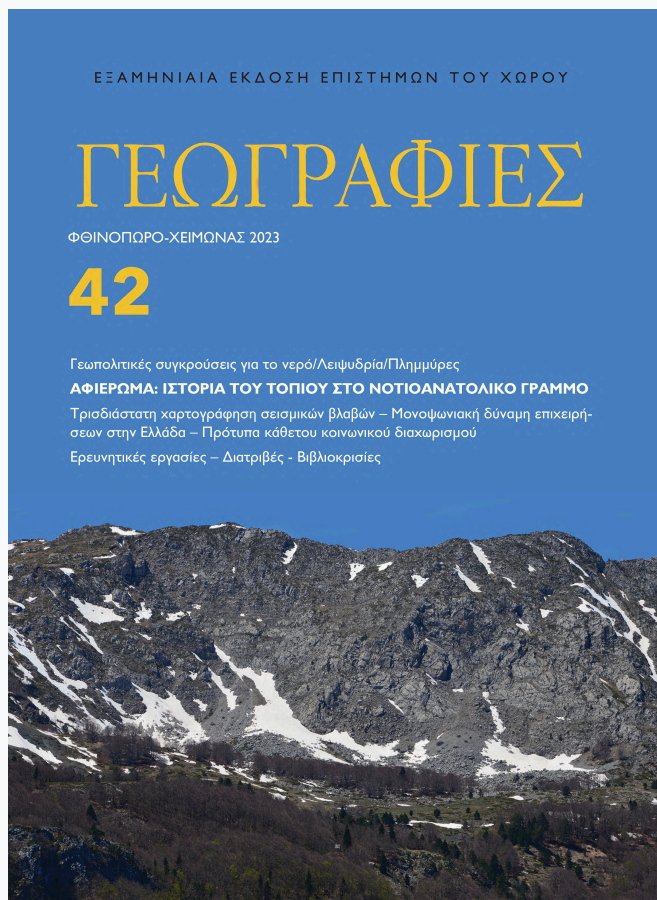


Γεωγραφίες

Αρ. 42 (2023)

Γεωγραφίες, Τεύχος 42, 2023



**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΛΑΓΙΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
ΣμηΕΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ
ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ
ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΟΥ
Β.ΑΙΓΑΙΟΥ**

*Γεώργιος Τάταρης, Κωνσταντίνος Χαϊδάς, Νικόλαος
Σουλακέλλης*

Α Λ Λ Α Ε Π Ι Σ Τ Η Μ Ο Ν Ι Κ Α Α Ρ Θ Ρ Α

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΛΑΓΙΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΜΗΕΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΤΟΥ Β. ΑΙΓΑΙΟΥ

Γεώργιος Τάταρης,¹ Κωσταντίνος Χαϊδίδας² και Νικόλαος Σουλακέλλης³

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της συμβολής και αξιοποίησης πλάγιων εικόνων που συλλέγονται με Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) στην τρισδιάστατη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών του σεισμού της 12ης Ιουνίου 2017, μεγέθους $M_w=6.3$, στον παραδοσιακό οικισμό της Βρίσας Λέσβου. Η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων επιτρέπει τον εντοπισμό εξωτερικών σεισμικών βλαβών των κατηγοριών από 3 έως 5, σύμφωνα με το EMS-98, καθώς παρέχουν μετρητική πληροφορία υψηλής ακρίβειας. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων επιτεύχθηκε με μετρήσεις πεδίου σε 5 κτίρια του οικισμού και με σαρώσεις από επίγειο σαρωτή σε αυτά.

Λέξεις-κλειδιά: τρισδιάστατη χαρτογράφηση, ΣμηΕΑ, σεισμική καταστροφή, τρισδιάστατη μοντελοποίηση, πλάγιες εικόνες

Investigation exploitation of side images from UAS for the three-dimensional mapping of external seismic damages at buildings in a traditional settlement at North Aegean

George Tataris, Konstantinos Chaidas, Nikolaos Soulakellis

Abstract

The purpose of this paper is to present the methodology for investigating the contribution and utilization of oblique images, collected with Unmanned Aircraft Systems (UAS) for the three-dimensional mapping of the serious external damages of the earthquake of June 12, 2017 magnitude $M_w = 6.3$, in the traditional settlement of Vrisa Lesvos. The creation of three-dimensional models of buildings, identification of external seismic damage of categories from 3 to 5, according to EMS-98, as they provide highly accurate measurement information. The evaluation of the results was achieved by field measurements at five buildings of the settlement as well as by scans from Terrestrial Laser Scanner (TLS).

1. Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, tataris@geo.aegean.gr

2. Υποψήφιος Διδάκτορας, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, k.chaidas@aegean.gr

3. Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, nsoul@aegean.gr

1. Εισαγωγή

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στην επιστήμη της χαρτογραφίας, καθιστώντας τη δημιουργία αξιόπιστης τρισδιάστατης γεωγραφικής πληροφορίας εφικτή και προσιτή ακόμα και σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες, όπως είναι για παράδειγμα η περίπτωση της χαρτογράφησης των σοβαρών εξωτερικών βλαβών ενός καταστροφικού σεισμού σε ένα παραδοσιακό οικισμό (Adams κ.ά. 2011). Η συνεργιστική αξιοποίηση των νέων μέσων συλλογής φωτογραφιών υψηλής διακριτικής ικανότητας με νέους αλγορίθμους υπολογιστικής όρασης έχει καταστήσει εφικτή την τρισδιάστατη μοντελοποίηση των κτιρίων οπτικοποιώντας αποδοτικά και τις σοβαρές εξωτερικές βλάβες που έχουν υποστεί από το σεισμό (Soulakellis κ.ά. 2019).

Αναλυτικότερα, τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) προσφέρουν τη δυνατότητα συλλογής εικόνων ή/και βίντεο υψηλής ανάλυσης με ασφάλεια σε σύντομο χρονικό διάστημα και με χαμηλό κόστος, ως εκ τούτου έχουν προσδώσει νέες προοπτικές στην προσπάθεια καταγραφής και χαρτογράφησης των κτιριακών βλαβών μετά από σεισμό (Huang κ.ά. 2017). Η κατάλληλη επεξεργασία των εικόνων με την εφαρμογή των αλγορίθμων Structure from Motion (SfM) και Patch-based Multi View Stereo (PMVS) οδηγεί στη δημιουργία τρισδιάστατης γεωγραφικής πληροφορίας με τη μορφή τρισδιάστατου νέφους σημείων (3d PointCloud), ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (ΨΜΕ) και ορθοφωτοχάρτη, υψηλής ανάλυσης (<5 εκ.) (Triggs κ.ά. 1999, Westoby κ.ά. 2012). Η ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης των τρισδιάστατων δεδομένων εξασφαλίζεται από την αξιοποίηση της τεχνολογίας GNSS και την εφαρμογή της μεθόδου Real Time Kinematics (RTK) με σημεία κατάλληλα κατανεμημένα γύρω και μέσα στην περιοχή μελέτης (Qang κ.ά. 2013, Stroner κ.ά. 2020).

Σημαντικό πλήθος εφαρμογών έχει ήδη δημοσιευθεί την τελευταία δεκαετία σε όλο και περισσότερες περιοχές στον πλανήτη που έχουν πληγεί από ισχυρούς σεισμούς. Ιδιαίτερα σε παραδοσιακούς οικισμούς της Ιταλίας (Baiocchi κ.ά. 2012), οι οποίοι έχουν υποστεί σημαντικές καταστροφές από σεισμική δραστηριότητα, αναπτύσσονται μεθοδολογίες τόσο για τη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών των κτιρίων όσο και για τη διαχρονική παρακολούθηση της φάσης αποκατάστασης (Tong κ.ά. 2012).

Η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη των ΣμηΕΑ καθώς και των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα λογισμικά

υλοποίησης των σχεδίων πτήσης, επιβάλλουν τη συστηματική διερεύνηση των παραμέτρων πτήσης που επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα της συλλογής των κατάλληλων δεδομένων/εικόνων για την τρισδιάστατη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό. Ιδιαίτερα, το ύψος πτήσης των ΣμηΕΑ, καθώς και η γωνία λήψης των φωτογραφιών αποτελούν δύο σημαντικές παραμέτρους που πρέπει να μελετηθούν, καθώς επηρεάζουν αποφασιστικά το τελικό αποτέλεσμα της χαρτογράφησης (Cheng και Matsuoka 2020).

Σε όλες τις περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητη η χαρτογραφική απεικόνιση απαιτείται πρωταρχικά η διερεύνηση ζητημάτων κλίμακας, σύμφωνα με το σκοπό χρήσης του παραγόμενου χάρτη ή της ψηφιακής γεωπτικοποίησης. Στην περίπτωση της χαρτογράφησης των σοβαρών εξωτερικών βλαβών ενός σεισμού στο κτιριακό απόθεμα ενός οικισμού, θα πρέπει να καθοριστεί ο βαθμός, καθώς και ο τύπος των εξωτερικών βλαβών των κτιρίων, που απαιτείται για να οπτικοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο διαφορετικά συστήματα αξιολόγησης των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό σε παραδοσιακά κτίρια:

1. Η Ευρωπαϊκή Μακροσεισμική Κλίμακα (European Macroseismic Scale, EMS-98) (Grünthal 1998), η οποία ταξινομεί τα κτίρια σε πέντε (5) κατηγορίες, αποτελεί βασικό οδηγό για την ταξινόμηση των βλαβών που μπορούν να παρουσιαστούν σε οριζόντιες (πατώματα), κάθετες (όψεις) ή κεκλιμένες επιφάνειες (στέγες) ενός κτιρίου με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία που υπέστη σεισμική καταπόνηση, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό των κτισμάτων σε παραδοσιακούς οικισμούς είναι ισόγεια ή διώροφα, κεραμοσκεπή κτίσματα, κατασκευασμένα κυρίως από δομικά υλικά της γύρω περιοχής.
2. Η Διεύθυνση Αποκατάστασης Επιπτώσεων Φυσικών Καταστροφών (ΔΑΕΦΚ) κατηγοριοποιεί τις βλάβες στα κτίρια από σεισμό σε τρεις (3) κατηγορίες. Τα κτίρια που είναι άμεσα κατοικήσιμα και δεν υπέστησαν καθόλου βλάβες ή μόνο τριχοειδείς ρωγμές, κατατάσσονται στην κατηγορία «Πράσινα», τα κτίρια που χρήζουν επισκευών, και παρουσιάζουν σοβαρότερες ρωγμές, αποκόλληση επιχρισμάτων και βλάβες στις στέγες ή στις καμινάδες, στην κατηγορία «Κίτρινα», ενώ στην κατηγορία «Κόκκινα» κατατάσσονται τα κτίρια με σοβαρές βλάβες ή καταρρεύσεις και πρέπει να κατεδαφιστούν.

