

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ
“Η Χαρτογραφία των Κρίσεων”
15^ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας – Θεσσαλονίκη, 31 Οκτωβρίου - 2 Νοεμβρίου 2018

Χάρτες επαυξημένης πραγματικότητας: συμβολή στην 3Δ οπτικοποίηση των επιπτώσεων ενός σεισμού.

Το παράδειγμα της πληγείσας περιοχής Βρίσας, Λέσβου

Παπαδοπούλου Ερμιόνη Ειρήνη¹, Χατζηθεοδώρου Χρήστος¹, Κασαπάκης Βλάσης²,
Σουλακέλλης Νικόλαος¹

¹ Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Λέσβος

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

Λέξεις κλειδιά: Επαυξημένος χάρτης, 3Δ γεωοπτικοποίηση, ΣμηΕΑ, Φωτογραμμετρία

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση εφαρμογής νέων μεθόδων και τεχνολογιών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα στην γεωοπτικοποίηση των επιπτώσεων ενός σεισμού στα κτήρια παραδοσιακού οικισμού. Η διερεύνηση πραγματοποιείται σε δύο κλίμακες: α) κλίμακα οικισμού και β) κλίμακα κτηρίου. Αναλυτικότερα, η συγκεκριμένη εφαρμογή εστιάζεται στη δημιουργία επαυξημένων χαρτών: α) του παραδοσιακού οικισμού της Βρίσας και β) του σχολείου των Βασιλικών Λέσβου, έπειτα από τον καταστροφικό σεισμό της 12ης Ιουνίου του 2017. Μέσω της αξιοποίησης Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) γίνεται η συλλογή φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης και με Real time kinematic system's (RTK) γίνονται μετρήσεις για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται σε κατάλληλα λογισμικά προκειμένου να δημιουργηθούν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα (3Δ) και ορθοφωτοχάρτες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Επιπλέον, προστίθεται θεματική πληροφορία στα τρισδιάστατα μοντέλα διαφορετική για κάθε χαρτογραφική κλίμακα. Ο συνδυασμός των παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα τους επαυξημένους χάρτες. Αυτό επιτυγχάνεται με την ψηφιακή αλληλεπίδραση ενός αναλογικού χάρτη και ενός 3Δ μοντέλου μέσω μίας φορητής κινητής πλατφόρμας. Η δυναμική τρισδιάστατη γεωοπτικοποίηση ολόκληρου του οικισμού αλλά και του σχολείου παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης των επιπτώσεων του σεισμού τόσο σε επίπεδο οικισμού όσο και σε επίπεδο μεμονωμένου κτηρίου από τους αρμόδιους φορείς.

Abstract

The purpose of this paper is to investigate new technologies such as the application of augmented reality in geo-visualization of the effects of an earthquake, on the buildings of a traditional settlement. This investigation is carried out on two scales: a) settlement scale, b) building scale. More specific, this application focuses on the creation of an augmented map showing the traditional settlement of Vrissa and of the Vasilika School of Lesbos following the devastating earthquake on June 12, 2017. High-resolution photographs were acquired with the use of Unmanned Aerial Systems (UAS), and high accuracy positioning measurements using Real Time Kinematic systems (RTK). These datasets were processed in appropriate software in order to create reliable 3D models and high spatial resolution orthophotographs. Additionally, thematic

information was added to the 3D models separately for each map scale. For the building scale the building’s dimensions, age and type of build material was projected at the model. Respectively for the map scale, blocked roads, places of interest and type of buildings were shown. The combination of the above results creates the augmented map. This is achieved by the digital interaction of the analogue map and the 3D models via a portable mobile platform. The dynamic three-dimensional visualization of the whole settlement as well as of the school, provides the opportunity to assess the impacts of the earthquake very accurate and with great detail.

1 Εισαγωγή

Ο σεισμός είναι μια φυσική καταστροφή, με τα ακόλουθα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά: α) δεν μπορεί να προβλεφθεί, β) μερικά δευτερόλεπτα από μια ισχυρή δόνηση μπορούν να προκαλέσουν τεράστια ζημιά σε μεγάλες περιοχές, γ) μπορεί να επηρεάσει όλες τις πτυχές της κοινωνίας και δ) οι επιπτώσεις του μπορούν να διαρκέσουν πολλά χρόνια (Soulakellis N, 2018).

Μετά την εμφάνιση ενός τέτοιου φαινομένου ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, η ταχεία και η ακριβής αξιολόγηση της κατάστασης των βλαβών είναι κρίσιμη για την ασφάλεια της περιοχής (W. Kim, 2016). Γενικότερα, η εκτίμηση των βλαβών μετά από μια φυσική καταστροφή, είναι μια χρονοβόρα διαδικασία αλλά κύριας σημασίας. Η άμεση αποτύπωση των επιπτώσεων του σεισμού παίζει καθοριστικό ρόλο στον αποτελεσματική ανταπόκριση των ομάδων διάσωσης και άλλων εμπλεκόμενων φορέων (Brunner et al., 2010).

Η χαρτογράφηση με επίγειες μεθόδους είναι αργή και συνήθως παρεμποδίζεται από δυσκολίες όπως η πρόσβαση στην τοποθεσία που σχετίζεται με την καταστροφή (Gerke and Kerle, 2011). Με τη χρήση των νέων τεχνολογιών, όπως τα Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί.

Τα ΣμηΕΑ αποτελούν ένα μέσο παρατήρησης και συλλογής δεδομένων περιοχών στις οποίες είναι δύσκολη ή επικίνδυνη η πρόσβαση (Yamazaki, 2017). Μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλής ποιότητας εικόνες ή βίντεο της περιοχής μετά από σεισμό, χρησιμοποιώντας μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή υψηλής ανάλυσης. Διαθέτουν επίσης τη δυνατότητα λήψης κάθετων και πλάγιων εικόνων, γεγονός που βοηθάει στον εντοπισμό βλαβών οι οποίες είναι δύσκολο να παρατηρηθούν επίγεια όπως σκεπές ή πλευρές κτηρίων οι οποίες δεν είναι ορατές από το δρόμο. Μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας των δεδομένων τα οποία συλλέγονται από τα ΣμηΕΑ είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων της περιοχής τα οποία μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες, για την κατάσταση του κτηρίου, του υλικού κατασκευής, του ύψους, του όγκου και διάφορων άλλων στοιχείων.

