τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι επίγειες σαρώσεις λέιζερ, ώστε να γεωαναφερθούν οι σαρώσεις αυτές και να αποτελέσουν στοιχεία της μεθοδολογίας.

3.2.2. Ορθοφωτοχάρτης

Ο ορθοφωτοχάρτης παράχθηκε από τον αεροτριγωνισμό 1.050 αεροφωτογραφιών που ελήφθησαν από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα(UAV) από ύψος πτήσης 65 μέτρα καλύπτοντας το σύνολο του οικισμού της Βρίσας (0,296 χλμ²) έχει διαστάσεις 25.168 x 21.431 pixels με σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87 GGRS87/Greek Grid (EPSG:2100), ενώ περιέχει 3 χρωματικά κανάλια (RGB). Για την γεωαναφορά των δεδομένων επιλέχθηκαν 20 σημεία από τα 157 που είχαν υλοποιηθεί με μετρήσεις RTK, χωρικά καταναμημένα σε ολόκληρο τον οικισμό. Ο παραχθείς ορθοφωτοχάρτης του οικισμού της Βρίσας έχει μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα 0,8 εκ. κατά τον άξονα X και 1,5 εκ. κατά τον άξονα Y και μέσο υψομετρικό σφάλμα 1,6 εκ. κατά τον άξονα Z, ενώ το συνολικό μέσο σφάλμα είναι 1,4 εκ. το οποίο κρίνεται εξαιρετικό για την χρήση του.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το σημαντικό προϊόν που προέκυψε από τη παραπάνω περιγραφόμενη μεθοδολογία ήταν το τοπογραφικό διάγραμμα του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου της Βρίσας με τα εντός αυτού υπάρχοντα κτίσματα στο Ελληνικό Γαιωδελτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87)(Σχέδιο 3.).

Το τοπογραφικό διάγραμμα με μεγάλη χωρική ακρίβεια (<10cm), που προέκυψε σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, με τα υπάρχοντα δεδομένα μεγάλης ακρίβειας του ορθοφωτοχάρτη και των επίγειων σαρώσεων λέιζερ, έδωσε τη δυνατότητα στις αρμόδιες υπηρεσίες να έχουν μια πλήρη και σαφή άποψη για την επιλογή της πλέον ασφαλούς και κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση προκατασκευασμένων οικίσκων, προκειμένου να επαναλειτουργήσει το Δημ. Σχολείο του οικισμού σε σύντομο χρονικό διάστημα, το οποίο και έγινε πραγματικότητα, καθώς αυτό λειτούργησε στις 9/10/2017.