Ούτε η κλίμακα EMS-98, ούτε ο ταχύς οπτικός έλεγχος καταλληλότητας των κτιρίων για χρήση που εφαρμόζει η ΔΑΕΦΚ, σύμφωνα με τις οδηγίες του ΟΑΣΠ καθώς δεν υπάρχει Ελληνικός Κανονισμός, βασίζονται απο-

κλειστικά σε βλάβες στο εξωτερικό περίβλημα ενός κτιρίου, τις οποίες αναγνωρίζει η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία, προκειμένου να εκτιμηθεί ο βαθμός βλάβης του κτιρίου, αλλά προφανώς λαμβάνουν υπόψη και βλάβες στο εσωτερικό των κτιρίων. Στην προτεινόμενη μεθοδολογία η εκτίμηση του βαθμού βλάβης στηρίχθηκε αποκλειστικά στις εξωτερικές σεισμικές βλάβες που εντοπίζονται από τις εικόνες των ΣμηΕΑ και συνδέονται με την 5βάθμια κλίμακα EMS-98, και όχι με την τριτοβάθμια κλίμακα της ΔΑΕΦΚ.

Στην εργασία αυτή διερευνάται η συμβολή των πλάγιων εικόνων που λαμβάνονται με ΣμηΕΑ για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κτιρίων μέσω νέφους σημείων. Η μεθοδολογία που ακολουθείται και εφαρμόστηκε σε πέντε (5) με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία κτίσματα του κεντρικού πυρήνα ενός παραδοσιακού οικισμού στο Β. Αιγαίο, επιτρέπει τον εντοπισμό του συνόλου σχεδόν των εξωτερικών σεισμικών βλαβών στα κτίσματα, καθώς και την παροχή μετρητικής πληροφορίας υψηλής ακρίβειας, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός, σε σύντομο χρονικό διάστημα, του βαθμού καταστροφής μετά από σεισμό σε παραδοσιακό οικισμό, με ανάλογη μορφολογία και τυπολογία.

2. Η συμβολή των ΣμηΕΑ στην καταγραφή του κτιριακού αποθέματος παραδοσιακού οικισμού για τη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό

Ανάλογα με το βαθμό και τον τύπο των βλαβών στα κτίρια είναι ενδεχόμενη η διαφοροποίηση της μεθοδολογίας συλλογής εικόνων με ΣμηΕΑ για τη χαρτογράφησή τους. Πιο συγκεκριμένα, για τη χαρτογράφηση περιοχών όπου τα κτίρια έχουν υποστεί βλάβες κατηγορίας 4 και 5 (πολύ σοβαρές εξωτερικές βλάβες και μερική ή ολική κατάρρευση κτιρίων, δηλαδή «κόκκινα») οι κατακόρυφες εικόνες από ύψος πτήσης 100-150 μ. είναι επαρκείς για τη χαρτογράφησή τους. Ενώ για τη χαρτογράφηση περιοχών όπου τα κτίρια έχουν υποστεί εξωτερικές βλάβες κατηγορίας 2 και 3 (μέτριες έως ουσιώδεις-σοβαρές βλάβες) είναι αναγκαία η συλλογή εικόνων από χαμηλότερο ύψος πτήσης καθώς και η λήψη πλάγιων εικόνων για τη χαρτογράφηση των βλαβών που υπάρχουν στην εξωτερική τοιχοποιία αυτών των κτιρίων. Οι βλάβες στις στέγες των κτιρίων (π.χ. πτώσεις καμινάδων, μετακινήσεις κεραμιδιών κ.ά.) είναι δυνατόν να χαρτογραφηθούν σε όλους τους παραγόμενους ορθοφωτοχάρτες. Αντίθετα, οι βλάβες στην τοιχοποιία (π.χ. πτώσεις επιχρισμάτων, δημιουργία εκτεταμένων ρηγματώσεων, μερική κατάρρευση τοίχων κ.ά.) είναι

δυνατόν να εντοπιστούν και χαρτογραφηθούν μόνο σε τρισδιάστατα μοντέλα των κτιρίων.

Η εκτίμηση, η καταγραφή και η χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών ενός σεισμού στο κτιριακό απόθεμα ενός οικισμού που έχει πληγεί, αποτελούν υψηλής προτεραιότητας ερευνητική δραστηριότητα, διότι στο αποτέλεσμά της στηρίζεται η λήψη μιας σειράς αποφάσεων, βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων. Βραχυπρόθεσμα εξασφαλίζουν την ασφάλεια και καθορίζουν την καταλληλότητα για κατοίκηση-χρήση των κτιρίων αμέσως μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Μακροπρόθεσμα οριοθετούν τις παρεμβάσεις οι οποίες απαιτούνται για την αποκατάσταση των βλαβών κάθε κτιρίου που έχει πληγεί από το σεισμό, αλλά και τη διαδικασία κατεδαφίσεων στα βαρέως πληγέντα κτίρια. Η λήψη των αποφάσεων αυτών οφείλει να υποστηριχθεί από αξιόπιστα χαρτογραφικά δεδομένα, που θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια σε σύντομο χρονικό διάστημα και με προσιτό οικονομικό κόστος και ασφάλεια.

Οι ορθοφωτοχάρτες μεγάλης χαρτογραφικής κλίμακας (1:100), που απεικονίζουν την υφιστάμενη κατάσταση λίγες ώρες/ημέρες μετά την εκδήλωση καταστροφικού σεισμού, συνεισφέρουν αποσπασματικά στην προσπάθεια εκτίμησης και τεκμηρίωσης των εξωτερικών βλαβών των κτιρίων, διότι σε αυτούς, αν και αποτυπώνονται με μεγάλη ακρίβεια οι στέγες των κτιρίων και ο περιβάλλον χώρος, δεν αποτυπώνεται με σαφήνεια η κατάσταση των όψεων των κτιρίων. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει η τρισδιάστατη χαρτογράφηση και η γεωοπτικοποίηση του οικισμού με τη δημιουργία τρισδιάστατων νεφών σημείων και εν συνεχεία τρισδιάστατων μοντέλων, τα οποία παρουσιάζουν αξιόπιστα τόσο τη γεωμετρία όσο και την υφή όλων των εξωτερικών επιφανειών, οριζόντιων ή κάθετων (Papakonstantinou κ.ά. 2018).

Η τρισδιάστατη χαρτογράφηση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας ΣμηΕΑ προϋποθέτει τη διερεύνηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συλλογή των εικόνων υψηλής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης. Οι παράμετροι είναι:

α) το ύψος πτήσης (ύψος σε μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους) του ΣμηΕΑ, που επηρεάζει άμεσα τη διακριτική ικανότητα των εικόνων (ground sampling distance, GSD) και κατά συνέπεια τη χαρτογραφική κλίμακα των ορθοφωτοχάρτων που δημιουργούνται από αυτές, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{κλίμακα φωτογραφίας} = \frac{\text{ύψος πτήσης από την επιφάνεια (h)}}{\text{εστιακή απόσταση του φακού της κάμερας (f)}}$$

β) η γωνία λήψης της κάμερας (f), που επηρεάζει άμεσα την αποτύπωση στις εικόνες των περιοχών με μεγάλες τιμές κλίσης, όπως οι πλαγιές ορεινών όγκων και σε αστικές περιοχές, των όψεων των κτιρίων.

3. Περιοχή μελέτης

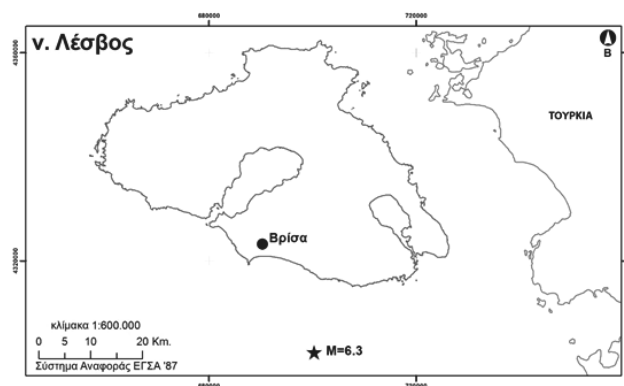
Ο χώρος του αρχιπελάγους του Αιγαίου αποτελεί δημιούργημα της τεκτονικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας επί δεκάδες εκατομμύρια χρόνια (Chatzipetros κ.ά. 2013). Ο νησιωτικός χώρος του είναι το αποτέλεσμα της δραστηριότητας αυτής η οποία συνεχίζεται αδιάκοπα μέχρι σήμερα (Novak και Soulakellis 2000, Soulakellis κ.ά. 2006). Σύγχρονες έρευνες αναδεικνύουν την αναγκαιότητα μελέτης του νησιωτικού χώρου με γνώμονα την εκτίμηση της τρωτότητας (Delladetsimas κ.ά. 2006), καθώς και την ενδεχόμενη αντιμετώπιση μιας σεισμικής δραστηριότητας σε νησιωτικό περιβάλλον που θα επιφέρει καταστροφές ιδιαίτερα σε παραδοσιακού οικισμού.

Η Βρίσα αποτελεί έναν από τους 23 παραδοσιακούς οικισμούς της νήσου Λέσβου και βρίσκεται στη νότια πλευρά του νησιού, χτισμένη σε παραποτάμια ιζήματα και στους πρόποδες τριών λόφων. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της οδήγησαν στο χαρακτηρισμό της ως παραδοσιακού οικισμού με το Π.Δ, 208/ΦΕΚ Δ'/19-3-2002, διότι πέραν του συνολικού αρχιτεκτονικού ενδιαφέροντος, διαθέτει αξιόλογα αρχιτεκτονικά και μορφολογικά στοιχεία που αποτελούν εξαιρετικό δείγμα τοπικής λαϊκής αρχιτεκτονικής.