Για την αλληλεπίδραση του πραγματικού χώρου και ενός 3D μοντέλου το οποίο δημιουργείται απαιτείται η χρήση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας. Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι η υπέρθεση γραφικής ψηφιακής πληροφορίας πάνω σε εικόνες του πραγματικού κόσμου. Παρουσιάζοντας επιπρόσθετη πληροφορία στους χρήστες, ο πραγματικός κόσμος ενισχύεται ή επαυξάνεται, ιδιαίτερα εάν η πληροφορία είναι χωρική μπορεί να υποβοηθήσει τους χρήστες σε αρκετά επιστημονικά θέματα (Kamat, 2007). Ο κύριος σκοπός της επαυξημένης πραγματικότητας είναι να συνδυάσει πληροφορίες πραγματικού και εικονικού κόσμου και να παρέχει σε πραγματικό χρόνο αλληλεπίδραση με τους χρήστες (Azuma, 1997). Η αλληλεπίδραση αυτή επιτυγχάνεται συχνά με τη χρήση αντικειμένων τα οποία διαχειρίζονται οι χρήστες στον πραγματικό κόσμο ώστε να αλληλεπιδρούν με τον εικονικό. Η χρήση πραγματικών αντικειμένων δημιουργεί άμεσα μεταφορές, επιτρέποντας την ένταξη εννοιολογικών δομών που γνωρίζουν ήδη οι χρήστες από τον πραγματικό κόσμο, στον εικονικό. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας μεταφοράς είναι η χρήση ενός αναλογικού χάρτη για τη τοποθέτηση πάνω σε αυτόν ψηφιακής γεωγραφικής πληροφορίας, όπως οι διαστάσεις ενός κτηρίου, η θέση του καθώς και το υλικό κατασκευής του μέσω μιας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας (Billinghamurst 2002). Η σύνθεση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός επαυξημένου χάρτη.

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην αξιολόγηση των επιπτώσεων ενός σεισμού καθώς οι ζημιές προκαλούνται σε όλες τις πλευρές του κτηρίου και μπορεί να εμφανίζονται σε οποιαδήποτε διάστασή του όπως σε μια ολική ή μερική κατάρρευση στέγης, σε ρωγμές ή κεκλιμένους τοίχους (J. Fernandez Galarreta, 2015). Οι αρμόδιοι για την αξιολόγηση των επιπτώσεων μπορούν να λαμβάνουν τη συγκεκριμένη πληροφορία για το εκάστοτε κτήριο καθώς και την γενική εικόνα για ολόκληρη την περιοχή με ασφάλεια μέσω των επαυξημένων χαρτών (Volker, 2010). Για το λόγο αυτό διεθνώς η έρευνα εστιάζεται στο να διερευνήσει τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας σε διάφορους τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική και η χαρτογραφία.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει τις δυνατότητες εφαρμογής των επαυξημένων χαρτών σε περιπτώσεις κρίσης, έκτακτης ανάγκης και ιδιαίτερα στην δημιουργία γεωοπτικοποιήσεων, που θα υποβοηθήσουν το έργο των αρμοδίων φορέων που είναι επιφορτισμένοι στην αξιολόγηση των βλαβών από καταστροφικό σεισμό. Πιο συγκεκριμένα, στις 12 Ιουνίου 2017 σημειώθηκε σεισμός μεγέθους 6.3Mw που έπληξε τη Νήσο Λέσβο στο ΒΑ Αιγαίο, προκαλώντας σημαντικές ζημιές στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού και καταστρέφοντας εν μέρει το χωριό της Βρίσας (Kiratzi, 2018). Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας σε δυο χαρτογραφικές κλίμακες: α) κλίμακα οικισμού (1:700), με περίπτωση μελέτης τον παραδοσιακό οικισμό της Βρίσας, β) κλίμακα κτιρίου (1:50), με περίπτωση μελέτης το σχολείο των Βασιλικών Λέσβου.

2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή της Βρίσας βρίσκεται στο κατερχόμενο τμήμα του ρήγματος του Πολιχνίτου, το οποίο αποτελεί την κύρια τεκτονική δομή της πληγείσας περιοχής. Πρόκειται για μεγάλη γραμμική σειρά λόφων στις περιοχές μεταξύ Πολιχνίτου και Πλωμαρίου και σχετίζεται με τη γεωθερμική δραστηριότητα του Πολιχνίτου (Chatzipetros, 2013).



Χάρτης 1: Οικισμός της Βρίσας

Ο γεωλογική και γεωμορφολογική δομή της περιοχής όπου βρίσκεται ο οικισμός μαζί με τα χαρακτηριστικά των κτηρίων έχουν προσδιοριστεί ως παράγοντες που επηρέασαν τη χωρική

κατανομή των κτηρίων που έχουν υποστεί βλάβες. Σύμφωνα με τους Lekkas et al. (2017), παρατηρήθηκαν πολύ βαριές δομικές βλάβες στο δυτικό τμήμα της Βρίσας, ενώ το ανατολικό τμήμα της παρέμεινε σχεδόν άθικτο.

Το χωριό της Βρίσας ανακηρύχθηκε από το Ελληνικό κράτος ως «παραδοσιακός οικισμός» σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 208/2002, διότι, εκτός από το συνολικό αρχιτεκτονικό του ενδιαφέρον, είχε αξιόλογα αρχιτεκτονικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά και ήταν ένα εξαιρετικό παράδειγμα τοπικής λαϊκής αρχιτεκτονικής (S. Chatzistamatis, 2018). Ο οικισμός της Βρίσας επιλέχθηκε σαν περιοχή μελέτης για την χαρτογραφική κλίμακα 1:700.

