

Παραγωγή 3D Μοντέλου, Ορθοεικόνων και Ανηγμένων εικόνων με Επίγεια Φωτογραμμετρία του Ιερού Ναού Αγίου Γεωργίου Γουμένισσας

Α. Βατίτση¹, Σ. Κάκια¹, Ν. Παπανικολάου¹,
Ο. Γεωργούλα², Π. Πατιάς²

1 ΠΜΣ Γεωπληροφορική – Διαχείριση Φωτογραμμετρικής Παραγωγής και Τηλεοπτική-σης σε Περιβάλλον GIS.

2 Καθηγητής ΤΑΤΜ-ΑΠΘ

Περίληψη: Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η αποτύπωση του ιερού Ναού Αγίου Γεωργίου Γουμένισσας¹ μέσω της επίγεια φωτογραμμετρίας. Η πραγματοποίηση έρευνας πεδίου επέτρεψε τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων, τα οποία εν συνεχεία επεξεργάστηκαν με σκοπό την παραγωγή των τελικών προϊόντων. Η υλοποίηση του συγκεκριμένου ζητήματος πραγματοποιήθηκε μέσω τριών διαφορετικών λογισμικών. Τα παραγόμενα τελικά προϊόντα αφορούν ένα τρισδιάστατο μοντέλο του ναού, τις ορθοεικόνες κάθε όψης καθώς και ανηγμένες εικόνες της κύριας όψης. Η συγκέντρωση, επεξεργασία και αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων συνδυαστικά με τα παραγόμενα προϊόντα έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την καταλληλότητα αυτών και τις πιθανές περαιτέρω απαιτήσεις βελτίωσης των μεθόδων, με σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση του κτίσματος.

Εισαγωγή

Η αποτύπωση και τρισδιάστατη αναπαράσταση κτιρίων αποτελεί μέθοδο απόδοσης της πραγματικότητας με όσο το δυνατόν καλύτερο και πιο κοντά σε αυτή τρόπο. Οι Γεωργόπουλος και Χαρκιολάκης (2011:1) αναφέρουν πως:

«Αποτύπωση μνημείων, συνόλων και τοποθεσιών ονομάζεται η σε κατάλληλες κλίμακες σχεδιαστική (ή πλαστική) απόδοσή τους, σε κατόψεις, όψεις και τομές –και περαιτέρω σε αζονομετρικές ή προοπτικές παραστάσεις– με δισδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση... Στόχος της είναι είτε η επιστημονική (αρχειολογική, αρχιτεκτονική ή άλλη) μελέτη των μνημείων καθ' εαυτών είτε η περαιτέρω διεπιστημονική επεξεργασία, εφαρμογή και τελική τεκμηρίωση των αναγκαίων μέτρων προστασίας και αναστήλωσής τους.»

¹ Ο ναός αποτελεί κηρυγμένο μνημείο προστασίας από το 1991 (Φ.Ε.Κ. 837Β'/11-10-1991) υπό την εποπτεία της 9ης Εφορείας Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, βλέπε: http://debian.itbiz.gr/agiosgeorgios/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=43&Itemid=141.

Κατά τους ίδιους μια αποτύπωση θα πρέπει να διέπεται από τις ακόλουθες αρχές (Γεωργόπουλος και Χαρκιολάκης 2011: 1-2):

1. Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας του υπό μελέτη αντικείμενου.
2. Ο βαθμός ακρίβειας και η κλίμακα απόδοσης θα πρέπει να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν περισσότερο στις εκάστοτε απαιτήσεις με ταυτόχρονη τήρηση των εκάστοτε περιορισμών.
3. Θα πρέπει να αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το υπό μελέτη κάθε φορά αντικείμενο.

Η φωτογραμμετρία ως επιστήμη παρέχει διάφορες μεθόδους και τεχνικές για την επίλυση του συγκεκριμένου ζητήματος που βασίζονται κυρίως στην αξιοποίηση επικαλυπτόμενων εικόνων με σκοπό την ανακατασκευή της γεωμετρίας του προς εξέταση αντικείμενου (Nikolopoulos et al. n.d.). Οι εικόνες αυτές μπορεί να προέρχονται από επίγειες ή/και εναέριες λήψεις. Στην πρώτη περίπτωση, οι λήψεις πραγματοποιούνται στο έδαφος χρησιμοποιώντας μία ή και περισσότερες κάμερες, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται κάμερα ενσωματωμένη σε διάφορες πλατφόρμες όπως για παράδειγμα σε κάποιο UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Άλλες μέθοδοι αποτύπωσης και αναπαράστασης περιλαμβάνουν τη χρήση σαρωτών (π.χ. laser scanner).