Το κτιριακό απόθεμα του παραδοσιακού οικισμού της Βρίσας αποτελείται από κτίρια με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία, ισόγεια ή διώροφα, δομημένα από τοπικά υλικά, δηλαδή την πέτρα και το ξύλο. Λόγω του παραδοσιακού χαρακτήρα του οικισμού και του ότι ο οικισμός είναι στάσιμος με φθίνοντα πληθυσμό, συναντώνται πολύ λίγα κτίσματα από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς και ορισμένα μεικτής κατασκευής. Εσωτερικά υπάρχουν ελαφράς κατασκευής ξυλότοιχοι, που ανάλογα με την κατασκευή τους, χωρίζονται σε δύο τύπους, τους Τσατμάδες και τους Μπαγδασότοιχους ή Μπαγδατιά. Η πλειοψηφία των κτιρίων με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία του παραδοσιακού οικισμού της Βρίσας έχει ως επικάλυψη στέγη. Οι στέγες είναι κατά κανόνα

τετράριχτες, αλλά συναντώνται και λίγες τρίριχτες, δίριχτες, αλλά και μονόριχτες.

Στις 12 Ιουνίου 2017 και ώρα Ελλάδας 15:28 εκδηλώθηκε ισχυρός επιφανειακός σεισμός (βάθος≈11 χλμ.) μεγέθους $M=6,3$ κοντά στις νοτιοανατολικές ακτές της νήσου Λέσβου ($38,849^{\circ}B$ $26,306^{\circ}A$)(Papadimitriou κ.ά. 2018) (Χάρτης 1). Ο σεισμός έγινε αισθητός στην ευρύτερη περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου και της Τουρκίας και προκάλεσε περιορισμένες βλάβες στο κτιριακό απόθεμα των οικισμών της Λέσβου, ενώ στον παραδοσιακό οικισμό της Βρίσας οι καταστροφές ήταν ιδιαίτερα εκτεταμένες και υπήρξε απώλεια μιας ανθρωπίνης ζωής.



Χάρτης 1. Χάρτης τοποθεσίας του παραδοσιακού οικισμού Βρίσα, Λέσβου που υπέστη σοβαρότατες βλάβες από τον σεισμό της 12ης Ιουνίου 2017, $M_w=6.3$

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με στοιχεία της Εφορείας Νεωτέρων Μνημείων Λέσβου, μέχρι σήμερα έχουν κριθεί κατεδαφιστέα 327 από τα 1300 περίπου κτίσματα στη Βρίσα, ενώ για 102 κτίσματα έχουν κατατεθεί μελέτες για ανακατασκευή ή επισκευή. Υπάρχει επίσης σημαντικός αριθμός κτισμάτων με σοβαρές ή μέτριες βλάβες, για τα οποία οι ιδιοκτήτες τους δεν έχουν εκφράσει ενδιαφέρον για την επισκευή τους ή ακόμη και για την κατεδάφισή τους.

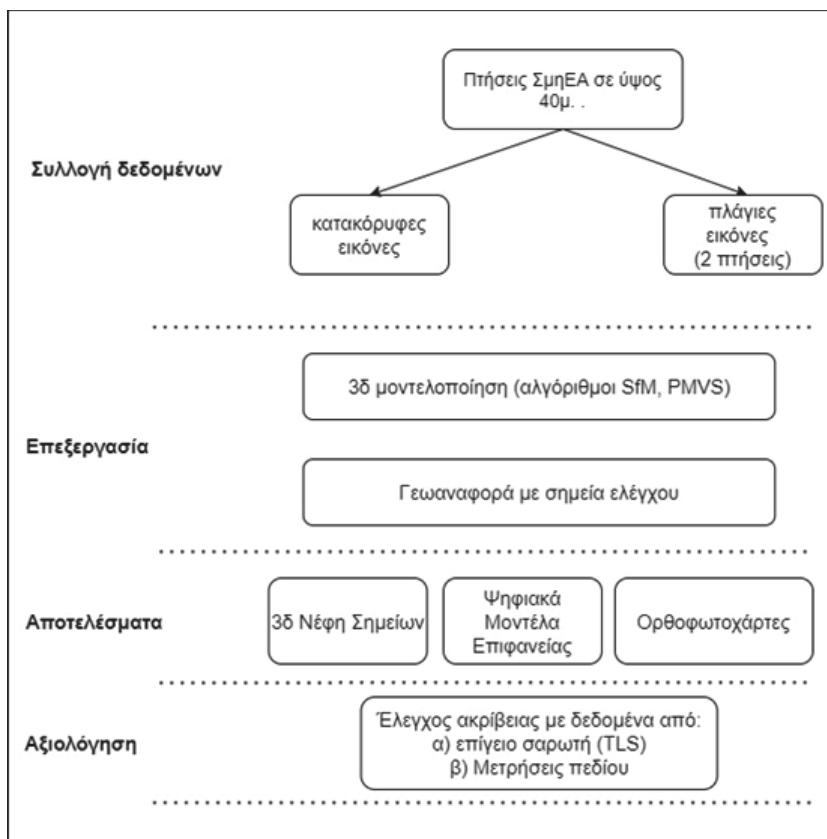
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δευτεροβάθμιου ελέγχου που πραγματοποιήθηκε από τη ΔΑΕΦΚ και παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, από τα 1.300 περίπου κτίσματα της Βρίσας τα 487 κρίθηκαν μη κατοικήσιμα (συνολικά ελέγχθηκαν 598 κτίρια).

Μετά την εκδήλωση του σεισμικού φαινομένου και από τις πρώτες ώρες, επιστημονικές ομάδες επισκέφθηκαν τον οικισμό της Βρίσας καταγράφοντας, ερευνώντας και χαρτογραφώντας τις επιπτώσεις του σεισμού, καθώς η συλλογή χωρικών δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας σε περιπτώσεις καταστροφικών γεγονότων (Kavroudakis κ.ά. 2018, Wegscheider κ.ά. 2013).

Εντός σύντομου χρονικού διαστήματος πραγματοποιήθηκαν πτήσεις ΣμηΕΑ από μεγάλο ύψος (160 μ.), (Parakonstantinou κ.ά. 2018), αποτυπώθηκαν οι προσόψεις όλων των κτισμάτων του οικισμού με επίγειο σαρωτή laser (TLS) (Chatzistamatis κ.ά. 2018), ενώ ταυτόχρονα φωτογραφήθηκαν και με κλασική φωτογραφική μηχανή (Vasilakos κ.ά. 2019). Τοποθετήθηκαν εντός του οικισμού και επί του οδικού δικτύου, κατάλληλα κατανεμημένα, 181 σημεία με διαφορικό GPS και με τη μέθοδο RTK, χρησιμοποιώντας ως βάση γεωδαιτικό βάθρο της ΓΥΣ σε παρακείμενο λόφο. Αυτά τα σημεία ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωαναφορά στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ '87, των χαρτογραφικών προϊόντων που παρήχθησαν. Με συνδυασμό των ανωτέρω δεδομένων, αξιοποιώντας φωτογραμμετρικούς αλγόριθμους και εφαρμόζοντας νέες μεθοδολογίες και τεχνικές, δημιουργήθηκαν τρισδιάστατα μοντέλα όλων των κτιρίων του οικισμού. Πραγματοποιήθηκαν παράλληλα γεωλογικές και σεισμολογικές έρευνες (Kiratzi 2018, Paradimitriou κ.ά. 2018) ενώ καταγράφηκαν με εργασία πεδίου, οι βλάβες σε όλα τα κτίσματα του οικισμού (Lekkas κ.ά. 2017) και έγιναν μετρήσεις σε σημαντικό αριθμό από αυτά.

Στην πορεία του χρόνου εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία διαχρονικής παρακολούθησης της φάσης αποκατάστασης του οικισμού, η οποία συνεχίζεται έως και σήμερα. Σε τακτά χρονικά διαστήματα, περίπου ανά τρίμηνο, πραγματοποιούνται πτήσεις ΣμηΕΑ από μέσο ύψος (85 μ.), ολόκληρου του οικισμού με συγκεκριμένο σχέδιο πτήσης, για να είναι δυνατή η σύγκριση των δεδομένων που λαμβάνονται. Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή η λεπτομερής καταγραφή της διαδικασίας κατεδάφισης του μεγάλου αριθμού κτιρίων που είχαν υποστεί σοβαρές βλάβες και είχαν κριθεί από τον ταχύ οπτικό έλεγχο καταλληλότητας των κτιρίων της ΔΑΕΦΚ ως κατεδαφιστέα. Παράλληλα, καταγράφεται η πορεία ανέγερσης των νέων κτισμάτων στη θέση των παλαιών, είτε ως είχαν είτε με τροποποιημένο το περίγραμμα ή τη μορφή τους ή και τα δύο (Soualakellis κ.ά. 2020, Tataris κ.ά. 2020).

Καθ' όλη τη διάρκεια από το σεισμό μέχρι και σήμερα, σημαντικός αριθμός επιστημόνων εξακολουθεί να ερευνά, να αναπτύσσει νέες μεθοδολογίες και να



Σχήμα 1. Διάγραμμα μεθοδολογίας για την διερεύνηση της συμβολής των πλάγιων φωτογραφιών στην τρισδιάστατη χαρτογράφηση σεισμικών βλαβών.

δημιουργεί καινοτόμα προϊόντα που στοχεύουν στη βελτίωση της απόκρισης της κοινωνίας σε όλες τις φάσεις ενός ισχυρού σεισμικού φαινομένου, δηλαδή πριν, κατά τη διάρκεια, αλλά κυρίως μετά την εκδήλωση του σεισμικού φαινομένου (Xu κ.ά. 2014, Dominici κ.ά. 2017, Mavroulis κ.ά. 2019, Chaidas κ.ά. 2020).

3. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να διερευνηθεί η συμβολή των πλάγιων εικόνων στην τρισδιάστατη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό σε παραδοσιακό οικισμό περιγράφεται παρακάτω στο Σχήμα 1 και περιλαμβάνει τέσσερα στάδια:

1. Στάδιο σχεδιασμού πτήσεων και συλλογής κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων με πτήσεις ΣμηΕΑ.
2. Επεξεργασία κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων.
3. Δημιουργία διςδιάστατων και τρισδιάστατων γεωπτικοποιήσεων.