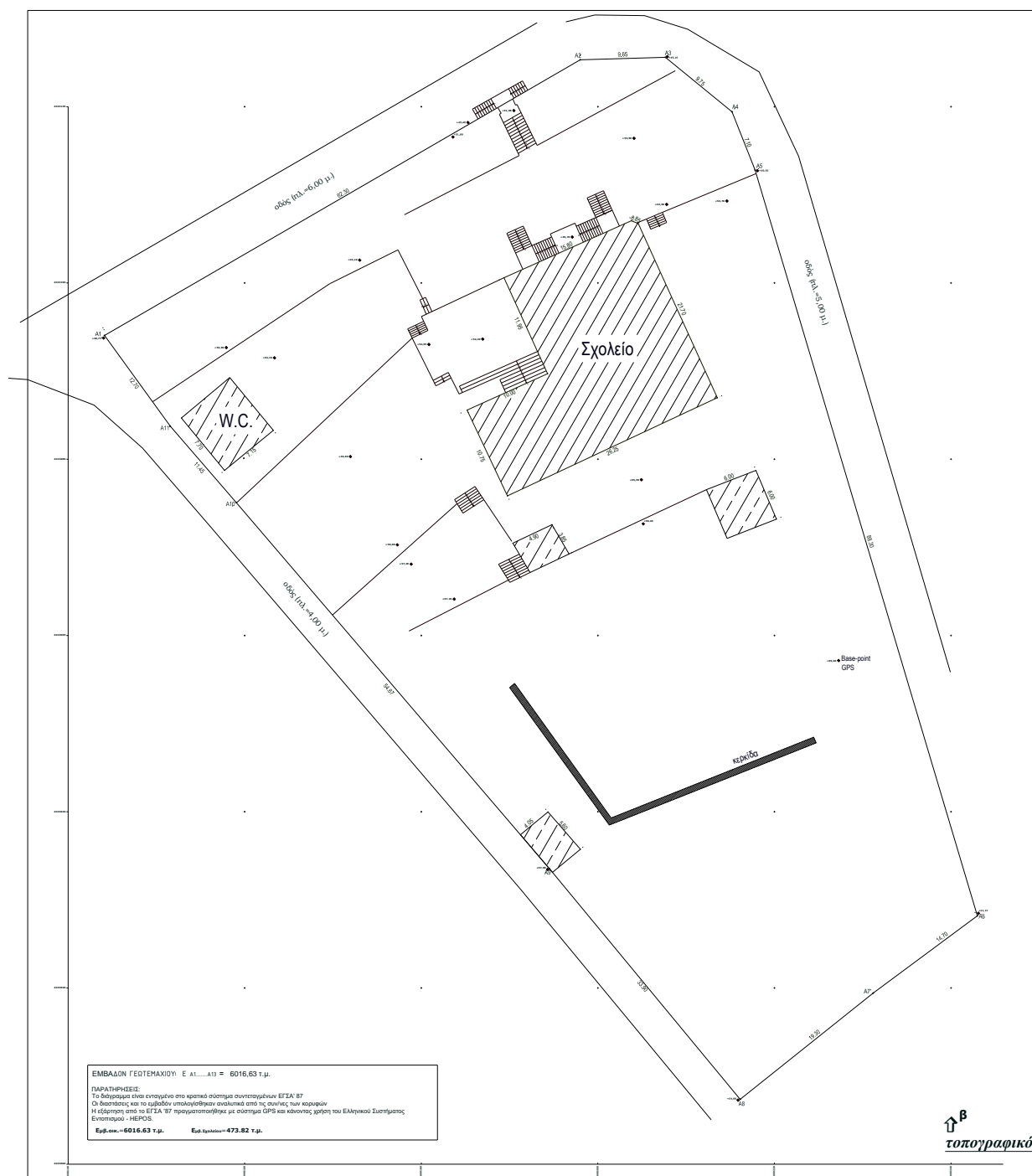
Η παρουσία σημαντικού αριθμού δένδρων εντός του οικοπέδου δημιούργησε δυσκολίες κατά τη λήψη των αεροφωτογραφιών, κυρίως στην αποτύπωση των ορίων του οικοπέδου, με αποτέλεσμα αυτό να δημιουργήσει προβλήματα στην ψηφιοποίηση τους. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίστηκαν σε μεγάλο βαθμό, από τα ορατά σημεία του περιγράμματος του οικοπέδου που ήταν διακριτά ανάμεσα στα φυλλώματα των δένδρων και λόγω της ευθυγραμμίας των τμημάτων των ορίων του οικοπέδου.

Η παρουσία των δένδρων, αλλά και η εγγύτητά τους στο κτίριο, αποτέλεσε πρόβλημα και στις επίγειες σαρώσεις λέιζερ, κυρίως στην κύρια, βόρεια όψη του Δημ. Σχολείου, αλλά και στις άλλες δύο πλευρές που υπέστησαν βλάβες, την ανατολική και τη νότια, ενώ στη δυτική, επειδή η απόσταση τους από αυτήν ήταν μεγαλύτερη, δεν αποτέλεσε ιδιαίτερο πρόβλημα. Στην μεθοδολογία όμως που εφαρμόστηκε αυτό δεν δημιούργησε δυσκολίες, καθώς το περίγραμμα του κτιρίου όπως και τμήματα των ορίων του οικοπέδου, είχαν αποτυπωθεί με σαφήνεια στις επίγειες σαρώσεις, γεγονός που συνετέλεσε στην καταγραφή των περιγραμμάτων αυτών στο τοπογραφικό διάγραμμα με μεγάλη ακρίβεια.

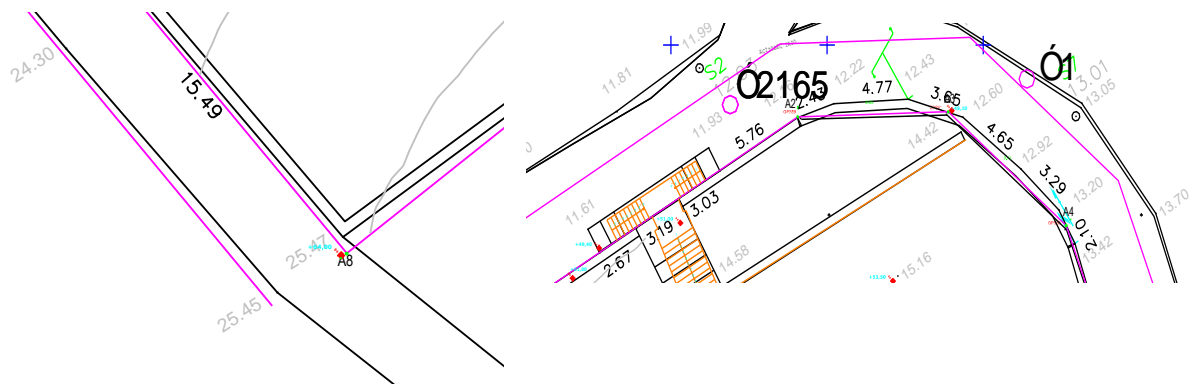
Στο τοπογραφικό διάγραμμα που προέκυψε από τη εφαρμοσθείσα μεθοδολογία υπήρχε αρχικά σχετική απόκλιση στα υψόμετρα του οικοπέδου, καθώς αφ' ενός εντός αυτού υπήρχαν αναβαθμίδες