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η αποτύπωση και απεικόνιση του Ιερού Ναού Αγίου Γεωργίου Γουμένισσας μέσω της επίγειας φωτογραμμετρίας. Η παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου του Ιερού Ναού, η δισδιάστατη απεικόνιση των όψεων του Ιερού Ναού με ορθοεικόνες, καθώς και η παραγωγή ανηγμένων εικόνων της κύριας (δυτική) όψης του ναού αποτελούν τα κεντρικά ζητούμενα της εργασίας. Συμπληρωματικά προς τα κύρια ζητούμενα, επιχειρείται η σύγκριση και αξιολόγηση των παραγόμενων προϊόντων ως προς την ποιότητά τους και σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα, καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν. Για την υλοποίηση όσων αναφέρθηκαν παραπάνω πραγματοποιήθηκε στις 17/3/2015 έρευνα πεδίου, στον προαύλιο χώρο του ναού, κατά την οποία συλλέχθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα, τα οποία αφορούσαν το κροκί των φωτοσταθερών σημείων, τις συντεταγμένες τους σε αυθαίρετο σύστημα, καθώς και τις επίγειες φωτογραφίες των όψεων του ναού από δύο διαφορετικές κάμερες λήψης.

Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε αφορούσε σε πρώτο στάδιο τις μετρήσεις πεδίου. Κατά το συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιήθηκαν επίγειες λήψεις φωτογραφιών και επιτόπιες μετρήσεις στο χώρο του ναού με σκοπό την απόκτηση των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων. Τα φωτοσταθερά σημεία ήταν όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιόμορφα κατανεμημένα στις όψεις του ναού και αφορούσαν είτε χάρτινους στόχους τοποθετημένους σε διάφορα σημεία των όψεων, είτε χαρακτηριστικά σημεία αυτών όπως γωνίες παραθύρων, κολώνες και άλλα σημεία ενδιαφέροντος. Ο σχεδιασμός του κροκί πραγματοποιήθηκε παράλληλα με

τις μετρήσεις των φωτοσταθερών. Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, υλοποιήθηκε μία κλειστή όδευση πέντε στάσεων περιμετρικά του ναού, σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, με τη χρήση κατάλληλου τοπογραφικού οργάνου (Total Station), ενώ οι επίγειες λήψεις πραγματοποιήθηκαν με δύο ερασιτεχνικές ψηφιακές μηχανές, τις Canon EOS 7D και Olympus E510.

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, ώστε να είναι εφικτή η διαχείριση και αξιοποίησή τους. Η επίλυση της όδευσης και ο υπολογισμός των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων αποτέλεσαν το πρώτο βήμα της επεξεργασίας. Ακολούθησαν η τεκμηρίωση των σημείων αυτών και ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων της πρώτης όψης στο επίπεδο αυτής για τη μετέπειτα αναγωγή της.

Η παραγωγή των προϊόντων για την οποία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά λογισμικά –Agisoft Photoscan Pro, RDF Project και Microstation/Irasc- αποτέλεσε το επόμενο βήμα της επεξεργασίας. Κατά το στάδιο αυτό έγινε η επεξεργασία των αρχικών δεδομένων ως προς το ποια θα χρησιμοποιηθούν, ποια είναι πιο κατάλληλα αλλά και ποιά δίνουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ώστε να παραχθούν τα απαιτούμενα. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκαν τα τελικά φωτογραμμετρικά προϊόντα και έγινε η σύγκριση/ αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, των χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών, καθώς και η μεταξύ τους σύγκριση όπου ήταν δυνατό.

1. Παραγωγή Φωτογραμμετρικών Προϊόντων μέσω του λογισμικού Agisoft Photoscan Pro²

Το λογισμικό Agisoft Photoscan Pro χρησιμοποιήθηκε για την φωτογραμμετρική παραγωγή των ορθοεικόνων των όψεων και του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού. Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την παραγωγή των ορθοεικόνων αφορούσε την μεμονωμένη παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου για κάθε όψη και την επεξεργασία, φωτογραμμετρική παραγωγή και τεκμηρίωση των ορθοεικόνων για την κάθε μία ξεχωριστά. Για την παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του ναού πραγματοποιήθηκε επεξεργασία της βόρειας, νότιας και ανατολικής όψης του ναού και παραγωγή ενιαίου τρισδιάστατου μοντέλου αυτών και εν συνεχεία έγινε σύνδεση αυτού με το τρισδιάστατο μοντέλο της κύριας όψης. Το αποτέλεσμα της σύνδεσης ήταν η τρισδιάστατη αναπαράσταση του ναού από επίγειες φωτογραφίες.

Η παράγωγη τόσο των ορθοεικόνων, όσο και του μοντέλου του ιερού ναού προαπαιτούσαν την ύπαρξη τρισδιάστατων δεδομένων, η δημιουργία των οποίων κατέστη δυνατή σε δύο στάδια. Το πρώτο αφορούσε την παρατήρηση, επιλογή και εισαγωγή των εικόνων στο λογισμικό και το δεύτερο την επεξεργασία των εικόνων

² Το μεγαλύτερο μέρος του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου βασίστηκε κατά κύριο λόγο στο εγχειρίδιο του λογισμικού. Βλέπε: Agisoft (2013).