4. Αξιολόγηση με μετρήσεις πεδίου και επίγειες σαρώσεις TLS.

3.1 Δημιουργία σχεδίου πτήσης ΣμηΕΑ και συλλογή εικόνων

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η συλλογή εικόνων υψηλής ανάλυσης με ΣμηΕΑ, που να πληρούν τις προδιαγραφές για περαιτέρω επεξεργασία και δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, απαιτείται η δημιουργία σχεδίου πτήσης με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών. Για την περίπτωση του παραδοσιακού οικισμού της Βρίσας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό LitchiHub.

Το ύψος πτήσης για την παρούσα εργασία αποφασίστηκε να είναι τα 40 μ. από το έδαφος, διότι για τον παραδοσιακό οικισμό της Βρίσας κρίθηκε ως το χαμηλότερο ασφαλές ύψος πτήσης. Οι εικόνες που λαμβάνονται από το ΣμηΕΑ (Phantom 4 Pro) σε ύψος 40 μ. έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: α) GSD: 1 εκ., β) διαστάσεις εικόνας στο έδαφος (59 μ. επί 39 μ.).

Στη συνέχεια, σημαντικό στοιχείο του σχεδίου πτήσης είναι η χάραξη της πορείας πτήσης (flight path) του ΣμηΕΑ, η οποία σχεδιάζεται σε δίκτυο παράλληλων γραμμών με πλευρική επικάλυψη 50%. Η απόσταση μεταξύ των παράλληλων γραμμών προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$W = [1 - (Q/100)] * G$$

όπου:

W= η απόσταση μεταξύ των γραμμών πτήσης

G= το πλάτος της εικόνας που είναι συνάρτηση του ύψους και των τεχνικών χαρακτηριστικών της κάμερας του ΣμηΕΑ και

Q= η επιθυμητή πλάγια επικάλυψη των εικόνων που λαμβάνονται από το ΣμηΕΑ

Το πλάτος του αποτυπώματος της φωτογραφίας υπολογίστηκε σε 59 μ. με βάση το ύψος πτήσης των 40 μ. και τα χαρακτηριστικά της κάμερας του ΣμηΕΑ που χρησιμοποιήθηκε (Phantom 4 Pro). Η πλευρική επικάλυψη ορίστηκε 50% και από τον υπολογισμό της παραπάνω σχέσης υπολογίστηκε η απόσταση μεταξύ των παράλληλων γραμμών σε 30 μ.

Η πλευρική επικάλυψη των φωτογραφιών κατά 50% κρίνεται ικανοποιητική για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων και κατά συνέπεια η απόσταση μεταξύ των γραμμών πτήσης υπολογίζεται σε 30 μ., καθώς το **G** που προκύπτει από τις παραμέτρους της κάμερας του ΣμηΕΑ Phantom 4 Pro σε συνάρτηση με το ύψος πτήσης, υπολογίζεται σε 60 μ.

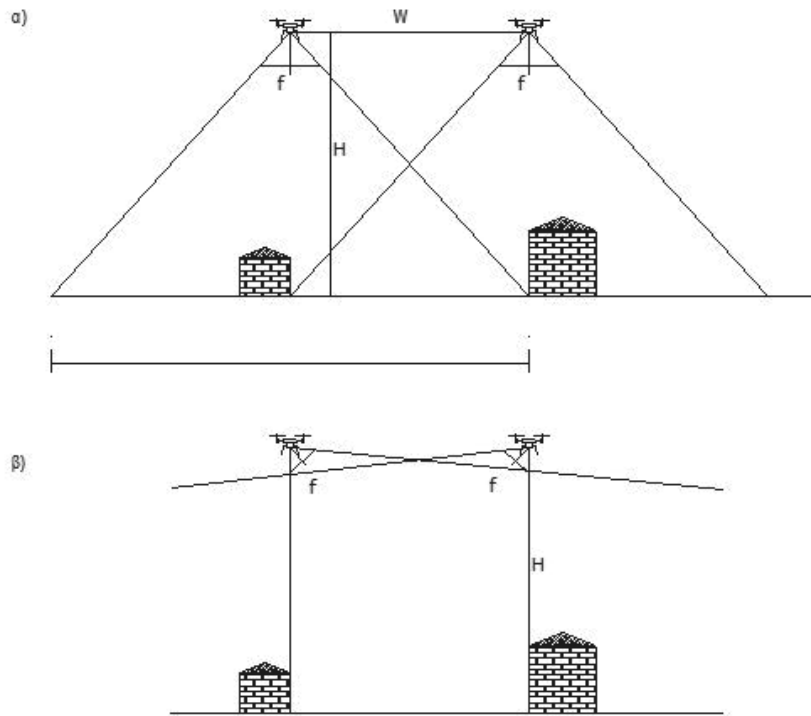
Η διεύθυνση των παράλληλων γραμμών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτύπωση των γεωγραφικών στοιχείων όταν έχουν προσανατολισμό παράλληλο με αυτές. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο οι γραμμές πτήσης να ακολουθούν κατά κύριο λόγο τη διεύθυνση των βασικών οδικών αξόνων του οικισμού, προκειμένου να διευκολύνεται η λήψη εικόνων παράλληλα με τις όψεις των κτιρίων που βρίσκονται κατά μήκος του βασικού οδικού δικτύου. Οι γραμμές πτήσης παραμένουν οι ίδιες είτε πρόκειται για λήψη κατακόρυφων εικόνων είτε πλάγιων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους παραδοσιακούς οικισμούς του Β. Αιγαίου, συνήθως τα κτίρια είναι κτισμένα με συνεχές σύστημα, δηλαδή το ένα δίπλα στο άλλο χωρίς ελεύθερο χώρο μεταξύ τους, έχουν κεντρική είσοδο σε δρόμο, που το πλάτος του δεν ξεπερνά τα 5-6 μ. και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει πεζοδρόμιο μπροστά από αυτά.

Η εμπρόσθια αλληλεπικάλυψη ορίστηκε 80%. Με βάση το ύψος πτήσης (40 μ.) και την ταχύτητα του αεροσκάφους, υπολογίστηκε ότι το ΣμηΕΑ θα λαμβάνει εικόνες κάθε 2 δευτερόλεπτα για την επίτευξη του συγκεκριμένου ποσοστού επικάλυψης.

Κατά τη λήψη των εικόνων με κάθετη γωνία κάμερας (κατακόρυφες εικόνες) και λόγω της γεωμετρίας τους, προκύπτει ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα. Οι όψεις των κτιρίων που βρίσκονται σε απόσταση $G/2$ εκατέρωθεν της γραμμής πτήσης δεν αποτυπώνονται σε καμία εικόνα και ταυτόχρονα οι όψεις των κτιρίων που βρίσκονται κοντά στα άκρα των εικόνων παρουσιάζονται στις εικόνες με ελάχιστο μήκος.

Το εγγενές αυτό πρόβλημα των κάθετης λήψης εικόνων (Σχήμα 2) δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί εάν δεν πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα συλλογή εικόνων και πλάγιας λήψης, εγείροντας το ζήτημα του καθορισμού της γωνίας λήψης των εικόνων. Με βάση τη γεωμετρία των εικόνων προκύπτει ότι εάν η γωνία λήψης είναι ίση με τη μισή γωνία του πεδίου όρασης (Field of View, FoV) της κάμερας, τότε το ένα άκρο της πλάγιας εικόνας θα διέρχεται από το προβολικό κέντρο της κατακόρυφης εικόνας προσδίδοντας με τον τρόπο αυτό 50% πλευρική επικάλυψη μεταξύ τους και προσφέροντας ικανοποιητική αποτύπωση των όψεων των κτιρίων που βρίσκονται οριακά στις κατακόρυφες εικόνες.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι εφαρμογές μεθόδων τρισδιάστατης χαρτογράφησης με συλλογή εικόνων από ΣμηΕΑ, σε παραδοσιακούς οικισμούς που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες λόγω σεισμικής δραστηριότητας, αξιοποιούν τόσο κατακόρυφης όσο και πλάγιας λήψης εικόνες με εμπειρικό τρόπο. Η συλλογή των εικόνων πραγματοποιήθηκε με ένα μεσαίου μεγέ-



Σχήμα 2. Σχηματική παράσταση της λήψης εικόνων με πτήσεις συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών: α) περίπτωση κάθετων εικόνων και β) πλάγιων εικόνων με γωνία λήψης ίση με την μισή γωνία του πεδίου όρασης (Field of View-FoV) της κάμερας (οι όψεις των κτηρίων που βρίσκονται κοντά στα περιθώρια των εικόνων δεν αποτυπώνονται στις κατακόρυφες φωτογραφίες ενώ αντίθετα εμφανίζονται στις πλάγιες λήψεις εικόνες).

θους ΣμηΕΑ (Phantom 4 Pro) με τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας: α) εστιακή απόσταση ($f=25\text{mm}$), β) ανάλυση εικόνας 20 Mpixel (5472 X 3648 pixels) και γ) πεδίο όρασης 84° (Field of View, FoV).