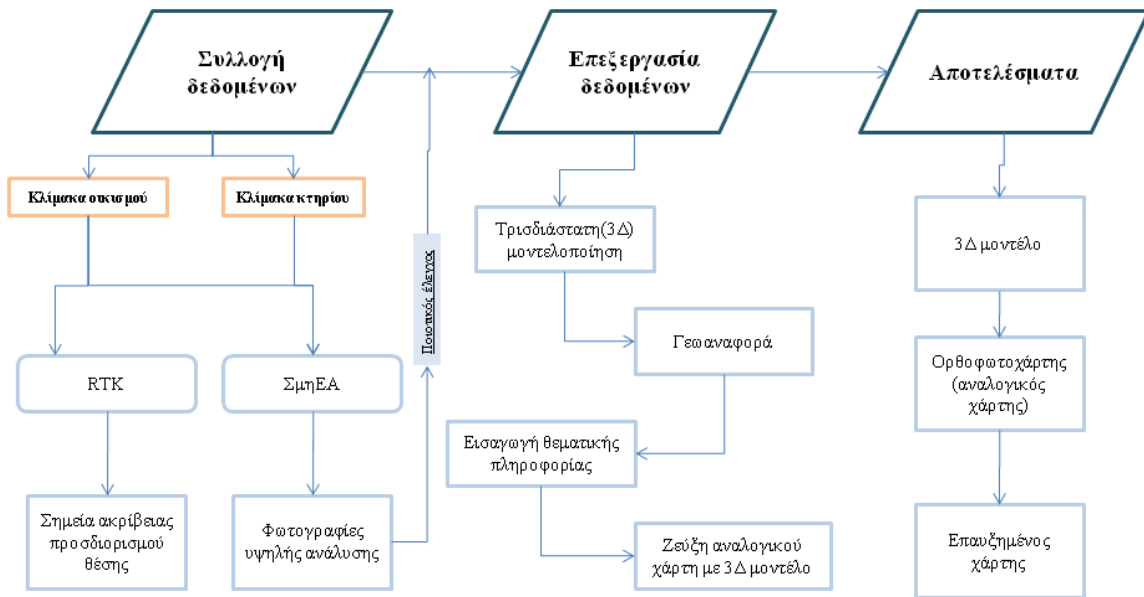
Η δεύτερη περιοχή η οποία επιλέχθηκε ήταν το Δημοτικό σχολείο των Βασιλικών (Εικόνα 1). Το χωριό των Βασιλικών βρίσκεται σε απόσταση 11 χλμ ανατολικά από τη Βρίσα. Τα θεμέλια του συγκεκριμένου κτιρίου ετέθησαν το 1931 ενώ η συνολική του κατασκευή ολοκληρώθηκε το 1935 όταν και έγινε η ίδρυσή του. Το οικόπεδο στο οποίο στεγάζεται είναι παρακείμενο του δρόμου και έχει έκταση 4,2 τετραγωνικά χλμ. Μετά τον καταστροφικό σεισμό της 12ης Ιουνίου εκτεταμένες ζημιές προκλήθηκαν στην πρόσοψη του κτιρίου αλλά και στην οροφή καταστρέφοντας ένα σημείο αναφοράς για τους κατοίκους του χωριού. Το σχολείο των Βασιλικών επιλέχθηκε σαν περιοχή μελέτης για την χαρτογραφική κλίμακα 1:50.



Εικόνα 1:Σχολείο των Βασιλικών

3 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται (Διάγραμμα 1) σκοπό έχει να δημιουργήσει μια αλληλουχία διαδικασιών η οποία θα οδηγήσει σε ακριβή και αξιόπιστα χαρτογραφικά προϊόντα καθώς και δυναμικές γεωοπτικοποιήσεις από δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν με ταχύτητα και ασφάλεια προκειμένου να διευκολύνει και να επιταχύνει την αξιολόγηση των βλαβών σε αστικό περιβάλλον μετά από έναν σεισμό. Το πρώτο στάδιο το οποίο είναι η συλλογή δεδομένων συμπεριλαμβάνει εναέρια μέσα ΣμηΕΑ για να εξασφαλίσει την ασφάλεια των αρμόδιων και μετρήσεις RTK για να εξασφαλίσει την ακρίβεια της θέσης τους. Ακολουθεί ο ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων τα οποία συλλέχθηκαν, για να κριθεί εάν αυτά είναι κατάλληλα και αξιόπιστα για την επεξεργασία τους. Η επεξεργασία των δεδομένων απαιτεί μια σειρά διαδικασιών η οποία είναι πρώτα η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων μέσω του αλγορίθμου Structure for Motion (SfM), ακολουθεί η γεωαναφορά τους και έπεται η εισαγωγή θεματικής πληροφορίας σε επαυξημένο περιβάλλον. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν.



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ροής εργασιών

3.1 Συλλογή δεδομένων

3.1.1 Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης με ΣμηΕΑ

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία αναφορικά με τον οικισμό της Βρίσας συλλέχθηκαν στις 13 Ιουνίου 2017 (μία ημέρα μετά τον καταστροφικό σεισμό) από την ομάδα του εργαστηρίου Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής του τμήματος Γεωγραφίας και του εργαστηρίου Θαλάσσιας Τηλεπισκόπησης του τμήματος Επιστημών της Θάλασσας του Πανεπιστημίου Αιγαίου (Α. Parakonstantinou 2018). Ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα Hexacopter (S900) με 4 συνολικά κάμερες, μια Sony A5100 (nadir), και τρεις Canon IXUS 160. Η συνολική έκταση η οποία χαρτογραφήθηκε ήταν 205.644 τετραγωνικά μέτρα. Για την κάλυψη της περιοχής πραγματοποιήθηκε πτήση σε υψόμετρο 160 μ. και η ανάλυση εδάφους υπολογίστηκε σε 3,28 cm/pix. Η πτήση σχεδιάστηκε με τρόπο τέτοιο ώστε οι αεροφωτογραφίες να έχουν μεταξύ τους επικάλυψη 80% οριζόντια και 80% πλάγια, κάθε πτήση διήρκησε 22 λεπτά (Parakonstantinou A, 2018). Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν 134 κάθετες φωτογραφίες οι οποίες λήφθηκαν από την Sony A5100.

Flight Date	13/7/2017	7/12/2017
Type	Ortho Vrisa	Elipse Vasilika
Time	12:00	11:35
Duration	18:38min	10 min
Altitude	160m.	20 m.
Type of UAV	Hexacopter	Quadcopter
Optical Sensor	Sony A5100	Camera DJI
Resolution	24.3 MP	12 MP
Focal Length	19mm	3.64mm
Sensor dimensions	Width: 23.5 mm Height:15.6 mm	Width:6.3mm Height:4.7mm
Pixel dimension	4.07 μ.m	1.55 μ.m
FOV direction	Ορθοφωτογραφίες	Πλάγιες
GSD	3.28 cm	0.09 cm
Batteries	1	1
Photographs	134	101
Distance	1680m	250m

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά ΣμηΕΑ

Για την συλλογή των αεροφωτογραφιών για το σχολείο των Βασιλικών χρησιμοποιήθηκε το Phantom DJI 4. Το τετρακόπτερο διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα με ανάλυση 12Μpx με αισθητήρα CMOS (1/2.3 inch) διαστάσεων 6.17 mm x 3.47 mm, ο προσαρμοσμένος φακός επιτρέπει οπτικό πεδίο 94° με σταθερό διάφραγμα f/2.8 και εστίαση στο άπειρο. Η κάμερα είναι προσαρμοσμένη σε έναν τριαξονικό σταθεροποιητή κίνησης προσαρμοζόμενης ευαισθησίας με ακρίβεια $\pm 0.02^\circ$. Ο σταθεροποιητής κίνησης επέτρεψε την μεταβολή στην κλίση της κάμερας κατά την διάρκεια των αυτοματοποιημένων πτήσεων παίρνοντας θέση από μηδέν έως ενενήντα μοίρες. Το Phantom 4 διαθέτει GPS καθώς και ένα εξελιγμένο σύστημα υπερήχων σε συνδυασμό με οπτική αναγνώριση για την ακριβή μέτρηση του ύψους έως και δέκα μέτρα αλλά και την αποφυγή εμποδίων. Η ακρίβεια θέσης του είναι ± 0.5 μέτρα κατακόρυφα και ± 1.5 μέτρα οριζόντια με την χρήση αποκλειστικά και μόνο του GPS και GLONASS διαφορετικά μειώνεται στα ± 0.1 μέτρα κατακόρυφα και ± 0.3 μέτρα οριζόντια.