μέσω φωτογραμμετρικών διαδικασιών για την παραγωγή φωτορεαλιστικού μοντέλου, με σκοπό την εξαγωγή ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων.

Κατά το δεύτερο βήμα ακολουθείται μια σειρά διεργασιών ώστε να είναι εφικτή η εξαγωγή των απαραίτητων προϊόντων. Οι διεργασίες έχουν ως εξής Agisoft (2013)

1. Χονδρικός Εξωτερικός Προσανατολισμός
2. Δημιουργία Δικτύου Πλέγματος Σημείων
3. Παρατήρηση και Διόρθωση Φωτοσταθερών
4. Βαθμονόμηση της Μηχανής
5. Παραγωγή Πυκνού Νέφους
6. Απόδοση Υφής
7. Εξαγωγή Προϊόντων

Κατά τον χονδρικό εξωτερικό προσανατολισμό το λογισμικό συσχετίζει τις εισαγόμενες φωτογραφίες και προσδιορίζει μέσω ενός αραιού νέφους τη θέση των σημείων του υπό μελέτη αντικειμένου στο χώρο χονδρικά. Η συγκεκριμένη διεργασία μαζί με το μοντέλο χαμηλής ανάλυσης όπως αυτό προκύπτει από το αραιό νέφος έχουν σαν αποτέλεσμα την ευκολότερη παρατήρηση των φωτοσταθερών (Στεφάνου, 2014). Η εισαγωγή των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων, η παρατήρηση αυτών και η διόρθωση όσων δεν έχουν τοποθετηθεί σωστά από το λογισμικό συνδυαστικά με τη βαθμονόμηση της μηχανής μπορούν να δώσουν ένα ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας (Στεφάνου, 2014). Η παραγωγή του πυκνού νέφους συμβάλλει στη δυνατότητα εξαγωγής ορθοεικόνας, το οποίο μαζί με την απόδοση της υφής παρέχει τη δυνατότητα μιας φωτορεαλιστικής και ακριβείας απόδοση του εκάστοτε υπό μελέτη αντικειμένου. Η τελευταία διεργασία κατά το συγκεκριμένο στάδιο αφορά την εξαγωγή των παραγόμενων προϊόντων. Στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 1 & 2) απεικονίζονται κάποια χαρακτηριστικά στάδια αυτών των διεργασιών.



Εικόνα.1: Χονδρικός Εξωτερικός Προσανατολισμός με αραιό νέφος
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Εικόνα 2: Πυκνό Νέφος Σημείων Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η εφαρμογή όσων αναφέρθηκαν στο παρόν υποκεφάλαιο είχε ως αποτέλεσμα την εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου του ιερού ναού και ορθοεικόνων της κάθε όψης ξεχωριστά. Τα τελικά προϊόντα - ορθοεικόνες των όψεων απεικονίζονται παρακάτω (Εικόνες 3, 4, 5 & 6):



*Εικόνα 3: Δυτική Όψη Ιερού Ναού (Κύρια Όψη).
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.*



*Εικόνα 4: Βόρεια Όψη Ιερού Ναού (Πλάγια Όψη).
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.*



*Εικόνα 5: Ανατολική Όψη Ιερού Ναού (Ιερό).
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.*



*Εικόνα.6: Νότια Όψη Ιερού Ναού (Πλάγια Όψη).
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.*

Η κλίμακα κάθε παραγόμενης ορθοεικόνας είναι η 1:100. Το μέσο συνολικό σφάλμα της παραγόμενης ορθοεικόνας της δυτικής, βόρειας, ανατολικής και νότιας όψης ανέρχεται σε 1,52 cm, 1,55 cm, 1,55 cm και 1,82 cm αντίστοιχα, ενώ το μέγεθος του pixel στο 0,5 cm.

Ο έλεγχος της φωτογραμμετρικής παραγωγής των προηγούμενων ορθοεικόνων αποτελεί το τελευταίο βήμα στην ολοκλήρωση της διαδικασίας αποτύπωσης του ναού. Κατά τον Πατιά (2010: 16-18) ο έλεγχος κάθε ορθοεικόνας περιλαμβάνει τον έλεγχο αξιοπιστίας και ακρίβειας. Εφόσον έχουν ορισθεί τα σημεία ελέγχου, θα πρέπει για το κάθε ένα από αυτά να υπολογισθούν οι διαφορές:

$$d_i = \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2} \quad (1)$$

και να ελεγχθούν για πιθανά χονδροειδή σφάλματα κατά σημείο. Κατά τον Πατιά (2010: 17) η σχέση, η οποία πρέπει να πληρείται έχει ως εξής:

$$d_i \leq \sqrt{2} * 1,53 \sigma_{op} , \quad (2)$$

όπου

$$\sigma_{op} = \frac{1}{2n} * \sum_{i=1}^n [(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2]. \quad (3)$$