Για να καταστεί εφικτή η συλλογή δεδομένων με ΣμηΕΑ προηγήθηκε ο σχεδιασμός των πτήσεων που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες της περιοχής καθώς και τις απαιτήσεις της χαρτογράφησης. Αναλυτικότερα, ο σχεδιασμός των πτήσεων καθόρισε τις παρακάτω παραμέτρους:

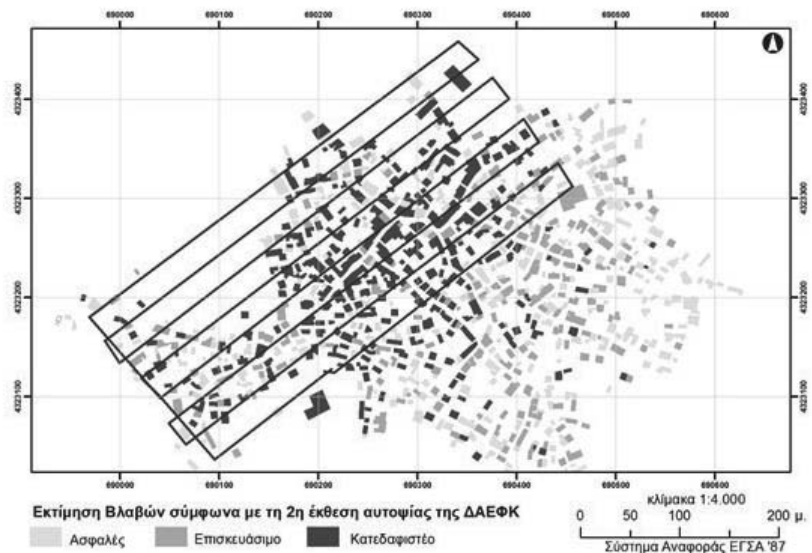
Α) ύψος πτήσης (H) στα 40 μ. από την επιφάνεια του εδάφους, προκειμένου να εξασφαλιστεί $\text{GSD} = 1 \text{ εκ.}$ στις φωτογραφίες και χαρτογραφική κλίμακα μεγαλύτερη ή/και ίση με 1:150 για τα τελικά χαρτογραφικά αποτελέσματα. Το ύψος των 40 μέτρων είναι απόλυτα ασφαλές

για τον οικισμό της Βρίσας, διότι όλα τα κτίρια και οι υποδομές ηλεκτρισμού, αλλά και δένδρων, δεν έχουν ύψος μεγαλύτερο από 15 μέτρα. Από το συγκεκριμένο ύψος τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατακόρυφων εικόνων που λαμβάνονται είναι: α) πλάτος εικόνας στο έδαφος 59 μέτρα, β) μήκος εικόνας στο έδαφος 39 μέτρα και γ) διακριτική ικανότητα (GSD) 1 εκ.

Β) Οι γραμμές πτήσης ορίστηκαν να είναι σχετικά παράλληλες προς τον κεντρικό οδικό άξονα του οικισμού και να έχουν μεταξύ τους απόσταση ίση με 30 μέτρα (πλάτος εικόνας/2) εξασφαλίζοντας 50% πλευρική επικάλυψη των εικόνων. Το συνολικό μήκος των γραμμών πτήσης ήταν 4,1 χλμ., ο χρόνος πτήσης 22 λεπτά με ταχύτητα του σκάφους 15 χλμ./ώρα και λήψη εικόνων ανά 2 δευτερόλεπτα εξασφαλίζοντας εμπρόσθια επικάλυψη των εικόνων 80% (Χάρτης 2).

Γ) Η γωνία λήψης των πλάγιων εικόνων ορίστηκε στις 42° (field of view/2) για να εξασφαλιστεί 50% επικάλυψη μεταξύ των κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων της ίδιας γραμμής πτήσης.

Οι πτήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 4/2/2020. Επελέγη η συγκεκριμένη ημερομηνία, καθώς οι καιρικές συνθήκες ήταν ιδανικές, από πλευράς ανέμου (σχεδόν



Χάρτης 2. Σχέδιο πτήσεων για την συλλογή κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων για την τρισδιάστατη χαρτογράφηση των σεισμικών βλαβών του παραδοσιακού οικισμού Βρίσας, Λέσβου. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται η κατανομή των βλαβών σύμφωνα με την 2η έκθεση αυτοψίας της ΔΑΕΦΚ.

άπνοια) και ηλιοφάνειας (διαυγής ουρανός), ενώ η βλάστηση στον οικισμό είναι η μικρότερη δυνατή στα φυλλώματα των δένδρων, ώστε η επίπτωσή τους στη λήψη των εικόνων και η επίδρασή της στα κτίρια να είναι αμελητέα. Παράλληλα επελέγη οι πτήσεις να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, ώστε οι σκιές στο έδαφος να είναι οι μικρότερες δυνατές σε όλο το οδικό δίκτυο, ανεξαρτήτως του προσανατολισμού της οδού.

Πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) πτήσεις διάρκειας 22 λεπτών, η καθμία, με ταχύτητα σκάφους 15 χλμ./ώρα Μία (1) για κατακόρυφη λήψη εικόνων και δύο (2) για πλάγιες λήψεις εικόνων εκατέρωθεν της γραμμής πτήσης με τα ανωτέρω χαρακτηριστικά και λήψη εικόνων ανά 2 δευτερόλεπτα Συνολικά συλλέχθηκαν 511 κατακόρυφες και 957 πλάγιες εικόνες.

3.2. Επεξεργασία των εικόνων

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η δυνατότητα σύγκρισης και ποσοτικοποίησης των διαφορών που προκύπτουν από τη συμμετοχή πλάγιων εικόνων στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων του οικισμού για τη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από το σεισμό της 12ης Ιουνίου 2017 ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Πραγματοποιήθηκε αρχικά επεξεργασία μόνο στις κατακόρυφες εικόνες (499 μετά τον ποιοτικό έλεγχο). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επεξεργασία στις κατακόρυφες και τις πλάγιες εικόνες (934 μετά τον ποιοτικό έλεγχο), δηλαδή συνολικά σε 1433 εικόνες.

Η επεξεργασία έγινε με το λογισμικό Metashape/Agisoft 1.6 και περιελάμβανε τα παρακάτω στάδια:

α) ποιοτικός έλεγχος όλων των εικόνων, οπτικά αρχικά και στη συνέχεια με τη χρήση του δείκτη IQI (image quality index) για την αποφυγή χρήσης εικόνων οι οποίες είναι χαμηλής οπτικής ποιότητας (θολές).

β) Φωτογραμμετρική επεξεργασία και δημιουργία:

i) αραιού νέφους σημείων (Tie Points) με τη χρήση του αλγορίθμου SfM, το οποίο διευκολύνει την επίτευξη του εξωτερικού προσανατολισμού εκ του οποίου αναγνωρίζονται τα σημεία εδάφους με τα οποία γίνεται η γεωαναφορά. Για τη γεωαναφορά χρησιμοποιήθηκαν 10 σημεία εδάφους, κατανεμημένα περιμετρικά και εντός του οικισμού, που μετρήθηκαν με διαφορικό GPS (GNSS/RTK) Topcon HIPER SR.

ii) πυκνού νέφους σημείων (Dense Cloud) με τη χρήση του αλγορίθμου MVS, εκ του οποίου αναγνωρίζονται τα σημεία ελέγχου για τον έλεγχο της ακρίβειας. Το πλήθος των σημείων του πυκνού νέφους σημείων κα-

θορίζει τη χωρική ανάλυση και την αποδοτική αποτύπωση του υψομέτρου του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου.

iii) δημιουργία πλέγματος τριγωνικών επιφανειών (mesh) με τη μέθοδο TIN. Ο αριθμός των τριγωνικών επιφανειών καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ανάλυση του ορθοφωτοχάρτη. Τέλος, για τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου, από το οποίο προκύπτει και ο ορθοφωτοχάρτης, σε κάθε τριγωνική επιφάνεια αποδίδεται η υφή (Texture), όπου καλύπτει με χρώμα το μοντέλο, το οποίο προέρχεται από τις αρχικές φωτογραφίες.

Τα παραγόμενα προϊόντα που εξάγονται από την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας είτε μόνο στις κατακόρυφες εικόνες είτε στις κατακόρυφες και πλάγιες εικόνες μαζί είναι:

- α) έγχρωμα νέφη σημείων,
- β) ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας (DSM) και
- γ) ορθοφωτοχάρτες.

3.3 Αξιολόγηση των Έγχρωμων Νεφών Σημείων

Η αξιολόγηση των έγχρωμων νεφών σημείων που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων αξιολογήθηκαν με τους παρακάτω τρεις τρόπους:

α) Σύγκριση με το νέφος σημείων από κατακόρυφες εικόνες για τον εντοπισμό κενών στις επιφάνειες.

β) Σύγκριση με νέφος σημείων από επίγειο σαρωτή (Terrestrial Laser Scanner, TLS) για έλεγχο ακρίβειας θέσης.

γ) Σύγκριση με μετρήσεις πεδίου για έλεγχο ακρίβειας διαστάσεων.

3.3.1 Εφαρμογή μεθόδου απόστασης νέφους από νέφος (cloud to cloud distance)

Τα έγχρωμα τρισδιάστατα νέφη σημείων που παράγονται από την επεξεργασία εικόνων υψηλής ανάλυσης δύνανται να συγκριθούν ψηφιακά για την αξιολόγησή τους σύμφωνα με το σκοπό της εφαρμογής τους. Πιο συγκεκριμένα, για τη σύγκριση των νεφών σημείων με σκοπό την τρισδιάστατη χαρτογράφηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό σε παραδοσιακό οικισμό με αντίστοιχα χαρακτηριστικά, η μέθοδος που αξιοποιήθηκε είναι η μέθοδος «απόσταση νέφους από νέφος» (cloud to cloud distance) στο λογισμικό Cloud Compare. Η μέθοδος υπολογισμού της απόστασης μεταξύ νεφών σημείων εφαρμόζεται για τη σύγκριση μεταξύ νεφών σημείων της ίδιας γεωγραφικής περιοχής που όμως έχουν προκύψει είτε σε διαφορετικές χρονικές

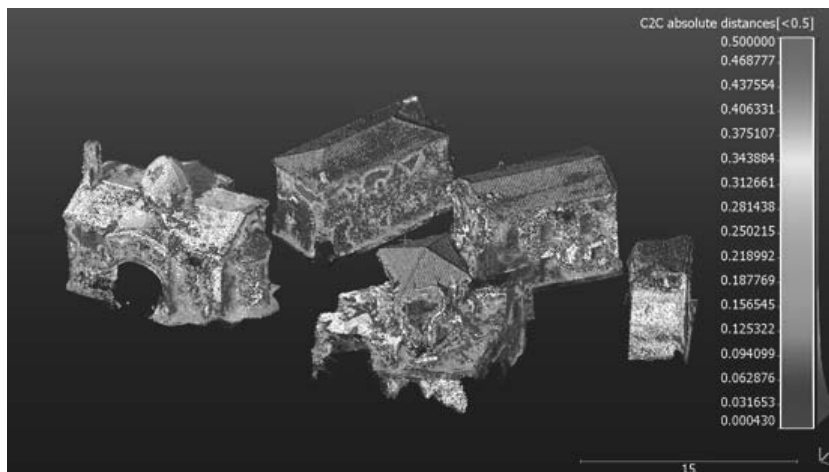
στιγμές, για την παρακολούθηση των μεταβολών, είτε με διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας, για την αξιολόγηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων των μεθόδων. Στην περίπτωση της παρούσης εργασίας εφαρμόστηκε με σκοπό: α) τον εντοπισμό των κενών στο νέφος σημείων που εμφανίζονται στις όψεις των κτιρίων και οφείλονται στην έλλειψη πλάγιων εικόνων και β) τη σύγκριση και αξιολόγηση της χωρικής ακρίβειας των νεφών με αντίστοιχες σαρώσεις επίγειου σαρωτή (Terrestrial Laser Scanner, TLS).