Η πτήση πραγματοποιήθηκε σε ύψος 12 μέτρων και η επικάλυψη μεταξύ των φωτογραφιών ήταν σταθερή ανά ζεύγος, 85% πλάγια και 85% οριζόντια. Για τον σχεδιασμό της πτήσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Litchi όπου το τετρακόπτερο εκτέλεσε μια πτήση με ελλειπτικό



Εικόνα 2: Σχέδιο πτήσης για το σχολείο των Βασιλικών

σχήμα γύρω από το κτίριο και τράβηξε φωτογραφίες με πλάγια κλίση προς το κτίριο (Εικόνα 2). Στον παραπάνω πίνακα 1 φαίνεται το πλήθος των φωτογραφιών καθώς και τα χαρακτηριστικά των πτήσεων (Eisenbeiss 2008). Το σύνολο των φωτογραφιών που ελήφθησαν για το κτήριο του σχολείου ήταν 101 φωτογραφίες οι οποίες ήταν αρκετές για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου (Fiorillo 2008).

3.1.2 Σημεία Ελέγχου RTK

Για την σωστή τοποθέτηση των τρισδιάστατων μοντέλων στον πραγματικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν συστήματα RTK τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα τον ακριβή προσδιορισμό σημείων στην περιοχή μελέτης. Το RTK είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης για τον ακριβή προσδιορισμό μιας θέσης σε πραγματικό χρόνο. Στο έδαφος τοποθετήθηκαν σημεία ελέγχου ακρίβειας ορατά από τις φωτογραφίες (αεροφωτογραφίες, επίγειες) με κόκκινο χρώμα. Συνολικά τοποθετήθηκαν 157 σημεία ελέγχου και οι θέσεις αυτών επιλέχθηκαν με μεγάλη προσοχή περιμετρικά του οικισμού και στη συνέχεια διάσπαρτα μέσα σε αυτόν. Τα σημεία προσδιορισμού θέσης αξιοποιήθηκαν για την γεωαναφορά των τρισδιάστατων μοντέλων, για την δημιουργία των ορθοφωτοχαρτών αλλά και για τον έλεγχο ακρίβειας των 3Δ μοντέλων.

3.2 Επεξεργασία δεδομένων

3.2.1 Τρισδιάστατη μοντελοποίηση

Για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων της εν λόγω έρευνας εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος Structure from Motion (SfM) στα πρωτογενή δεδομένα, για την αποτύπωση ολόκληρου του οικισμού αλλά και του σχολείου των Βασιλικών. Αρχικά για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων έγινε εισαγωγή των φωτογραφιών σε φωτογραμμετρικό λογισμικό, ακολούθησε ο έλεγχος ποιότητας των εικόνων μέσω του οποίου τα πρωτογενή δεδομένα κρίθηκαν κατάλληλα για να συνεχίσει η επεξεργασία τους.

Ο αλγόριθμος SfM είναι μια τεχνική για την δημιουργία μιας τρισδιάστατης περιγραφής μιας στατικής σκηνής από μια πυκνή ακολουθία εικόνων. Αυτές οι εικόνες λαμβάνονται διαδοχικά ώστε να σχηματίζουν ένα στερεό μπλοκ δεδομένων, στο οποίο η χρονική συνέχεια από εικόνα σε εικόνα είναι περίπου ίση με τη χωρική συνέχεια σε μια μεμονωμένη εικόνα (Robert,1987). Μέσω του συγκεκριμένου αλγόριθμου υπολογίζονται τα τρισδιάστατα χαρακτηριστικά αντικειμένων, και δημιουργείται έναν τρισδιάστατο μοντέλο σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων από μια σειρά διαδοχικών εικόνων ήταν:

- α) η συνταύτιση χαρακτηριστικών σημείων στις επικαλυπτόμενες εικόνες χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) (Lowe, 2004),
- β) η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων (Oniga & Mangeron, 2017)
- γ) η δημιουργία τρισδιάστατου πλέγματος μέσω ακανόνιστου τριγωνικού δικτύου,
- δ) η απόδοση φωτορεαλιστικής υφής από πρωτότυπες εικόνες.

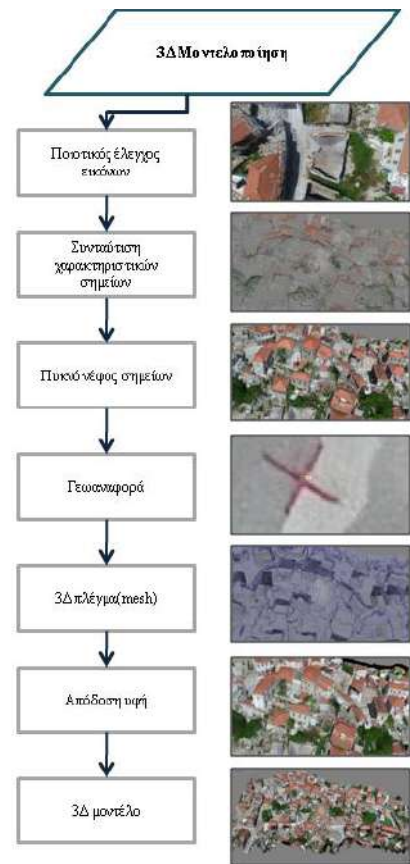
Στη συνέχεια τα τρισδιάστατα μοντέλα γεωαναφέρθηκαν με την χρήση σημείων ελέγχου χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που λήφθηκαν με τη χρήση RTK.

Για την φωτογραμμετρική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν λογισμικά (Photoscan/ Agisoft) και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ArcMap/esri).