Εφόσον τα σημεία περάσουν τον έλεγχο, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον έλεγχο ακρίβειας. Σε περίπτωση που κάποιο σημείο δεν περάσει τον έλεγχο αξιοπιστίας, η διαδικασία σάρωσης επαναλαμβάνεται εφόσον έχουν απορριφθεί τα σημεία που δεν περνούν τον έλεγχο. Κατά την πραγματοποίηση του ελέγχου ακρίβειας θα πρέπει να ισχύει:

$$\sigma_{op} \leq 0,9 * \sigma_{ortho} \text{ προδιαγραφών} \quad (\text{Πατιάς 2010: 18}). \quad (4)$$

Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται οι έλεγχοι αξιοπιστίας και ακρίβειας κατά σημείο για κάθε όψη ξεχωριστά.³

Πίνακας 1: Έλεγχος Αξιοπιστίας κατά σημείο για τη Δυτική Όψη.

α/α σημείου	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
$d_i \leq \sqrt{2} * 1,55 \sigma_{op}$	0,010	0,007	0,022	0,039	0,555	0,024	0,010	0,009	0,007	0,004	0,006	0,007	0,016	0,037	0,045	0,003	0,009	0,012	0,004
Έλεγχος Αξιοπιστίας	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Πίνακας 2: Έλεγχος Αξιοπιστίας κατά σημείο για τη Βόρεια Όψη.

α/α σημείου	Σ22	Σ23	Σ24	Σ25	Σ26	Σ27	Σ28	Σ29	Σ30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$d_i \leq \sqrt{2} * 1,55 \sigma_{op}$	0,019	0,010	0,001	0,003	0,012	0,068	0,022	0,011	0,004	0,020	0,001	0,010	0,035	0,075	0,098	0,056	0,041	0,031
Έλεγχος Αξιοπιστίας	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Απορριπτεται	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Πίνακας 3: Έλεγχος Αξιοπιστίας κατά σημείο για τη Ανατολική Όψη.

α/α σημείου	Σ40	Σ41	Σ42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	58	59	61	65	66	67
$d_i \leq \sqrt{2} * 1,55 \sigma_{op}$	0,012	0,006	0,007	0,010	0,003	0,009	0,009	0,007	0,005	0,004	0,008	0,016	0,005	0,035	0,010	0,011	0,017	0,008	0,005	0,025	0,040	0,033	0,018
Έλεγχος Αξιοπιστίας	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Απορριπτεται	Δεκτός

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Πίνακας 4: Έλεγχος Αξιοπιστίας κατά σημείο για τη Νότια Όψη.

α/α σημείου	70	71	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	99	100	106
$d_i \leq \sqrt{2} * 1,55 \sigma_{op}$	0,019	0,010	0,008	0,007	0,007	0,007	0,010	0,004	0,020	0,008	0,005	0,004	0,052	0,012	0,009	0,030
Έλεγχος Αξιοπιστίας	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται	Δεκτός	Δεκτός	Απορριπτεται

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

³ Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία ελέγχου των ορθοεικόνων τα ήδη υπάρχοντα φωτοσταθερά, λόγω της απουσίας επιπλέον σημείων γνωστών συντεταγμένων ώστε να πραγματοποιηθούν οι έλεγχοι, καθώς και λόγω του μικρού αριθμού σημείων γνωστών συντεταγμένων.

Πίνακας 5: Έλεγχος Ακρίβειας κατά σημείο για κάθε Όψη.

Ορθοεικόνα	σ_{op}	$0,9 * \sigma_{ortho}$ προδιαγραφών	Έλεγχος Ακρίβειας
Δυτική	0,089	0,137	Δεκτός
Βόρεια	0,028	0,140	Δεκτός
Ανατολική	0,012	0,140	Δεκτός
Νότια	0,013	0,167	Δεκτός

Πηγή: Ϊδια Επεξεργασία.

Από τους προηγούμενους πίνακες είναι κατανοητό πως στον έλεγχο αξιοπιστίας κατά σημείο για κάθε όψη υπάρχουν σημεία, τα οποία απορρίπτονται και ο έλεγχος πραγματοποιείται εκ νέου με σκοπό την αποδοχή του, ενώ οι έλεγχοι ακρίβειας γίνονται δεκτοί για κάθε ορθοεικόνα κάθε όψης.

Κατά την παραγωγή των προϊόντων στο περιβάλλον του λογισμικού υπήρξαν δυσκολίες σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα αλλά και στο σύνολο της επεξεργασίας, οι οποίες δεν επέτρεψαν την ομαλή παραγωγή των προϊόντων. Η ύπαρξη εικόνων από διαφορετικές ψηφιακές μηχανές χωρίς την ύπαρξη σταθερής κλίμακας για κάθε εικόνα αποτέλεσαν ένα από τα προβλήματα σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα. Η έλλειψη πληροφορίας στις στέγες του κτιρίου, καθώς και οι μικρές τμηματικές φωτογραφίες απεικόνισης μικρής επιφάνειας κυρίως στις πλάγιες όψεις του κτιρίου ενίσχυσαν τα προβλήματα για την παραγωγή των ορθοεικόνων σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα.