Ο συνηθέστερος τρόπος υπολογισμού των αποστάσεων μεταξύ δύο σημείων από τα νέφη είναι η «απόσταση πλησιέστερου γείτονα». Για κάθε σημείο του συγκριτικού νέφους, η μέθοδος αναζητά το πλησιέστερο σημείο στο νέφος αναφοράς και υπολογίζει την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ τους. Εάν το νέφος σημείων αναφοράς είναι αρκετά πυκνό, τότε η προσέγγιση της απόστασης από το συγκριτικό σύννεφο είναι αποδεκτή. Αλλά εάν το σύννεφο αναφοράς δεν είναι αρκετά πυκνό, η απόσταση του πλησιέστερου γείτονα ενδέχεται μερικές φορές να μην είναι αρκετά ακριβής. Για το λόγο αυτό το νέφος σημείων από τις κατακόρυφες εικόνες ορίστηκε ως το νέφος αναφοράς και το νέφος από τις κατακόρυφες και πλάγιες εικόνες ως νέφος σύγκρισης.

Στα νέφη σημείων των πέντε παραπάνω κτιρίων εφαρμόστηκε η μέθοδος της απόστασης νέφους από νέφος για τον εντοπισμό των κενών που οφείλονται στην έλλειψη πλάγιων εικόνων. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 1, όπου προκύπτουν διαφορές με μέση τιμή 7.3-10.3 εκατοστών (Σχήμα 3).

3.3.2 Έλεγχος ακρίβειας θέσης

Τα νέφη σημείων που προκύπτουν από επίγειους σαρωτές αποτελούν την πλέον αξιόπιστη πηγή δεδομένων για τον έλεγχο της ακρίβειας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από ΣμηΕΑ (Chatzistamatis κ.ά. 2018). Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε σύγκριση των νεφών σημείων στα επιλεγμένα πέντε κτίρια του οικισμού με την εφαρμογή της μεθόδου της απόστασης νέφους από νέφος χρησιμοποιώντας ως νέφος αναφοράς το αντίστοιχο νέφος σημείων από επίγειο σαρωτή. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης δείχνει ότι το μεγαλύτερο πλήθος των σημείων του νέφους που προκύπτει από επεξεργασία εικόνων έχει απόσταση ~ 2 εκ. από το αντίστοιχο



Σχήμα 3. Οπτικοποίηση του αποτελέσματος της απόστασης νεφών σε πέντε κτίρια του οικισμού Βρίσας, με κόκκινο χρώμα διακρίνονται τα τμήματα της τοιχοποιίας που εμφανίζονται λανθασμένα ως κενά, λόγω της έλλειψης πλάγιων εικόνων.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου απόστασης νέφους από νέφος για την περίπτωση πέντε κτιρίων του οικισμού.

	Νέφος σημείων αναφοράς (κατακόρυφες εικόνες)	Νέφος σημείων σύγκρισης (κατακόρυφες & πλάγιες εικόνες)	Μέση απόσταση (εκ.)	Std (εκ.)
Άγιος Κωνσταντίνος (α)	207.767	136.687	8.6	8.8
Ιατρείο (β)	114.998	87.721	9	10
Διώροφο καταδραφιστέο (γ)	172.549	112.677	9.6	9
Διώροφο επισκευάσιμο (δ)	131.381	91.849	7.3	6.9
Ισόγειο γωνιακό καταδραφιστέο(ε)	57.800	41.954	10.3	10.6




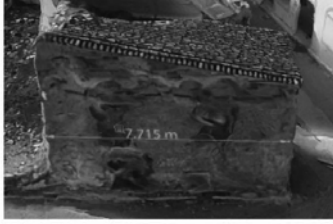
του νέφους του επίγειου σαρωτή, γεγονός που καθιστά τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ικανοποιητική και με αξιόπιστα αποτελέσματα.

3.3.3 Έλεγχος ακρίβειας διαστάσεων

Τέλος, για την πληρέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν επίγειες μετρήσεις σε τρία από τα πέντε κτίρια και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές απόστασης στα μοντέλα κτιρίων που δημιουργήθηκαν από την επεξεργασία εικόνων οι οποίες ελήφθησαν με ΣμηΕΑ.

Τα κτίρια στα οποία πραγματοποιήθηκαν επίγειες μετρήσεις είναι το κτίριο α, δηλαδή ο ναός του Αγίου

Πίνακας 2. Αποτελέσματα της σύγκρισης μετρήσεων στα μοντέλα τριών κτιρίων του οικισμού με τις επίγειες μετρήσεις σε αυτά.

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	Απόσταση στην εικόνα	Απόσταση στο πεδίο	ΚΤΙΣΜΑ
	7,095	7,15	κτίσμα α
	3,488	3,6	κτίσμα α
	8,185	8,25	κτίσμα β
	3,186	3,25	
	1,78	1,85	
	7,715	7,75	κτίσμα ε

Κωνσταντίνου, το κτίριο β και το κτίριο ε. Μετρήθηκαν διαστάσεις κατά τις διευθύνσεις X, Y και Z, για να διαπιστωθεί η απόκλιση των μετρήσεων σε όλες τις διευθύνσεις. Στον Πίνακα 2 απεικονίζονται οι μετρήσεις στα μοντέλα των κτιρίων σε σχέση με τις επίγειες μετρήσεις.

Σε όλες τις μετρήσεις παρατηρήθηκε μία μικρή απόκλιση μεταξύ του μοντέλου και των επίγειων μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις στο μοντέλο υστερούσαν από 0-8 εκ. από τις επίγειες μετρήσεις, με μέση απόκλιση 4,8 εκ., που είναι αρκετά μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση απόκλισης διαστάσεων εντός αστικού ιστού, των 10 εκ., σύμφωνα με το Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (Γ.Ο.Κ.).

4. Αποτελέσματα – συζήτηση

Το έγχρωμο τρισδιάστατο νέφος σημείων που δημιουργήθηκε από την επεξεργασία κατακόρυφων εικόνων είναι ιδιαίτερα πυκνό και αποδίδει με ακρίβεια τη γεωμετρία των κτιρίων του οικισμού και των στεγών τους. Εντούτοις, οι εξωτερικοί τοίχοι δεν παρουσιάζονται με ομοιόμορφη κατανομή των σημείων, αλλά με κενά που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σημαντικών διαστάσεων (< 1 μ.). Τα κενά αυτά δύναται να παρερμηνευτούν στην προσπάθεια αξιολόγησης των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από το σεισμό σε αυτά και να αποδοθούν λανθασμένα σε καταρρεύσεις τμημάτων τοιχοποιίας λόγω του σεισμού. Το πρόβλημα της ύπαρξης κενών στις προσόψεις των κτιρίων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη γεωμετρία λήψης των εικόνων δηλαδή στην περιορισμένη εμφάνιση των προσώπων στις κατακόρυφες εικόνες. Στην περίπτωση όμως των κτιρίων που έχουν υποστεί μερική κατάρρευση της τοιχοποιίας λόγω σεισμού τα κενά αυτά είναι πραγματικά και αποτελούν στοιχείο τεκμηρίωσης των εξωτερικών βλαβών τους. Ύπαρξη κενών στο τρισδιάστατο νέφος σημείων είναι δυνατόν να προκύψει και λόγω της στιλπνότητας της επιφάνειας μιας όψης του κτιρίου λόγω της ομοιομορφίας της, π.χ. μια «τυφλή» όψη, χωρίς ανοίγματα ή λόγω του χρωματισμού της, όταν αυτός είναι έντονα ανοιχτού χρώματος, ο αλγόριθμος δεν μπορεί να αναγνωρίσει κοινά σημεία ανάμεσα στις φωτογραφίες στην επιφάνεια αυτή.

Το έγχρωμο τρισδιάστατο νέφος σημείων που δημιουργήθηκε από την επεξεργασία κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων είναι ιδιαίτερα πυκνό και αποδίδει με ακρίβεια τη γεωμετρία των κτιρίων του οικισμού, των στεγών και των προσώπων τους. Οι τοίχοι δεν παρουσιάζουν σημαντικά κενά που δύναται να παρερμηνευτούν στην προσπάθεια αξιολόγησης των σοβαρών εξωτερικών βλαβών από σεισμό και να αποδοθούν λανθασμένα σε καταρρεύσεις τμημάτων λόγω σεισμού. Το γεγονός αυτό εξηγείται από τη συμμετοχή πλάγιων εικόνων στη δημιουργία του νέφους σημείων, διότι οι πλάγιες εικόνες καταγράφουν επαρκώς τις προσόψεις των κτιρίων και συνδυάζονται με τις κατακόρυφες αφού έχουν αλληλεπικάλυψη με αυτές. Επίσης τα κενά που παρατηρήθηκαν στις κατακόρυφες εικόνες συνέπεια της στιλπνότητας της επιφάνειας μιας όψης του κτιρίου λόγω της ομοιομορφίας της ή λόγω του χρωματισμού της, όταν αυτός είναι έντονα ανοιχτού

χρώματος, μειώνονται αισθητά, καθώς η διαφορετική γωνία λήψης των πλάγιων εικόνων καθιστά εφικτή την αναγνώριση κοινών σημείων μεταξύ των φωτογραφιών που καταγράφουν τις επιφάνειες αυτές.