3.2.2 Γεωαναφορά

Για την γεωαναφορά του 3D μοντέλου του οικισμού χρησιμοποιήθηκαν 18 επίγεια σημεία ελέγχου. Η ακρίβεια των σημείων τα οποία μετρήθηκαν με RTK ήταν λιγότερη των 3εκ. σε κάθε ένα από αυτά. Μετά τη δημιουργία του τρισδιάστατου νέφους σημείων, έγινε οπτικός έλεγχος για τον εντοπισμό των σημείων στις φωτογραφίες. Στη συνέχεια εκτελέστηκε εσωτερικός προσανατολισμός στις γωνίες ω , ϕ , κ για την ακριβή θέση των σημείων λήψης των φωτογραφιών, με τελική ακρίβεια θέσης του τρισδιάστατου μοντέλου στα 3εκ. Επιπλέον, έγιναν συνολικά 157 μετρήσεις πεδίου, όπου ορισμένες από αυτές χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο ακρίβειας γεωαναφοράς του 3D μοντέλου.

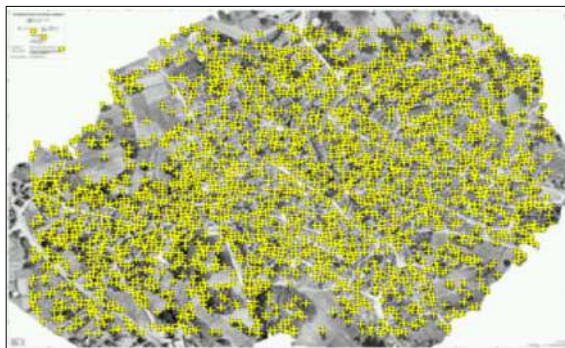
Σχετικά με τη γεωαναφορά του 3D μοντέλου του σχολείου των Βασιλικών λήφθηκαν υπόψη οι πληροφορίες θέσης από τα μεταδεδομένα των φωτογραφιών. Σαν αποτέλεσμα, η γεωμετρική διόρθωση έγινε αυτόματα, μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό επεξεργασίας καθώς ήταν ήδη γνωστή η θέση των προβολικών κέντρων. Τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα ορίστηκαν στο σύστημα συντεταγμένων World Geodetic System (WGS84) κοινό με τα δεδομένα θέσης των φωτογραφιών.



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής φωτογραμμετρικής επεξεργασίας

3.2.3 Εισαγωγή θεματικής πληροφορίας/ Ζεύξη αναλογικού χάρτη και 3Δ μοντέλου

Για τη δημιουργία του επαυξημένου χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό κατασκευής διαδραστικών εφαρμογών Unity 3D² καθώς και το λογισμικό κατασκευής εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας Vuforia³. Συγκεκριμένα, εισήχθη αρχικά ο ορθοφωτοχάρτης (αναλογικός χάρτης) στον ισότοπο του λογισμικού Vuforia σε μορφή εικόνας. Εκεί, το Vuforia μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας, αναγνώρισε και αποθήκευσε σημεία αναφοράς (feature points) της εικόνας του ορθοφωτοχάρτη (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.β**), προετοιμάζοντας τον έτσι ώστε να είναι αναγνωρίσιμος από το λογισμικό Vuforia ως Διακριτικό Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality Marker). Το διακριτικό επαυξημένης πραγματικότητας του ορθοφωτοχάρτη ανακτήθηκε στη συνέχεια από τον ιστότοπο του λογισμικού Vuforia και εισήχθη στο Unity 3D. Για την επίτευξη της σύνδεσης του διακριτικού επαυξημένης πραγματικότητας του ορθοφωτοχάρτη και του 3Δ μοντέλου του οικισμού, χρησιμοποιήθηκε το Vuforia Plugin⁴ για το Unity 3D. Αρχικά, εισήχθη το 3Δ μοντέλο του οικισμού στο Unity 3D. Στο σημείο αυτό, με τη χρήση εργαλείων του Unity 3D προστέθηκε θεματική πληροφορία στο 3Δ μοντέλο του οικισμού (π.χ. υπόμνημα, σημεία συντριμμίων και σημεία οδοφραγμάτων) στις κατάλληλες θέσεις με οπτικό εντοπισμό των θέσεων από τον ορθοφωτοχάρτη. Στη συνέχεια, μέσω του Vuforia Plugin το 3Δ μοντέλο του οικισμού ρυθμίστηκε έτσι ώστε να εμφανίζεται επάνω στο διακριτικό επαυξημένης πραγματικότητας του ορθοφωτοχάρτη, όταν αυτό αναγνωρίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά σημεία της εικόνας του, από την κάμερα της κινητής συσκευής στην οποία εκτελείται η όλη εφαρμογή. Το τελικό αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας



Εικόνα 4:(β) Σημεία αναφοράς ορθοφωτοχάρτη όπως αυτά δημιουργήθηκαν από το Vuforia.

δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να επαυξήσουν τον πραγματικό ορθοφωτοχάρτη με το 3Δ μοντέλο του οικισμού, πλησιάζοντας ακόμη και σε αρκετά κοντινή απόσταση την κινητή συσκευή ώστε να παρατηρήσουν λεπτομερώς το 3Δ μοντέλο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη δημιουργία της προβολής σε περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας του σχολείου των Βασιλικών, οι μετρήσεις του οποίου πραγματοποιήθηκαν στο τρισδιάστατο περιβάλλον του Photoscan της Agisoft.

4 Αποτελέσματα- Συζήτηση

4.1 Ορθοφωτοχάρτης

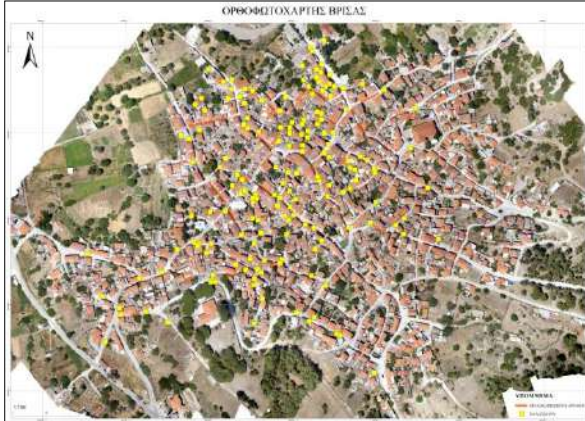
Ο ορθοφωτοχάρτης του οικισμού της Βρίσας που δημιουργήθηκε σε κλίμακα 1:700, αποτελείται από 28740x24488 pixel, έχει χωρική ανάλυση 7εκ., και ακρίβεια 5εκ. Ο συγκεκριμένος χάρτης κρίνεται κατάλληλος για μια γρήγορη εκτίμηση της κατάστασης που επικρατεί σε ολόκληρο των οικισμό καθώς απεικονίζει συνολικά 208.986 τετραγωνικά μέτρα. Λόγω της υψηλής χωρικής ανάλυσης καθιστά εφικτό να εντοπιστούν οπτικά χρήσιμες πληροφορίες όπως π.χ. μπλοκαρισμένοι δρόμοι, χαλάσματα, βλάβες στις σκεπές των κτηρίων καθώς και άλλες οι οποίες κατέρρευσαν εντελώς. Στα σημεία τα οποία εντοπίζονται είτε χαλάσματα είτε μπλοκαρισμένοι δρόμοι ενδέχεται τα κτήρια γύρω από αυτά να έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες ή να έχουν