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των λήψεων στο λογισμικό παρατηρήθηκε μια ακόμη κατηγορία προβλημάτων, όπως σημειώθηκε παραπάνω. Κάποια καίρια προβλήματα ως προς τα παραγόμενα προϊόντα αφορούσαν προβλήματα της κύριας όψης, την αδυναμία δημιουργίας ολοκληρωμένου μοντέλου από το σύνολο των φωτογραφιών, την αδυναμία εξαγωγής ορθοεικόνων από το σύνολο του τρισδιάστατου μοντέλου και την παραμόρφωση των προϊόντων λόγω των έντονα πλάγιων λήψεων. Η έντονη παραμόρφωση των περιοχών με έλλειψη πληροφορίας και η επιλογή του υπό μελέτη αντικείμενου λόγω του εντοπισμού αντικειμένων μπροστά στην επιφάνειά του δυσκόλεψαν με τη σειρά τους τη διαδικασία επεξεργασίας και παραγωγής στο λογισμικό. Ακόμη, παρατηρήθηκε έλλειψη πληροφορίας στον εσωτερικό διάδρομο και στο ανάγλυφο στην άκρη των διαζωμάτων των όψεων, περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από έλλειψη πληροφορίας.

2. Παραγωγή ανηγμένης εικόνας της Κύριας Όψης του ναού

Στα πλαίσια της εργασίας επιδιώχθηκε επίσης η εκτέλεση αναγωγών της κύριας όψης του ναού. Ως αναγωγή ορίζεται η διαδικασία απομάκρυνσης των παραμορφώσεων μιας φωτογραφίας, της οποίας ο πρωτεύων άξονας δεν είναι απόλυτα κά-

θετος στο επίπεδο αντικείμενο, το οποίο πρόκειται να αποτυπωθεί. Η αναγωγή πραγματοποιείται με τη βοήθεια των γνωστών θέσεων ορισμένων από τα σημεία που απεικονίζονται στη φωτογραφία (Δερμάνης, 1991). Στην αναλυτική φωτογραμμετρία, η αναγωγή αποτελεί μια διαδικασία προσδιορισμού ενός μετασχηματισμού, που να συνδέει τις συντεταγμένες x, y των εικόνων στο σύστημα της φωτογραφίας, με τις αντίστοιχες συντεταγμένες X, Y των σημείων σε ένα σύστημα αναφοράς πάνω στο επίπεδο αντικειμένου (Δερμάνης, 1991).

Για την παραγωγή ανηγμένης εικόνας της κύριας όψης του ναού χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά λογισμικά, το RDF Project και το Microstation/Irasc, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

2.1 Παραγωγή ανηγμένης εικόνας της κύριας όψης του ναού με τη χρήση του λογισμικού RDF Project⁴

Για την παραγωγή ανηγμένης εικόνας της κύριας όψης του ναού με τη χρήση του λογισμικού RDF Project επιλέχθηκε αρχικά μια εκ των επίγειων λήψεων της κύριας όψης ως αρχική εικόνα με βάση την οποία πραγματοποιήθηκε η αναγωγή. Επίσης, για τη διεξαγωγή της διαδικασίας αυτής πραγματοποιήθηκε ο μετασχηματισμός των αρχικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών σε συντεταγμένες στην όψη, με τη χρήση της εφαρμογής Rotate Extension.

Πρώτο βήμα της διαδικασίας αυτής είναι η εισαγωγή της αρχικής εικόνας στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένα αρχείο με τις μετασχηματισμένες συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων στο αντικείμενο και έπειτα ένα άλλο αρχείο με τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων στην εικόνα εκφρασμένες σε μονάδες pixel, που προκύπτουν με παρατήρηση και στόχευση. Τα δύο αυτά αρχεία συγχωνεύονται έτσι ώστε να προκύψει ένα νέο αρχείο αντιστοίχισης των συντεταγμένων κάθε φωτοσταθερού σημείου στο αντικείμενο, με τις συντεταγμένες των αντίστοιχων σημείων στην εικόνα.

Προκειμένου να είναι δυνατή η εποπτεία της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, είναι δυνατή η εξαγωγή πίνακα σφαλμάτων και τιμών των παραμέτρων μετασχηματισμού έτσι ώστε να είναι εφικτή η διόρθωση των παρατηρούμενων σημείων ή και η προσθαφαίρεσή τους. Έπειτα από τις διορθώσεις των παρατηρήσεων, πραγματοποιείται η επιλογή της περιοχής που θα αναχθεί και ορίζεται ο τύπος του αλγόριθμου βάσει του οποίου θα γίνει η επανασύσταση της εικόνας (γραμμικός ή διγραμμικός). Τέλος, ορίζεται το επιθυμητό μέγεθος του pixel της ανηγμένης εικόνας, που θα δημιουργηθεί, στα 0,05 m και η ανάλυσή της στα 508 dpi.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 7) παρατίθενται η κύρια όψη του ναού πριν την αναγωγή αλλά και μετά.