Για να καταστεί εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων επιλέχθηκε ένα κεντρικό τμήμα του οικισμού επί του βασικού οδικού άξονά του και συγκεκριμένα η περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου, με κριτήριο να περιλαμβάνει μικρό αριθμό κτιρίων, τα οποία να έχουν υποστεί διαφορετικό βαθμό εξωτερικών βλαβών από το σεισμό της 12ης Ιουνίου 2017. Αναλυτικότερα στην περιοχή αυτή, αν και έχει πραγματοποιηθεί σημαντικός αριθμός κατεδαφίσεων, εντούτοις υπάρχουν σήμερα μεταξύ άλλων και τα παρακάτω πέντε (5) κτίρια:

α) Ο με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία βυζαντινού ρυθμού μετά τρούλου ναός του Αγίου Κωνσταντίνου, που ανεγέρθηκε τη δεκαετία του 1920 και ο οποίος έχει υποστεί σημαντικότερες εξωτερικές βλάβες, χωρίς να υπάρχει μερική κατάρρευση. Λόγω της σοβαρότητας των βλαβών του, κυρίως στο στατικό του φορέα είχε χαρακτηριστεί αρχικά κατεδαφιστέος σύμφωνα με το υπ' αριθμ. 319/04.05.2018 ΠΑΕΕΚ της ΔΑΕΔΚ-ΚΕ της Γενικής Γραμματείας Υποδομών, αλλά με το ΦΕΚ 392/Δ' 5/7/2019 χαρακτηρίζεται ως νεότερο μνημείο, σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 3028/2002, γιατί αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα συνύπαρξης μορφολογικών στοιχείων του βυζαντινού ρυθμού και του νεοκλασικισμού, με σαφείς αναφορές στην εκκλησιαστική και οικιστική αρχιτεκτονική της Λέσβου του 19ου αιώνα.

β) Διώροφο, κεραμοσκεπές κτίριο με μερική κατάρρευση δύο (2) εκ των τεσσάρων (4) όψεων του δευτέρου ορόφου του, χαρακτηρισμένο ως κατεδαφιστέο, το οποίο σήμερα πλέον έχει κατεδαφιστεί. Το κτίριο έχει χαρακτηριστεί με την ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΜΤΕ/ΔΠΑΝ-ΣΜ/48988/5116/ 491/23.03.2018 (Α.Α.Π. 67) ως μνημείο και θα ανακατασκευαστεί με τις ίδιες διαστάσεις, τυπολογία, μορφή, όγκο, με τις αρχικές αναλογίες κουφωμάτων και εφόσον είναι στατικά εφικτό, τον ίδιο τρόπο κατασκευής.

γ) Με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία, νεότευκτο, διώροφο, κεραμοσκεπές κτίσμα, που το ισόγειό του χρησιμοποιείται ως ιατρείο και ο όροφος του ως κατοικία του αγροτικού ιατρού. Το κτίσμα κατασκευάστηκε το 2009 στη θέση παλαιού, επίσης, κτίσματος με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία, με τα ίδια υλικά, αλλά με τις σημερινές τεχνικές δόμησης και δεν υπέστη καμία εξωτερική βλάβη ορατή σε όλη την έκταση των προσόψεών του ή της στέγης του.

δ) Με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία, διώροφο,

κεραμοσκεπές κτίσμα, παραλληλόγραμμο, με τη μεγάλη του πλευρά επί της κεντρικής οδού. Το κτίριο έχει σημαντικό αριθμό μικροβλαβών στις όψεις του (ρωγμές, πτώσεις επιχρισμάτων, μικρή κατάρρευση τοιχοποιίας κ.ά.), κυρίως στον όροφο και τις μικρές σε επιφάνεια πλευρές του, αλλά και πτώση της καμινάδας επάνω στη στέγη του.

ε) Ισόγειο με υπερυψωμένο υπόγειο, με φέροντα οργανισμό από τοιχοποιία, κεραμοσκεπές κτίσμα που έχει κριθεί κατεδαφιστέο. Είναι από τα παλαιότερα κτίσματα του οικισμού, αφού η ανέγερσή του ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 1888, όπως ήταν χαραγμένο στο πέτρινο υπέρθυρό του. Αρχικά ήταν διώροφο, πιθανά και αυτό κεραμοσκεπές, με άλλης μορφής στέγη και πιθανότατα προεξέχοντα τον όροφο κατά 20 εκ. από την πλευρά των δύο δρόμων, όπως δείχνουν και τα διακοσμητικά στις δύο αυτές πλευρές του. Γύρω στο 1970, κατεδαφίζεται ο όροφος ως επικίνδυνος λόγω φθοράς και το κτίσμα μετατρέπεται σε ισόγειο με μονόριχτη στέγη, η οποία πιθανότατα συνέβαλε στις βαριές μορφής βλάβες που υπέστη το κτίριο, ειδικότερα στην πρόσοψή του, η οποία κατέρρευσε εξ ολοκλήρου.

5. Συμπεράσματα

Η αξιοποίηση νέων τεχνολογιών συλλογής εικόνων υψηλής ανάλυσης σε συνδυασμό με την εξέλιξη των αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνων για τη δημιουργία τρισδιάστατης χωρικής πληροφορίας μπορεί να αποβεί εξαιρετικά χρήσιμη στην προσπάθεια καταγραφής του συνόλου των σεισμικών εξωτερικών βλαβών κτιρίων σε παραδοσιακούς οικισμούς. Ειδικότερα, η συλλογή πλάγιων φωτογραφιών εξασφαλίζει τη δυνατότητα υπολογισμού σημείων από τις προσόψεις των κτιρίων για να καταστεί εφικτή η πληρέστερη εκτίμηση των σοβαρών εξωτερικών βλαβών του σεισμού συνολικά στο κτίριο.

Αναλυτικότερα, η συλλογή κατακόρυφων εικόνων με $GSD \leq 1\text{cm}$ εξασφαλίζει υψηλής διακριτικής ικανότητας ορθοφωτοχάρτες και ψηφιακά μοντέλα επιφάνειας, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τον εντοπισμό: α) σοβαρότατων εξωτερικών βλαβών κτιρίων, όπως είναι π.χ. ολική κατάρρευση, μερική κατάρρευση κ.ά. και β) μικροβλαβών μόνο στα ανώτερα τμήματα των κτιρίων και ειδικότερα στις στέγες τους π.χ. μετακινήσεις κεραμιδιών, πτώσεις κεραμιδιών, πτώση καμινάδων κ.ά. Συμπληρωματικά, η λήψη πλάγιων εικόνων με γωνία ίση με τη μισή του πεδίου όρασης της κάμερας ($f/2$) εξασφαλίζει την ύπαρξη σημείων σε όλες

τις όψεις των κτιρίων. Το τρισδιάστατο πλέγμα που δημιουργείται στη συνέχεια λαμβάνοντας και την υφή από τις πλάγιες φωτογραφίες παρουσιάζει με ευκρίνεια και τις βλάβες που έχουν υποστεί οι όψεις των κτιρίων, όσον αφορά ρηγματώσεις και πτώσεις επιχρισμάτων. Ειδικότερα, στην περιοχή μελέτης διακρίνονται οι παρακάτω βλάβες στις προσόψεις των κτιρίων: α) πτώσεις τμημάτων των όψεων, β) ρηγματώσεις, γ) πτώσεις επιχρισμάτων, δ) πτώσεις καμινάδων κ.ά.

Συμπερασματικά με όλα τα ανωτέρω, η λήψη κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων υψηλής ανάλυσης από ΣμηΕΑ, από ύψος πτήσης 40 μ., καθιστά δυνατή με το συνδυασμό τους, τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου, στο οποίο είναι εμφανώς διακριτές οι εξωτερικές βλάβες των κατηγοριών από 3 έως 5, σύμφωνα με το EMS-98 στις όψεις των κτιρίων. Τα αποτελέσματα από τη μελέτη αυτή δείχνουν ότι το τρισδιάστατο μοντέλο που προκύπτει από συνδυασμό κατακόρυφων και πλάγιων εικόνων, μπορεί να δώσει με μεγάλη ακρίβεια, οικονομία, ασφάλεια και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα μετά από ένα σεισμικό γεγονός, σε ένα παραδοσιακό οικισμό με χαρακτηριστικά όπως της Βρίσας, τη δυνατότητα καταγραφής και χαρτογράφησης σχεδόν όλων των εξωτερικών βλαβών στα κτίρια, που σύμφωνα με τον ταχύ οπτικό έλεγχο καταλληλότητας των κτιρίων από τη ΔΑΕΦΚ, χαρακτηρίζονται κίτρινα (προσωρινά ακατάλληλα για χρήση) ή κόκκινα (επικίνδυνα για χρήση). Η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν παρέχει τη δυνατότητα καταγραφής και χαρτογράφησης εσωτερικών σεισμικών βλαβών των κτιρίων.

Στους παραδοσιακούς οικισμούς χρησιμοποιούσαν συνήθως υλικά της γύρω περιοχής για την ανέγερση των κτιρίων, όχι πάντα απολύτως κατάλληλα, καθώς οι οικονομικές δυνατότητες των περισσότερων κατοίκων δεν επέτρεπαν τη μεταφορά καλύτερης ποιότητας υλικών. Λόγω της εγκατάλειψης, επίσης για οικονομικούς λόγους, τα κτίσματα του οικισμού δεν είναι επαρκώς συντηρημένα και πιθανόν πολλές από τις εξωτερικές βλάβες, που εμφανίζονται κυρίως σε αυτά τα κτίσματα, να αποδοθούν στη σεισμική δραστηριότητα, ενώ προϋπήρχαν. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να χαρτογραφηθούν τρισδιάστατα όλοι οι παραδοσιακοί οικισμοί του ελληνικού χώρου, περίπου 830 και κυρίως του Αιγαίου αρχιπελάγους που είναι 319. Η χαρτογράφηση αυτή θα αποτελέσει το υπόβαθρο για τη μελλοντική σύγκριση και αξιολόγησή τους σε περίπτωση σεισμικού γεγονότος, όπως και άλλης φυσικής καταστροφής.

Ευχαριστίες

Αυτή η έρευνα συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, ΕΚΤ) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά βίου Μάθηση 2014-2020» στο πλαίσιο του έργου «Ανάπτυξη τρισδιάστατων σημασιολογικών μοντέλων σε 3D χαρτογράφηση και γεωγραφική απεικόνιση των σοβαρών σεισμικών εξωτερικών βλαβών σε έναν παραδοσιακό οικισμό» (MIS 5047141).