και διαμορφώσεις, οι οποίες δεν ήταν ορατές, λόγω των φυλλωμάτων των υπαρχόντων δένδρων και αφ' ετέρου τα ληφθέντα σημεία ελέγχου GCP εντός του οικοπέδου ήταν λίγα, μόνο τέσσερα και συγκεντρωμένα γύρω από το κτίριο του Δημ. Σχολείου. Η διόρθωση επετεύχθει με την επιτόπου μέτρηση των αναβαθμίδων και των διαμορφώσεων, καθώς δεν ήταν εύκολη η τοποθέτηση, λόγω επικινδυνότητας, μεγαλύτερου αριθμού GCPs(≈20-25) εντός του οικοπέδου, που θα είχε επίσης επιλύσει το πρόβλημα της απόκλισης των υψομέτρων.

Ο έλεγχος της ακρίβειας του τοπογραφικού διαγράμματος που προέκυψε από την εφαρμογή της ανωτέρω μεθοδολογίας διαπιστώθηκε, μετά την άρση της επικινδυνότητας από το σεισμό, με επίγεια τοπογράφιση του οικοπέδου του Δημ. Σχολείου, μερικούς μήνες μετά(Σχέδιο 4.), από την οποία προέκυψε διαφορά 6,22 τ.μ. σε σύνολο οικοπέδου 6 στρ., ήτοι 6022,85 τ.μ. από την επίγεια τοπογράφιση έναντι 6016,63 τ.μ. με την εφαρμογή της μεθοδολογίας.



Σχέδιο 3. Τελικό σχέδιο τοπογραφικό διαγράμματος του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου.



Σχέδιο 4. Λεπτομέρεια διαφορών ανάμεσα στα τοπογραφικά διαγράμματα του οικοπέδου του Δημοτικού Σχολείου από την ανωτέρω μεθοδολογία και την επίγεια τοπογράφιση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κύριο συμπέρασμα από την παρούσα μελέτη είναι η δυνατότητα γρήγορου σχεδιασμού τοπογραφικού διαγράμματος ενός οικοπέδου μετά από σεισμό, αξιοποιώντας προϊόντα υψηλής ανάλυσης από διαφορετικές τεχνικές, όπως ορθοφωτοχάρτες και επίγειες λήψεις λείζερ.

Ο στόχος ήταν να αντιμετωπιστούν όλες οι δυσκολίες ενός μετασεισμικού σεναρίου, προκειμένου να εφαρμοστεί η καινοτόμος αυτή μεθοδολογία χαρτογράφησης, που παρέχει χαρτογραφικά προϊόντα με ταχύτητα, ακρίβεια και ασφάλεια στο σχεδιασμό.

Οι ορθοφωτοχάρτες που προέρχονται από το UAV μπορούν να παρέχουν την κατάλληλη πληροφορία για το σχεδιασμό ενός τοπογραφικού διαγράμματος με μεγάλη ακρίβεια (<10 εκ.), ενώ τα μοντέλα TLS είναι περισσότερο χρήσιμα στην καταγραφή των περιγραμμάτων, αλλά και των βλαβών των κτισμάτων, λόγω της μικρής εμβέλειας καταγραφής τους (<30 μ.).

Τέλος, συνάγεται ότι η παραπάνω μεθοδολογία παράγει σύγχρονα χαρτογραφικά προϊόντα, χρήσιμα για τη μετασεισμική διαχείριση και ανασυγκρότηση μιας πληγείσας περιοχής, αξιοποιώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες, προσφέροντας παράλληλα δυνατότητες επιχειρησιακής δράσης και ενεργούς συνεργασίας με κυβερνητικούς και μη φορείς. Επιπλέον η χαρτογράφιση μέρους ή ολόκληρου οικισμού που έχει υποστεί βλάβη από τον σεισμό είναι μεγάλης σημασίας, όσον αφορά την ανοικοδόμηση του, ιδιαίτερα σε παραδοσιακούς οικισμούς, που μεγάλο τμήμα τους θα υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις λόγω του σεισμού.