⁴ Το μεγαλύτερο μέρος του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου βασίστηκε κατά κύριο λόγο στο εγχειρίδιο του λογισμικού. Βλέπε: Γεωργούλα και Σταμνάς (2010).



Εικόνα 7: Κόρια όψη του ναού πριν την αναγωγή (αριστερά) και μετά την αναγωγή (δεξιά)
 Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Βάσει των πινάκων σφαλμάτων, το συνολικό σφάλμα σε μέτρα ήταν περίπου 5 εκατοστά και το συνολικό σφάλμα σε pixel στα 7 pixel. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Σφάλματα και Χαρακτηριστικά Ανηγμένης Εικόνας.

Σφάλματα	
Συνολικό Σφάλμα (m)	0,0501
Συνολικό Σφάλμα (pixel)	7,3684
Μέγεθος pixel (m)	0,05
Ανάλυση εικόνας (dpi)	508

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Για τον έλεγχο της ακρίβειας του παραχθέντος προϊόντος πραγματοποιήθηκε σύρση των δεδομένων για τον έλεγχο ύπαρξης χονδροειδών σφαλμάτων, ο υπολογισμός του μέσου τετραγωνικού σφάλματος σ καθώς και ο έλεγχος ακρίβειας και αξιοπιστίας ώστε να προσδιοριστεί η αποδεκτή κλίμακα του τελικού προϊόντος. Σύμφωνα με τους παραπάνω ελέγχους, δεν βρέθηκαν χονδροειδή σφάλματα και ο έλεγχος αξιοπιστίας έγινε δεκτός. Ωστόσο ο έλεγχος ακρίβειας δεν έγινε δεκτός καθώς:

$$\sigma_{\text{όρθο}}^{\text{προδιαγραφών}} = S * \text{διακριτική ικανότητα} = 50 * 0,0002 = 0,01 \text{ m} \quad (5)$$

ή

$$\sigma_{\text{όρθο}}^{\text{προδιαγραφών}} = S * \text{διακριτική ικανότητα} = 100 * 0,0002 = 0,02 \text{ m}.$$

Όμως υπολογίστηκε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι $\sigma_{\text{op}} = 0,524 \text{ m}$ και επομένως και στις δύο περιπτώσεις με επιθυμητή κλίμακα τελικού προϊόντος 1:100 ή 1:50 δεν ισχύει η σχέση:

$$\sigma_{\text{op}} \leq 0,9 * \sigma_{\text{όρθο}}^{\text{προδιαγραφών}} \quad (\text{Πατιάς 2010: 18}). \quad (4)$$

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής παρατηρήθηκαν προβλήματα τόσο στα

αρχικά δεδομένα αλλά και κατά την επεξεργασία τους. Όσον αφορά στα αρχικά δεδομένα, οι διαθέσιμες λήψεις της κύριας όψης ήταν κυρίως τμηματικές, με μεγάλη γωνία λήψης και παρεμβολή αντικειμένων. Κατά την επεξεργασία της αρχικής εικόνας στο λογισμικό δεν ήταν δυνατή η ακριβής παρατήρηση των φωτοσταθερών σημείων στην εικόνα λόγω του ανεπαρκούς zoom που διαθέτει το πρόγραμμα. Επιπλέον, ακόμα και μετά τη διόρθωση ή απομάκρυνση παρατηρήσεων για τη μείωση των σφαλμάτων δεν επιτεύχθηκαν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Όλα αυτά είχαν σαν αποτέλεσμα την παρουσία παραμορφώσεων στην τελική εικόνα και την χαμηλή ακρίβεια του προϊόντος.

2.2 Παραγωγή ανηγμένης εικόνας της Κύριας Όψης του ναού με τη χρήση του λογισμικού Microstation/ IRASC

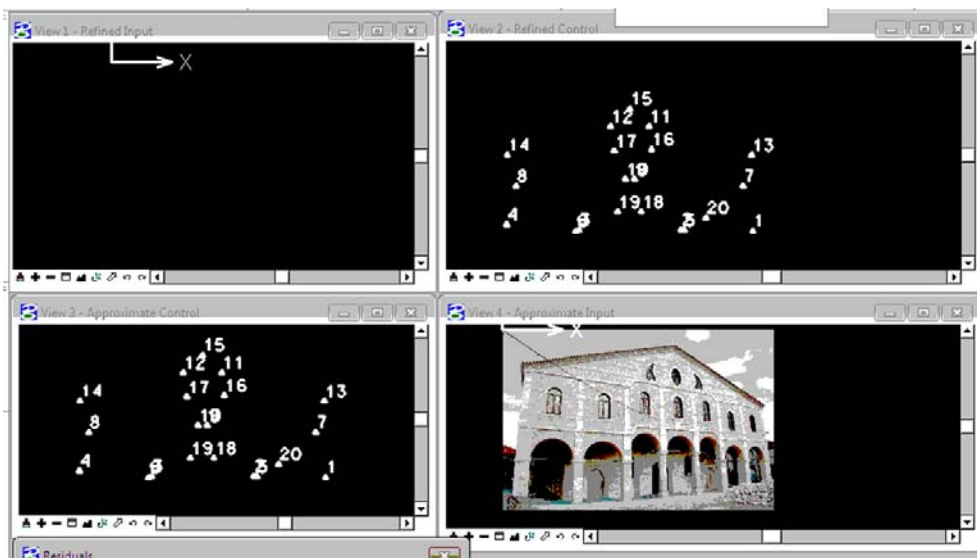
Για την αναγωγή της εικόνας της δυτικής όψης της εκκλησίας του Αγ. Γεωργίου έγινε χρήση των προγραμμάτων Microstation, και συγκεκριμένα του extension IRAS-C και του Autocad.