Ευχαριστούμε, επίσης, τον Πρόεδρο του Συλλόγου Βρισαγωγών κ. Κωνσταντίνο Σταυρινό, για την αμέριστη βοήθειά του, την αρχιτέκτονα κ. Ευαγγελία Πελέκου, για τις πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τα ιστορικά στοιχεία των κτισμάτων και φυσικά τους κριτές, που με τις εύστοχες και τεκμηριωμένες υποδείξεις τους, συνέβαλαν καθοριστικά στη βελτίωση του άρθρου.

Βιβλιογραφία

- Adams, S. M. και Friedland, C. J. (2011), «A survey of unmanned aerial vehicle (UAV) usage for imagery collection in disaster research and management» στο 9th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Response, Stanford University, Καλιφόρνια, ΗΠΑ.
- Agisoft PhotoScan (2018), User Manual, Professional Edition, Version 1.3, http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf (7 February 2018).
- Baiocchi, V., Dominici, D., Giannone, F. και Zucconi, M. (2012), «Rapid building damage assessment using EROS B data: the case study of L'Aquila earthquake», *European Journal of Remote Sensing* 44 (1), σ. 153-165.
- Chaidas, K., Tataris, G. και Soulakellis, N. (2020), «Post-Earthquake 3D Building Model (LOD2) Generation from UAS imagery: The Case of Vrisa Traditional Settlement, Lesvos, Greece», 5th International Conference on Smart City Applications, Karabuk, Turkey, 2020, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLIV-4/W3-2020, σ. 165-172. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-165-2020>.
- Chatzipetros, A., Kiratzi, A., Sboras, S., Zouros, N., και Pavlides, S. (2013), «Active faulting in the north-eastern Aegean Sea Islands», *Tectonophysics* 597-598, σ. 106-122.
- Chatzistamatis, S., Kalaitzis, P., Chaidas, K., Chatzitheodorou, C., Papadopoulou, E. E., Tataris, G. και Soulakellis, N. (2018), «Fusion of TLS and Uav Photogram-

- metry Data for Post-Earthquake 3D Modeling of a Cultural Heritage Church», *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLII-3/W4, σ. 143-150. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-143-2018>
- Cheng, M. και Matsuoka, M. (2020), «Extracting three-dimensional (3D) spatial information from sequential oblique unmanned aerial system (UAS) imagery for digital surface modeling», *Int. J. Remote Sens.* 00, σ. 1-21. DOI:10.1080/01431161.2020.1842538.
- Cloud Compare Omnia Version 2.9.1 [Windows 64-bit] Compiled with MSVC 1800 and Qt 5.9.1 GNU General Public License (GPL). <http://www.cloudcompare.org/>
- Delladetsimas, P. M., Dandoulaki, M. και Soulakellis, N. (2006), «An Aegean island earthquake protection strategy: an integrated analysis and policy methodology», *Disasters* 30(4), σ. 469-502. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00333.x>
- Dominici, D., Alicandro, M. και Massimi, V. (2017), «UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila», *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 8(1), σ. 87-103. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1176605>.
- Ελευθεριάδου, Α. Κ., Μπαλιτσοπούλου, Α. Δ., Ρουσάκης, Θ. Χ., Καραμπίνης, Α. Ι. (2016), «Βαθμονόμηση των Μετασεισμικών Βλαβών Κτιρίων από τον σεισμό της Ανδραβίδας (8/6/2008) με δυο κλίμακες βλάβης», Conference Safe Evros Νέες Τεχνολογίες & Πολιτική Προστασία, Ελλάδα.
- Grünthal, G. (επιμ.) (1998), *European Macroseismic Scale (EMS-98)*. (1998), *Chaiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Λουξεμβούργο.
- Huang, H., Long, J., Yi, W., Yi, Q., Zhang, G. και 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), σ. 1961-1979. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1961-2017>.
- Kavroudakis, D., Soulakellis, N., Topouzelis, K., Chatzistamatis, S., Vasilakos, C., Papakostantinou, A., Tataris, G., Kalloniatis, C., Rousou, O., Batsaris, M., Chaidas, K., Kalaitzis, P. (2018), «Efficiency and Effectiveness Approaches in Spatial Data Collection of Vrissa after Lesvos Earthquake», *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-3/W4, GeoInformation For Disaster Management (Gi4DM)*, 18-21 March 2018, Istanbul, Turkey.
- 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, σ. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.01.003>.
- Lekkas, E., Carydis, P., Skourtsos, E., Mavroulis, S., Andreadakis, E., Antoniou, V. και 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» στο 8th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA), 13-16 November, 2017, Νέα Ζηλανδία.
- Li, J., Huang, D., και Yang, P. (2018), «Inspection method of images overlap of UAV photogrammetry based on features matching», *MATEC Web of Conferences* 173, SMIMA 2018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/2018173 SMIMA 2018 02022 02022>.
- Mavroulis, S., Andreadakis, E., Spyrou, N. I., Antoniou, V., Skourtsos, E., Papadimitriou, P., Kassaras, I., Kaviris, G., Tselentis, G. A., Voulgaris, N., Carydis, P., Lekkas, E. (2019), «UAV and GIS based rapid earthquake-induced building damage assessment and methodology for EMS-98 isoseismal map drawing: The June 12, 2017 Mw 6.3 Lesvos (Northeastern Aegean, Greece) earthquake», *International Journal of Disaster Risk Reduction* 37.
- Novak, I. και Soulakellis, N. (2000), «Identifying geomorphic features using LANDSAT-5/TM data processing techniques on Lesvos, Greece» *Geomorphology* 34(1-2), σ. 101-109. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00003-9).
- Ο.Α.Σ.Π. (1997), Οδηγίες και Έντυπα για τη Διενέργεια Άμεσου Πρωτοβάθμιου Μετασεισμικού ελέγχου Καταλληλότητας των Κτιρίων για Χρήση. Αθήνα.
- Papadimitriou, P., Kassaras, I., Kaviris, G., Tselentis, G.-A., Voulgaris, N., Lekkas, E., Chouliaras, G., Evangelidis, C., Pavlou, K., Kapetanidis, V. (2018), «The 12th June 2017 Mw = 6.3 Lesvos earthquake from detailed seismological observations», *Journal Geodynamics* 115, σ. 23-42.
- Papakonstantinou, A., Doukari, M., Roussou, O., Drolias, G. C., Chaidas, K., Moustakas, A., Athanasis, N., Topouzelis, K., Soulakellis, N. (2018), «UAS multi-camera rig for post-earthquake damage 3D geovisualization of Vrissa village», στο Proceedings of the Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 10773.
- Pomonis, A., Kappos, A., Karababa, F., Panagopoulos, G. (2010), «Seismic Vulnerability and Collapse Probability Assessment of Buildings in Greece» στο *Advances in Natural and Technological Hazards Research, Human Casualties in Earthquakes*, Springer, σ. 153-170.
- Quang, Y., Meng, X., Yang, L. και Stephenson, S. (2013), Network RTK GNSS Quality Assessment, Confer-

- ence: European Navigation Conference, Βιέννη, Αυστρία.
- Soulakellis, N., Vasilakos, Ch., Chatzistamatis, S., Kavroudakis, D., Tataris, G., Papadopoulou, E-E., Papakonstantinou, A., Roussou, O. και Kontos, Th. (2020), «Post-Earthquake Recovery Phase Monitoring and Mapping Based on UAS Data», *International Journal of Geo-Information* 9(7), σ. 447.
- Soulakellis, N., Tataris, G., Papadopoulou, E., Chatzistamatis, S., Vasilakos, C., Kavroudakis, D., Roussou, O., Papakonstantinou, A. (2019), «Synergistic Exploitation of Geoinformation Methods for Post-earthquake 3D Mapping and Damage Assessment» στο *Intelligent Systems for Crisis Management*, Altan, O., Chandra, M., Sunar, F., Tanzi, T.J. (επιμ.), Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Cham: Springer International Publishing, σ. 3-31.
- Soulakellis, N., Novak, I., Zouros, N., Lowman, P. και 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), σ. 693-700.
- Štroner, M., Urban, R., Reindl, T., Seidl, J. και Brouček, J. (2020) «Evaluation of the Georeferencing Accuracy of a Photogrammetric Model Using a Quadcopter with Onboard GNSS RTK», *Sensors* 20. DOI: 10.3390/s20082318
- Tataris, G., Soulakellis, N. και Chaidas, K. (2020), «Multi-temporal 3d Mapping Of Post-Earthquake Recovery Phase with UAS: Case Study Vriza, Lesvos, Greece», *Climate Change and Disaster Management Technology and Resilience in a Troubled World (GI4DM)*, Σύδνεϋ, 2020, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Gottingen Vol. VI-3/W1-2020, σ. 123-130. DOI:10.5194/isprs-annals-VI-3-W1-2020-123-2020.
- Tong, X., Hong, Z., Liu, S., Zhang, X., Xie, H., Li, Z., Yang, S., Wang, W. και Bao, F. (2012), «Building-damage detection using pre- and post-seismic high-resolution satellitestereo imagery: A case study of the May 2008 Wenchuan earthquake», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 68, σ. 13-27.
- Triggs, W., McLauchlan, P., Hartley, R. και Fitzgibbon, A. (1999), «Bundle adjustment: A modern synthesis» στο *Vision Algorithms: Theory and Practice*, number 1883 in LNCS. Springer-Verlag. Κέρκυρα, Ελλάδα, σ. 298-373.
- Vasilakos, C., Chatzistamatis, S., Roussou, O. και Soulakellis, N. (2019), «Comparison of Terrestrial Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Earthquake Response Management», στο *Intelligent Systems for Crisis Management*, Altan, O., Chandra, M., Sunar, F., Tanzi, T. J. (επιμ.) Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Cham: Springer International Publishing, σ. 33-57.
- Wegscheider, S., Schneiderhan, T., Mager, A., Zwenzner, H., Post, J. και Strunz, G. (2013), «Rapid mapping in support of emergency response after earthquake events», *Natural Hazards* 68(1), σ. 181-195. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0589-y>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. και Reynolds J. M. (2012), «‘Structure-from-motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications», *Geomorphology* 179, σ. 300-314.
- Xu, Z., Yang, J., Peng, C., Wu, Y., Jiang, X., Li, R., Zheng, Y., Gao, Y., Liu, S. και 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, σ. 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.04.001>