² <https://unity3d.com/>

³ <https://www.vuforia.com/>

⁴ <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>

καταρρεύσει. Το συγκεκριμένο χαρτογραφικό προϊόν μπορεί να παρέχει σημαντική πληροφορία με περιορισμό όμως, τις δυο διαστάσεις. Ένα από τα μειονεκτήματα του δισδιάστατου αναλογικού χάρτη είναι πως δεν μπορεί να παρέχει πληροφορία για την τρίτη διάσταση και για ενδεχόμενες βλάβες οι οποίες μπορεί να βρίσκονται στις όψεις των κτηρίων και σε αετώματα. Συνεπώς δεν μπορεί μόνο με αυτό το χαρτογραφικό προϊόν να γίνει ολοκληρωμένη εκτίμηση των βλαβών για έναν οικισμό. Είναι ένα προϊόν το οποίο μπορεί να παραχθεί σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με πολύ υψηλή ανάλυση, μεγάλη ακρίβεια, και αποτελεί βασικό εργαλείο για τους αρμόδιους φορείς.



Χάρτης 2: Ορθοφωτοχάρτης οικισμού της Βρίσας(1:700)



Χάρτης 3: Ορθοφωτοχάρτης σχολείου Βασιλικών(1:50)

Ο ορθοφωτοχάρτης του σχολείου των Βασιλικών δημιουργήθηκε σε κλίμακα 1:50 αποτελείται από 28740x24488 pixel, έχει χωρική ανάλυση 7εκ., και ακρίβεια 5εκ. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου χάρτη είναι πως μπορούν να παρατηρηθούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τμήματα της σκεπής τα οποία κατέρρευσαν ή υποστεί βλάβες, από πολύ σημαντικές π.χ. καταρρεύσεις έως και ρωγμές. Οι βλάβες αυτές είναι δύσκολο να παρατηρηθούν από επίγειες θέσεις. Από την κατανομή των χαλασμάτων περιμετρικά του κτηρίου μπορεί να παρατηρηθεί ποιες πλευρές έχουν υποστεί μεγαλύτερη βλάβη, ενώ ανάλογα με το πλήθος των χαλασμάτων μπορεί να γίνει προσέγγιση για το μέγεθος της ζημιάς.

Ο ορθοφωτοχάρτης είναι ένα προϊόν όπου ειδικοί επιστήμονες μπορούν να εξάγουν πληροφορίες και να καταλήξουν σε ειδικότερα συμπεράσματα σχετικά με την επίπτωση του σεισμού. Το μειονέκτημα όμως παραμένει το ίδιο καθώς η πληροφορία παραμένει δισδιάστατη και κάθετη ως προς τη στέγη του κτηρίου.

Βέβαια η αξιολόγηση των βλαβών και η ταξινόμηση των κτηρίων σε επίπεδο καταλληλότητας δεν μπορεί να προκύψει μόνο από την κατάσταση της οροφής και χαλασμάτων περιμετρικά από το κτήριο, ειδικά σε περιπτώσεις που το κτήριο δεν έχει υποστεί κατάρρευση ή σοβαρή ζημιά στη στέγη αλλά οι πλευρές του έχουν υποστεί μεγάλες βλάβες.

4.2 Τρισδιάστατα μοντέλα

Το τρισδιάστατο μοντέλο του οικισμού της Βρίσας δημιουργήθηκε από 134 κάθετες φωτογραφίες. Το αραιό τρισδιάστατο νέφος σημείων αποτελούνταν από 165.705 σημεία, το πυκνό νέφος από 23.380.949 και το τρισδιάστατο πλέγμα από 1.515.717 επιφάνειες. Η χωρική ανάλυση του 3D μοντέλου ήταν 5cm, και η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου 6,9cm/pixel. Η ακρίβεια της γεωαναφοράς του 3D μοντέλου ήταν ανάλογη με του ορθοφωτοχάρτη <6cm. (Πίνακας 2).

Μέσω του τρισδιάστατου μοντέλου διευκολύνεται η αξιολόγηση των βλαβών σε έναν οικισμό καθώς παρέχει την πληροφορία της τρίτης διάστασης, του ύψους. Η μεγάλη χωρική ανάλυση και η λεπτομερή φωτορεαλιστική υφή, λόγω της υψηλής ποιότητας των φωτογραφιών, σε συνδυασμό με την τρίτη διάσταση κάνει εφικτή την παρατήρηση πλευρικών βλαβών στα κτήρια οι οποίες

μπορούν να εντοπιστούν οπτικά. Ένα πλεονέκτημα του 3D μοντέλου είναι πως δίνει την δυνατότητα μετρήσεων όχι μόνο αποστάσεων και επιφανειών αλλά και όγκου, όπως σε περιπτώσεις αξιολόγησης μπλοκαρισμένων δρόμων (Εικόνα 5), όπου ο υπολογισμός του όγκου των χαλασμάτων απαραίτητος και ύψιστης σημασίας για την άμεση μετακίνησή τους προκειμένου να δράσουν άμεσα τα σωστικά συνεργεία.

Επιπλέον μπορεί να παρατηρηθεί η γεωμορφολογία της συνολικής περιοχής και αν αυτή συνδέεται με την κατανομή των σπιτιών τα οποία εμφανίζουν βλάβες. Ανάλογοι επιστημονικοί κλάδοι μπορούν να μελετήσουν και να προσδιορίσουν εάν το ανάγλυφο της περιοχής συνετέλεσε στην κατάρρευση των κτηρίων στον οικισμό και να προσδιοριστεί πιο μέρος του οικισμού έχει πληγεί περισσότερο.