Βιβλιογραφία

Adams, S.M. and Friedland, C.J., 2011. A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management, In: *9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response*, Stanford University, California, USA

Agisoft, 2018. Agisoft PhotoScan User Manual, Professional Edition, Version 1.3, http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf (7 February 2018)

Chatzipetros, A., Kiratzi, A., Sboras, S., Zouros, N., and Pavlides, S., 2013. Active faulting in the north-eastern Aegean Sea Islands. *Tectonophysics*, 597-598, pp. 106-122.

Dominici, D., Alicandro M., and Massimi, V., 2017. UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), pp. 87-103 <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1176605>.

FARO, 2018. FARO SCENE: FARO's 3D Documentation Software for terrestrial and handheld Scanners, Version 7.0, <https://www.faro.com/products/product-design/faro-scene/> (7 February 2018).

Grünthal, G. (ed) 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, Luxembourg.

Huang, H, Long, J, Yi, W, Yi, Q, Zhang, G, and Lei, B., 2017. A method for using unmanned aerial vehicles for emergency investigation of single geo-hazards and sample applications of this method. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(11), pp. 1961-1979 <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1961-2017>.

Kiratzis, A., 2018. The 12 June 2017 Mw 6.3 Lesvos Island (Aegean Sea) earthquake: Slip model and directivity estimated with finite-fault inversion. *Tectonophysics*, 724-725, pp. 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.01.003>.

Lekkas, E., Carydis, P., Skourtsos, E., Mavroulis, S., Andreadakis, E., Antoniou, V., and Spyrou, N., 2017. Factors controlling the distribution of building damage in the traditional Vrissa settlement induced by the 2017 June 12, Mw 6.3 Lesvos (Northeastern Aegean Sea, Greece) earthquake. In: *8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA)*, 13-16 November, 2017, New Zealand.

Novak, I. and Soulakellis, N., 2000. Identifying geomorphic features using LANDSAT-5/TM data processing techniques on Lesvos, Greece. *Geomorphology*, 34(1-2), pp. 101-109 [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00003-9).

Snavely, N., 2011. Scene reconstruction and visualization from Internet photo collections. *IPSSJ Transactions on Computer Vision and Applications*, 3, pp. 44-66 <https://doi.org/10.2197/ipsjtcva.3.44>.

Snavely, N., Seitz, S.M., and Szeliski, R. 2008. Modeling the world from Internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*, 80(2), pp. 189-210 <https://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>.

Soulakellis, N., Novak, I., Zouros, N, Lowman, P. and Yates, J. 2006. Fusing Landsat-5/TM imagery and shaded relief maps in tectonic and geomorphic mapping: Lesvos Island, Greece. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(6), pp. 693-700.

Triggs, W., McLauchlan, P., Hartley, R., and Fitzgibbon, A., 1999. Bundle adjustment: A modern synthesis. In: *Vision Algorithms: Theory and Practice*, number 1883 in LNCS. Springer-Verlag. Corfu, Greece, pp. 298-373.

Wegscheider, S., Schneiderhan, T., Mager, A., Zwenzer, H., Post, J., Strunz, G., 2013. Rapid mapping in support of emergency response after earthquake events. *Natural Hazards*, 68(1), pp. 181-195 <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0589-y>.

Westoby, M.J., Brasington, J, Glasser, N.F., Hambrey, M.J., and Reynolds J.M., 2012. Structure-from-motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, pp. 300-314.

Xu, Z., Yang, J., Peng, C., Wu, Y., Jiang, X., Li, R., Zheng, Y., Gao, Y., Liu, S., Tian, B., 2014. Development of an UAS for post-earthquake disaster surveying and its application in Ms7.0 Lushan Earthquake, Sichuan, China. *Computers and Geosciences*, 68, pp. 22-30 <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.04.001>.

Soulakellis N., Chatzistamatis S., Vasilakos C., Tataris G., Papakonstantinou A., Kavroudakis D., Topouzelis K., Roussou O., Kalloniatis Ch., Papadopoulou E. E., Chaidas K., Kalaitzis P., 2018.

Synergistic Exploitation Of Geoinformation Methods For Post-Earthquake 3d Mapping Of Vrisa Traditional Settlement, Lesvos Island, Greece. In: *The International Archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-3/W4, 2018 GeoInformation For Disaster Management (Gi4DM), 18–21 March 2018, Istanbul, Turkey.
<https://www.researchgate.net/publication/323918509> SYNERGISTIC EXPLOITATION OF GEOINFORMATION METHODS FOR POST-EARTHQUAKE 3D MAPPING OF VRISA TRADITIONAL SETTLEMENT LESVOS ISLAND GREECE.