Τα σημεία των φωτοσταθερών έχουν προσδιοριστεί με πρωτογενείς μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν στην εκκλησία του Αγ. Γεωργίου στη Γουμένισσα. Για την αναγωγή της εικόνας έπρεπε οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών από επίγειες να μετασχηματιστούν σε συντεταγμένες που αντιστοιχούν στο επίπεδο της όψης. Αυτός ο μετασχηματισμός πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Rotate Extension.

Το ραπορτάρισμα των μετασχηματισμένων συντεταγμένων των φωτοσταθερών ολοκληρώθηκε με την εισαγωγή τους στο σχεδιαστικό πρόγραμμα του Autocad. Στη συνέχεια στο ίδιο περιβάλλον σχεδίασης δημιουργήθηκε ένα αρχείο σχεδίασης *.dgn έτσι ώστε να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του προγράμματος αναγωγής εικόνων Microstation και του σχεδιαστικού προγράμματος του Autocad. Συνολικά ραπορταρίστηκαν 16 φωτοσταθερά σημεία.

Στο περιβάλλον του Microstation ακολούθησε προσδιορισμός των μονάδων μέτρησης, έτσι ώστε να μεταβληθούν στα αντίστοιχα πεδία οι προκαθορισμένες μετρήσεις που αφορούν τόσο τις μονάδες μέτρησης όσο και την ανάλυση του ραπορταρίσματος γειτονικών σημείων. Δηλαδή στο προσδιορισμό των μονάδων, Units→ m, Sub Units→ cm, Pos Units Per cm→10 καθορίζεται η δυνατότητα ραπορταρίσματος σε γειτονικά σημεία με διαφορά στις συντεταγμένες τους στο 1/10 cm→ 1mm, ενώ έγινε εισαγωγή του αρχικού αρχείου *.dgn.

Ακολούθησε η εκτέλεση της εφαρμογής IRAS-C, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση και ορισμός του τύπου του αλγορίθμου βάσει του οποίου έγινε η επίλυση του μετασχηματισμού και η επανασύσταση της εικόνας αντίστοιχα. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ο προβολικός μετασχηματισμός και ο αλγόριθμος lineare/billineare. Όταν ολοκληρώθηκε η εξαγωγή της ανηγμένης εικόνας, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις συντεταγμένων και αποστάσεων σε αυτή για την επαλήθευση της



Εικόνα 8: Πρόγραμμα αναγωγής εικόνων, Microstation
 Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

ακρίβειας της διαδικασίας της αναγωγής. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής MGE Coordinate System Operation που αποτελεί τμήμα του προγράμματος Microstation.

Μέσω των ελέγχων φωτογραμμετρικής παραγωγής διαπιστώθηκε ότι:

- Το συνολικό σφάλμα της ανηγμένης εικόνας είναι 2,6 εκατοστά
- Το μέγεθος pixel είναι 0,05 μέτρα.
- Έλεγχ. αξιοπιστίας: $d_i \leq \sigma_{op} = 0,045$ δεκτός
- Η αποδεκτή κλίμακα εκτύπωσης είναι 1:150.



Εικόνα 9: Κύρια όψη του ναού πριν την αναγωγή. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.



Εικόνα 10: Κύρια όψη του ναού μετά την αναγωγή. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

3. Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων και διαπιστώσεων σχετικά με τα τελικά προϊόντα όπως αυτά προέκυψαν μέσω της επίγειας φωτογραμμετρίας, αλλά και των αρχικών δεδομένων και των μεθόδων συλλογής τους.

Όσον αφορά τις μετρήσεις πεδίου, παραλείψεις και στιγμιαία λάθη κατά τη συλλογή δεδομένων, δημιούργησαν δυσκολίες στην επεξεργασία τους και στην παραγωγή των τελικών προϊόντων. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκαν ασάφειες και αποκλίσεις ως προς τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης ορισμένων φωτοσταθερών τα οποία δεν είχαν σημειωθεί με χάρτινους στόχους.