Τα αρνητικά του συγκεκριμένου χαρτογραφικού προϊόντος είναι πως χρειάζονται εξειδικευμένα λογισμικά για να προβληθεί το 3D μοντέλο καθώς και γνώσεις πλοήγησης σε τρισδιάστατο περιβάλλον.



Εικόνα 5: 3D μοντέλο του οικισμού της Βρίσας



Εικόνα 6: 3D μοντέλο του σχολείου των Βασιλικών

Αντίστοιχα το 3D μοντέλο του σχολείου στα Βασιλικά(Εικόνα 6) δημιουργήθηκε από 101 φωτογραφίες. Το αραιό τρισδιάστατο νέφος σημείων αποτελείται από 46.376 σημεία ενώ το πυκνό από 2.339.306 σημεία και το τρισδιάστατο πλέγμα από 155.950 επιφάνειες. Το τρισδιάστατο μοντέλο έχει χωρική ανάλυση 1.45εκ. και το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου 5.78εκ. Η ακρίβεια της γεωαναφοράς του μοντέλου είναι ανάλογη με του ορθοφωτοχάρτη με απόκλιση 20 εκ. (Πίνακας 2). Η απόκλιση αυτή οφείλεται στο σύστημα GPS του τετρακόπτερου.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένα 3D μοντέλο αυτής της κλίμακας είναι, όπως αναφέρεται και παραπάνω, αρχικά η μεγάλη χωρική ανάλυση και η φωτορεαλιστική τους υφή. Χάρη σε αυτά τα δύο χαρακτηριστικά είναι δυνατή η παρατήρηση της γεωμετρίας του κτηρίου, δηλαδή εάν έχει δεχτεί κάποια παραμόρφωση σε σχέση με την αρχική του καθετότητα ή έχει πάρει μια μονομερή κλίση, ή η ανάλυση στο σχηματισμό των ρωγμών στις όψεις του, οι οποίες είναι σημαντικές για την αξιολόγηση της κατάστασης του κτηρίου αλλά και για τον σχεδιασμό της κατεδάφισης ή ανακατασκευής του. Επιπλέον χαρακτηριστικά τα οποία είναι διακριτά στο τρισδιάστατο μοντέλο και βοηθούν τους μηχανικούς να κρίνουν τη στατικότητα του κτηρίου είναι τα διαζώματα, τα λίθινα περιθώρια και εάν αυτά έχουν δεχθεί μετατοπίσεις. Επιπλέον μέσω του 3D μοντέλου σε επίπεδο κτηρίου είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση για τα δομικά υλικά του αλλά και προσδιορισμός της ηλικίας του εκάστοτε κτηρίου. Ακόμα μπορούν να γίνουν μετρήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις, ακριβείς και υψηλής ανάλυσης σε σημεία όπου οι μηχανικοί/αρμόδιοι δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση και διαστάσεις που είναι αδύνατον να μετρηθούν από επίγεια θέση. Τα μειονεκτήματα του τρισδιάστατου μοντέλου στη συγκεκριμένη κλίμακα παραμένουν τα ίδια καθώς αυτό προέρχεται από φωτογραμμετρική διαδικασία και υπολείπεται προβολής θεματικής πληροφορίας.

Χαρακτηριστικά μοντέλων	Βρίσα	Βασιλικά
Αραιό νέφος σημείων	165.705	46.376
Πυκνό νέφος σημείων	23.380.949	2.339.306
Αριθμός επιφανειών	1.515.171	155.950
Χωρική ανάλυση τρισδιάστατου μοντέλου	5εκ.	1.45εκ.
Χωρική ανάλυση DEM	6.9εκ.	5.78 εκ.
Ακρίβεια θέσης μοντέλου	<6εκ.	20 εκ.
Αριθμός επιφανειών απλοποιημένων μοντέλων	750.500	155.950

Πίνακας 2:Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του κάθε μοντέλου

4.3 Επαυξημένοι χάρτες

Δημιουργήθηκαν δυο επαυξημένοι χάρτες σε δυο διαφορετικές χαρτογραφικές κλίμακες. Η πρώτη κλίμακα σε επίπεδο οικισμού 1:700 (Εικόνα 7). Ο χάρτης επαυξάνεται με δύο τρόπους, πρώτα με την εμφάνιση του τρισδιάστατου μοντέλου του οικισμού σε αντίστοιχη κλίμακα με του χάρτη και έπειτα με θεματική πληροφορία πάνω σε αυτόν. Η θεματική πληροφορία η οποία παρέχει είναι οι μπλοκαρισμένοι δρόμοι και παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα και γραμμικά καθώς και με κίτρινο χρώμα και σχήμα κύβου τα χαλάσματα.



Εικόνα 7: Επαυξημένος χάρτης οικισμού της Βρίσας, με θεματική πληροφορία των μπλοκαρισμένων δρόμων και των σημείων των χαλασμάτων

Ο επαυξημένος χάρτης (Εικόνα 8) του σχολείου των Βασιλικών αναφέρεται σε κλίμακα κτηρίου και επαυξάνει τον αναλογικό με το αντίστοιχο 3Δ μοντέλο και με θεματική πληροφορία η οποία περιγράφει το υλικό κατασκευής του καθώς και με μετρήσεις που έχουν γίνει πάνω σε αυτό με μεγάλη ακρίβεια.

Μέσω του επαυξημένου χάρτη δίνεται η δυνατότητα στον παρατηρητή να δει ταυτόχρονα πολλές πληροφορίες. Η θεματική πληροφορία σε συνδυασμό με το υψηλής ανάλυσης 3Δ μοντέλο διευκολύνει στην αντίληψη και κατανόηση της υφιστάμενης κατάστασης.



Εικόνα 8: Επαυξημένος χάρτης του σχολείου των Βασιλικών με θεματική πληροφορία για το υλικό κατασκευής, διαστάσεις και έτος κατασκευής

Μέσο της ζεύξης αυτών των δυο χαρτογραφικών προϊόντων και της επαύξησης του αναλογικού χάρτη γίνεται ευκολότερη η αντίληψη της θέσης του 3D μοντέλου, ο προσανατολισμός του στον γεωγραφικό χώρο και σε ποια πλευρά των κτηρίων εμφανίζονται βλάβες.

Ένα ακόμη θετικό της συγκεκριμένης μεθόδου γεωοπτικοποίησης είναι αρχικά πως δεν απαιτεί ακριβό και εξειδικευμένο εξοπλισμό για να προβληθεί, αυτό σημαίνει πως με τη χρήση απλά του εκτυπωμένου χάρτη και μιας κινητής πλατφόρμας ο χρήστης μπορεί να ανακαλέσει την πληροφορία οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε χώρο, για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα. Επιπλέον δίνει την ευελιξία στο χρήστη να παρατηρήσει το ψηφιακό μοντέλο από όλες τις πλευρές και τις οπτικές γωνίες καθώς η προβολή του μπορεί να γίνεται από πολλές συσκευές ταυτόχρονα, πάνω σε έναν αναλογικό χάρτη.