Σχετικά με τις επίγειες λήψεις, παρατηρήθηκε ότι η κατά το δυνατόν σταθερή απόσταση και γωνία λήψης των φωτογραφιών βελτιώνει την ποιότητα των αποτελεσμάτων των παραγόμενων προϊόντων. Επίσης, η λήψη φωτογραφιών με μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης, ιδιαίτερα της βόρειας και νότιας όψης, θα οδηγούσε σε καλύτερα αποτελέσματα και θα έδινε τη δυνατότητα αναγωγής και σύγκρισης αυτής με τις ορθοεικόνες που παράχθηκαν στο Agisoft. Η λήψη φωτοσταθερών και φωτογραφιών στον εσωτερικό διάδρομο του ναού, θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου τρισδιάστατου μοντέλου του ναού χωρίς έλλειψη πληροφορίας και παραμορφώσεις μεταξύ των εξωτερικών κολώνων, του διαδρόμου και του τοίχου του ναού. Επιπρόσθετα, η λήψη φωτογραφιών με κλίση παραμορφώνει το μοντέλο και δημιουργεί προβλήματα στις υδρορροές, όπως έλλειψη πληροφορίας. Τέλος, το γεγονός ότι οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν από το έδαφος και όχι εναέρια, είχε ως αποτέλεσμα την απουσία δεδομένων και στις οροφές.

Κατά την παραγωγή των ορθοεικόνων και τη διεξαγωγή των αναγωγών, παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή ορθοεικόνων ήταν εφικτή μόνο για την ανατολική, βόρεια και νότια όψη ενώ η αναγωγή μόνο για την κύρια όψη. Επιπλέον, η δημιουργία των ορθοεικόνων δεν ήταν δυνατή κατευθείαν από το σύνολο του τρισδιάστατου μοντέλου, αλλά προέκυψαν από τα επιμέρους τρισδιάστατα μοντέλα των όψεων. Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των αναγωγών στα δύο διαφορετικά λογισμικά, παρατηρήθηκε ότι η αναγωγή με το Microstation/ IRASC επέφερε καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ακρίβεια.

Βιβλιογραφία

Γεωργόπουλος, Α., Χαρκιολάκης, Ν., 2011, *Η Σωστή αποτύπωση ως Αναγκαίος Όρος της Σωστής αναστήλωσης*, Διδακτικό Εγχειρίδιο Εργαστηρίου Φωτογραμμετρίας Μεταπτυχιακών Μαθημάτων Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., (στο διαδίκτυο), διαθέσιμο στο:

<http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=>

[8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fecourses.dbnet.ntua.gr%2Ffsr%2F18273%2FKeimeno%2520Dialejhs%2520N%2520Xarkiolakh.pdf&ei=i6DPVP6YDYn9UqKYgoAK&usg=AFQjCNFuFH8Tv4ectAMT6M1W1s2uyMHMQ&sig2=R0jyIiaJv76EMMP1AhXWYA&bvm=bv.85076809,d.d24](http://3A%2F%2Fecourses.dbnet.ntua.gr%2Ffsr%2F18273%2FKeimeno%2520Dialejhs%2520N%2520Xarkiolakh.pdf&ei=i6DPVP6YDYn9UqKYgoAK&usg=AFQjCNFuFH8Tv4ectAMT6M1W1s2uyMHMQ&sig2=R0jyIiaJv76EMMP1AhXWYA&bvm=bv.85076809,d.d24) , [πρόσβαση: 10.06.2015].

Γεωργούλα, Ο. και Σταμνάς, Α., 2010, Οδηγίες Χρήσης του λογισμικού RDF για την Αναλυτική Αναγωγή Ψηφιακών εικόνων, Διδακτικό εγχειρίδιο Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Μνημείων Πολιτισμού, Α.Π.Θ..

Δερμάνης, Α., 1991, *Αναλυτική Φωτογραμμετρία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Πατίας, Π., 2010, Σχεδιασμός, Διερεύνηση και Έλεγχος Φωτογραμμετρικής Παραγωγής, Διδακτικές Σημειώσεις Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών: Γεωπληροφορική, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Στεφάνου, Φ., 2014, Φωτογραμμετρία, Τεχνολογία 3D σάρωσης και Συστήματα Πληροφοριών Χώρου στην Τεκμηρίωση του Μνημειακού Πλούτου, Διδακτική Παρουσίαση Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών: Γεωπληροφορική, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Agisoft, 2013, *Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition Version 1.0.0* on line, available at:

http://fieldofviewllc.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-..manager/27_AGISOFT%20PHOTOSCAN%20PRO%20USER%20GUIDE.PDF, [access: 17.05.2015].

Nikolopoulos D., Tsioukas V., Sechidis L., Koidis P., Patias P., n.d., *4D photogrammetric recording of soft and hard tissues of the lower part of face for decision making in making dental treatment planning*, IAPRS, Dresden, Germany, (on-line), available at:

http://la.teikav.edu.gr/lazikas/papers/1244_Dresden06.pdf, [access: 10.06.2015].

Ενορία Αγίου Γεωργίου, http://debian.itbiz.gr/agiosgeorgios/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=43&Itemid=141, 10.06.2015.