Αξίζει να τονισθεί ότι με τη συγκεκριμένη εφαρμογή (Vuforia), δεν υποστηρίζεται η αυτόματη σύνδεση με κάποια βάση δεδομένων, μέσα στην οποία να γίνεται η καταγραφή σχολίων σχετικά με ό,τι παρατηρείται πάνω στο επαυξημένο περιβάλλον. Επιπλέον μετρήσεις αποστάσεων, επιφανειών ή όγκου δεν μπορούν να γίνουν στο 3D μοντέλο κατά τη διάρκεια προβολής του πάνω στην κινητή πλατφόρμα (Volker Paelke 2010).

5 Συμπεράσματα

Η παραπάνω εργασία αποδεικνύει ότι με την αξιοποίηση σύγχρονων μεθόδων χαρτογράφησης είναι εφικτή η γεω-οπτικοποίηση των επιπτώσεων ενός καταστροφικού σεισμού σε δύο κλίμακες: α) οικισμού και β) κτηρίου. Αναλυτικότερα, η επαύξηση της πραγματικότητας σε συνδυασμό με τη τρισδιάστατη και θεματική χαρτογραφική πληροφορία μπορεί να διευκολύνει την εκτίμηση των επιπτώσεων - βλαβών των κτηρίων μετά από ένα σεισμό. Επιπλέον, η συλλογή των δεδομένων για τα παραγόμενα χαρτογραφικά προϊόντα γίνεται με ασφάλεια και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τα τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία προκύπτουν είναι αξιόπιστα, με μεγάλη χωρική ανάλυση και υψηλή ακρίβεια. Η συμβολή της επαυξημένης πραγματικότητας στη χαρτογραφία είναι ένα νέο πεδίο έρευνας το οποίο μπορεί να προσφέρει πολλά, όπως επιτόπια καταγραφή των βλαβών στο πεδίο, δημιουργώντας μια βάση δεδομένων με άμεση εφαρμογή και διαδραστικότητα στο φυσικό χώρο.

Με τη βοήθεια των νέων τεχνολογιών, όπως ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης της κινητής πλατφόρμας με τη χρήση υψηλής ακρίβειας GPS που θα διαθέτουν τα κινητά σε λίγα χρόνια και της εικόνας που λαμβάνει η κάμερα, θα υπάρχει δυνατότητα στο μέλλον να εμφανίζεται αυτόματα το τρισδιάστατο μοντέλο στο χρήστη και στη συνέχεια αυτός να μπορεί επιτόπου να κάνει τις μετρήσεις που επιθυμεί, δίχως να χρειάζεται τον αναλογικό χάρτη.

Συνοψίζοντας, οι νέες τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν σημαντικά σε περιπτώσεις κρίσης και έκτακτης ανάγκης, προσφέροντας 3D γεωοπτικοποιήσεις των επιπτώσεων φυσικών καταστροφών με υψηλή ανάλυση και ακρίβεια.

6 Βιβλιογραφία

Azuma, R. 1997, A survey of augmented reality, *Presence-Teleop Virt*, 6, 355–385,

A. Papakonstantinou, Doukari M., Moustakas A., Drolias G. Ch., Chaidas K., Rousou O., Athanasis N., Topouzellis K., N. Soulakellis, 2018, UAS multi-camera rig for post-earthquake damage 3D Geovisualization of Vrisa village

Billingham, Mark. "Augmented reality in education." *New horizons for learning 12.5* (2002). Eisenbeiss, H., & Institute (Eds.). (2008). *THE AUTONOMOUS MINI HELICOPTER: A POWERFUL PLATFORM FOR MOBILE MAPPING* (Vol. XXXVII, p. 8). *Beijing: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*

Fumio Yamazaki, Kasumi Kubo, Ryoto Tanabe, Wen Liu Department of Urban Environment Systems, Chiba, Japan (2017), DAMAGE ASSESSMENT AND 3D MODELING BY UAV FLIGHTS AFTER THE 2016 KUMAMOTO, JAPAN EARTHQUAKE

Fiorillo, F., Jiménez Fernández-Palacios, B., Remondino, F., and Barba, S., 2013. 3d Surveying and modelling of the Archaeological Area of Paestum, Italy. *Virtual Archaeology Review*, 4(8), pp. 55-60

Gerke, M. and Kerle, N.: 2011, Automatic structural seismic damage assessment with airborne oblique pictometry, *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 77, 885–898,.

http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/earthquake_booklet.pdf(εισαγωγή)

J. Fernandez Galarreta, N. Kerle, and M. Gerke, 2015 ,UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning,

Kiratzi, 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, 1–10

N. Soulakellis , S. Chatzistamatis , C. Vasilakos , G. Tataris , A. Papakonstantinou , D. Kavroudakis , K. Topouzelis, O. Roussou , Ch. Kalloniatas , E. E. Papadopoulou , K. Chaidas , P. Kalaitzis ,(2018) SYNERGISTIC EXPLOITATION OF GEOINFORMATION METHODS FOR POSTEARTHQUAKE 3D MAPPING OF VRISA TRADITIONAL SETTLEMENT, LESVOS ISLAND, GREECE

Oniga, E., & Mangeron, D. (2017). ACCURACY ASSESSMENT OF A COMPLEX BUILDING 3D MODEL RECONSTRUCTED FROM IMAGES ACQUIRED WITH A LOW-COST UAS, *XLII(March)*, 1–3.

S. Chatzistamatis, P. Kalaitzis , K. Chaidas , C. Chatzitheodorou , E.E. Papadopoulou , G. Tataris , N. Soulakellis 2018, FUSION OF TLS AND UAV PHOTOGRAMMETRY DATA FOR POST-EARTHQUAKE 3D MODELING OF A CULTURAL HERITAGE CHURCH

Vineet R. Kamat¹ and Sherif El-Tawil, 2007. Evaluation of Augmented Reality for Rapid Assessment of Earthquake-Induced Building Damage

J. Fernandez Galarreta, N. Kerle, and M. Gerke, 2015 ,UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning,

Volker Paelke _, Monika Sester ,2010,IKG Augmented paper maps: Exploring the design space of a mixed reality system

Institute of Cartography and Geoinformatics, Leibniz *University of Hanover*, Appelstr. 9a, 30167 Hannover, German